

Klinische Evaluierung der arteriellen Flussraten unter Verwendung der syngo iFlow[®] - Software

Visualisierung und Quantifizierung der Veränderung der Flussdynamik durch periphere arterielle Interventionen

Forschungsarbeit im Rahmen des TUMKolleg 22/24
an dem Lehrstuhl für interventionelle Radiologie der Technischen Universität München

Betreuer Dr. med. Tobias Wagershauser
Lehrstuhl für interventionelle Radiologie unter der Leitung von
Univ.-Prof. Dr. P. M. Paprottka

Betreuende Lehrkraft Thomas Frank

Eingereicht von Sude Cakar

Eingereicht Gauting, den 05.12.2023

Zusammenfassung

Im Bereich der Gefäßmedizin sind die Diagnose und die darauf basierende Therapie zwei Gebiete, in denen kontinuierlich nach Verbesserung und Fortschritt gestrebt wird. Insbesondere bei weit verbreiteten Erkrankungen wie der arteriellen Verschlusskrankheit, die viele Menschen betrifft, ist eine fortlaufende Optimierung der Verfahren und Diagnosemöglichkeiten von herausragender Bedeutung. Eine präzise Diagnose ermöglicht eine effektivere Behandlung der Patienten.

Das Ziel dieser Forschungsarbeit bestand darin, die Veränderungen im Blutfluss während flussverbessernder Eingriffe zu visualisieren und quantifizieren. Dies wurde mithilfe der syngo iFlow[®] - Software von Siemens durchgeführt. Ein zusätzliches Ziel war die Überprüfung der Praxistauglichkeit dieser Software.

Zu diesem Zweck wurden retrospektiv und prospektiv Daten von elf flussverbessernden Eingriffen gesammelt und ausgewertet. Obwohl die Praxistauglichkeit des Systems wie erwartet nachgewiesen werden konnte, zeigten sich im Verlauf der Arbeit auch einige Ungenauigkeiten in der Anwendung.

In der abschließenden Diskussion wurden die Limitationen der Studie erörtert, und Ausblicke in die Zukunft gegeben. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die in dieser Studie verwendete Software eine vielversprechende Möglichkeit bietet, die Analyse von flussverbessernden Eingriffen bei peripheren arteriellen Verschlüssen zu verbessern. Die Software kann die Verschlüsse detailliert abbilden und ist benutzerfreundlich gestaltet. Daher scheint die Software in Zukunft vielversprechende Aussichten zu haben.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	5
1.1. Einführung	5
1.2. Arterielle Verschlusskrankheit.....	5
1.3. Periphere arterielle Verschlusskrankheiten in den unteren Extremitäten	6
1.4. Behandlungsmöglichkeiten der peripheren arteriellen Verschlusskrankheit ..	6
1.4.1. Medikamentöse Behandlung.....	7
1.4.2. Operative Behandlung	7
1.4.3. Interventionelle Behandlung.....	7
1.5. Theoretischer Hintergrund	7
1.5.1. Einsatz von bildgebenden Verfahren bei einer PTA.....	8
1.5.1.1. Durchleuchtung	8
1.5.1.2. Digitale Subtraktionsangiographie	8
1.5.1.3. syngo iFlow®	8
1.5.2. ARTIS Pheno®.....	10
1.6. Ziel der Arbeit	10
2. Material und Methoden	11
2.1. Dokumentation der Patienteneingriffe	11
2.2. Bearbeitung mit syngo iFlow®	11
2.3. Statistische Auswertung.....	11
2.3.1. Kriterien	11
2.3.2. Studienpopulation.....	12
2.4. Hypothese	13
3. Ergebnisse	14
3.1. Exemplarisches Beispiel	14
3.2. Darstellung der Ergebnisse.....	15
3.2.1. Patient 4.....	15
3.2.2. Patient 6.....	15
3.2.3. Patient 7.....	16
3.2.4. Patient 8.....	16
3.2.5. Patient 9.....	17
3.2.6. Patient 11.....	18
3.2.7. Patient 12.....	18
3.2.8. Patient 13.....	19
3.2.9. Patient 14.....	19
3.2.10. Patient 17.....	20
3.2.11. Patient 18.....	20
3.3. Auswertung der Ergebnisse.....	21

3.3.1. Erfolgsquote der PTA allgemein	21
3.3.2. Erfolgsquote der Auswertung durch syngo iFlow.....	21
3.4. Visualisierung der Veränderungen der Blutflussdynamik	22
3.5. Weitere Ergebnisse der Studie	22
4. Diskussion.....	23
4.1. Einführung	23
4.2. Interpretation der Ergebnisse.....	23
4.3. Vergleich mit bestehender Literatur	25
4.4. Prüfung der Praxistauglichkeit	25
4.5. Limitationen	26
4.6. Praktische Anwendbarkeit im klinischen Alltag.....	26
4.7. Zukunftsperspektive.....	27
4.8. Fazit.....	27
Abbildungsverzeichnis	28
Literaturverzeichnis	30
Glossar.....	32
Abkürzungsverzeichnis	34
Danksagung.....	36

1. Einleitung

1.1. Einführung

Die periphere arterielle Verschlusskrankheit (pAVK) ist eine weitreichende medizinische Herausforderung, die durch Durchblutungsstörungen in den Arterien der Extremitäten hervorgerufen wird. Diese Erkrankung resultiert in einer Unterversorgung des betroffenen Gewebes und kann erhebliche Einschränkungen der Lebensqualität verursachen. Die vorliegende wissenschaftliche Arbeit widmet sich der tiefgreifenden Erforschung und Bewertung von Aspekten rund um die pAVK, insbesondere im Kontext ihrer Behandlung und der fortschreitenden Bildgebungstechnologien.

Ein besonderer Fokus liegt auf den Verschlüssen in den unteren Extremitäten, da diese zu einer der am häufigsten betroffenen Stellen zählen.

Insgesamt liefert die vorliegende Arbeit einen umfassenden Einblick in die Herausforderungen und Fortschritte im Umgang mit der pAVK.

1.2. Arterielle Verschlusskrankheit

Die arterielle Verschlusskrankheit (AVK) ist eine Durchblutungsstörung, die durch Gefäßsteifigkeit (Arteriosklerose) oder Gefäßentzündungen (Vaskulitis) verursacht wird und zu einer Unterversorgung des betroffenen Gewebes führt (Shanmugasundaram *et al.*, 2011).

Grundsätzlich wird zwischen Stenose und Okklusion unterschieden. Bei einer Stenose liegt eine Verengung von 1 - 99% vor, während bei einer Okklusion ein vollständiger Verschluss von 100% besteht. Häufig bilden sich um die betroffenen Stellen Umgehungswege (Kollaterale), um den Blutfluss aufrechtzuerhalten (Antwerpes, 2019; Fink, Asgarov and Antwerpes, 2019).

Obwohl die Gefäßverengungen hauptsächlich durch den Alterungsprozess verursacht werden, begünstigen auch Faktoren wie Rauchen, Diabetes mellitus, Vaskulitis, Trauma, Bluthochdruck (Hypertonie), chronische Niereninsuffizienz und erhöhte Cholesterinspiegel die Entstehung und Verschlimmerung dieser Erkrankung (Bosevski, 2017; Firnhaber, Ed and Powell, 2019)

1.3. Periphere arterielle Verschlusskrankheiten in den unteren Extremitäten

Die periphere arterielle Verschlusskrankheit (pAVK) betrifft hauptsächlich die Extremitäten, wobei in etwa 90% der Fälle die unteren Extremitäten betroffen sind. Bei den Beingefäßen äußert sich die Erkrankung vor allem durch eine Einschränkung der Gehstrecke (Cetin and Baumgartner, 2004; Criqui *et al.*, 2021). Die betroffenen Arterien sind häufig durch Ablagerungen verengt, die den Blutfluss behindern. Dadurch erhalten die Nerven und Muskeln in den betroffenen Bereichen weniger Blut, Sauerstoff und Nährstoffe, was zu einer Leistungsminderung führt.

Die pAVK wird nach der Fontaine - Klassifikation (nach René Fontaine) in vier Stadien unterteilt. Im ersten Stadium sind zwar arterielle Verkalkungen vorhanden, aber der Patient hat noch keine Beschwerden. Das zweite Stadium lässt sich in zwei Unterstadien gliedern. Hier treten vermehrt Beschwerden beim Gehen auf, wobei die schmerzfreie Gehstrecke zunächst auf etwas über 200 Meter beschränkt ist, später jedoch auf unter 200 Meter verkürzt wird.

Das dritte Stadium ist durch Schmerzen im Ruhezustand gekennzeichnet. Im vierten Stadium kommt es letztendlich zu einer funktionellen und strukturellen Gewebeveränderung (trophische Störung). Eine weitere Einteilungsmöglichkeit ist die Rutherford - Klassifikation, die im deutschsprachigen Raum weniger verwendet wird, sich aber grundsätzlich mit der Fontaine - Klassifikation deckt (Shanmugasundaram *et al.*, 2011; Ricco and Bartelink, 2017). Die Behandlung dieser Erkrankung konzentriert sich hauptsächlich auf die Beine, um Folgeerscheinungen wie Gewebsabsterben und möglicherweise erforderliche Amputationen zu verhindern und die Mobilität sowie die Lebensqualität wiederherzustellen. (Cetin and Baumgartner, 2004)

1.4. Behandlungsmöglichkeiten der peripheren arteriellen Verschlusskrankheit

Die periphere arterielle Verschlusskrankheit (pAVK) kann auf verschiedene Arten behandelt werden. Neben den konservativen Methoden, die hier nicht näher erläutert werden, da sie hauptsächlich präventive Maßnahmen umfassen, gibt es drei weitere Behandlungsmöglichkeiten, um diese Art von Verschlüssen zu behandeln (Xu *et al.*, 2022).

1.4.1. Medikamentöse Behandlung

Eine Möglichkeit der Behandlung der pAVK ist die Thrombozytenaggregationshemmung (TAH). Durch Medikamente – sog. Plättchenhemmer – wird die Verklumpung von Blutplättchen (Thrombozytenaggregation) gehemmt. Diese Hemmer bestehen aus synthetischen Heparinen, welche die Blutgerinnung herabsetzen. (Cetin and Baumgartner, 2004; Leuser, 2009)

1.4.2. Operative Behandlung

Eine weitere Möglichkeit besteht in der operativen Behandlung, die in Form einer Bypass - Operation durchgeführt wird. Dabei wird ein neues Blutgefäß, auch Bypass genannt, genutzt, um die betroffene Stelle zu umgehen. Nach einem sorgfältigen Schnitt am Bein, um die betroffene Arterie freizulegen, wird entweder ein anderes Blutgefäß, oft eine Vene aus dem Bein, vorbereitet und herausgelöst oder ein künstliches Gefäß verwendet. Dieses wird dann so angepasst, dass es die Verengung überbrücken kann. Das eine Ende wird oberhalb der Verengung angeschlossen, das andere darunter (Rümenapf *et al.*, 2021; Xu *et al.*, 2022)

1.4.3. Interventionelle Behandlung

Eine weitere Behandlungsmöglichkeit ist die perkutane transluminale Angioplastie (PTA). Diese wird auch in dieser Forschungsarbeit betrachtet und bewertet. Bei der PTA wird die pAVK mit einem Ballonkatheter und/ oder einem Stent behandelt. Zunächst wird durch den Ballonkatheter mit der Ballondilatation (Angioplastie) die betroffene Arterie aufgedehnt. Bei Bedarf wird anschließend, falls Verdacht auf eine erneute Verengung (Restenose) der Stelle besteht, ein Stent an dieser Stelle eingesetzt (Antwerpes *et al.*, 2021; Xu *et al.*, 2022).

1.5. Theoretischer Hintergrund

Im Folgenden werden die unterschiedlichen Arten der Bildgebung betrachtet, die bei einer Prozedur wie der PTA verwendet werden.

1.5.1. Einsatz von bildgebenden Verfahren bei einer PTA

Um während einer PTA sowohl den Fortschritt des Eingriffs zu überwachen als auch den Erfolg beurteilen zu können, wird ein bildgebendes Verfahren angewendet. In diesem Fall wird Durchleuchtung (Fluoroskopie) in Verbindung mit digitaler Subtraktionsangiographie (DSA) verwendet. Mit einer Frequenz von etwa einem Bild pro Sekunde werden unterschiedliche Bildserien aufgenommen. Die verwendete Strahlendosis ist von dem Arzt so eingestellt, dass bei minimaler Belastung die notwendige Bildqualität erreicht werden kann (Criqui *et al.*, 2021; Jones *et al.*, 2023).

1.5.1.1. Durchleuchtung

Bei der Durchleuchtung (Fluoroskopie) handelt es sich um eine gepulste Bildgebungstechnik, bei der Röntgenstrahlung verwendet wird, um Bewegungsabläufe im Körper in Echtzeit darzustellen. Aufgrund der ionisierenden Strahlung, welche die Fluoroskopie verwendet, kann diese potenziell schädlich für den Menschen sein. Um die Blutgefäße mit dieser Methodik sichtbar zu machen, wird dem Patienten ein Kontrastmittel, welches Jodverbindungen enthält und somit die Röntgenstrahlen absorbiert, injiziert (Herrmann *et al.*, 1996).

1.5.1.2. Digitale Subtraktionsangiographie

Die digitale Subtraktionsangiographie (DSA) ist ein Verfahren, bei dem, wie der Name schon andeutet, eine Subtraktion durchgeführt wird. Dabei wird das erste Bild, welches ohne Kontrastmittel aufgenommen wurde von dem aktuellen Bild subtrahiert, so dass Knochen, Prothesen usw. nicht mehr sichtbar sind. Dadurch entsteht ein monochromatisches Bild, welches den Blutfluss in den betroffenen Gefäßen deutlich erkennbar und auswertbar macht (Augustin *et al.*, 2020).

1.5.1.3. syngo iFlow®

Die syngo iFlow® - Software ist eine medizinische Bildgebungssoftware, die in der Radiologie verwendet wird. Sie wurde von Siemens Healthineers entwickelt und ist Teil des syngo - Bildgebungssoftwarepakets. Diese Software wurde speziell entwickelt, um Bilder, die durch Angiographie aufgenommen wurden, weiterzuverarbeiten. Dadurch wird nicht nur die Auswertung der Bilder vereinfacht, sondern es ermöglicht auch eine verbesserte Visualisierung und Quantifizierung.

Bei dieser Software liegt der Schwerpunkt auf der Weiterverarbeitung der Bilder für die Auswertung. Durch Farbcodierung kann nicht nur die benötigte Zeit für den Blutfluss von einem Punkt zum anderen bestimmt werden, sondern es ist auch möglich die Flussdynamik zu beurteilen. ('syngo iFlow', 2023) Dieser Aspekt ist besonders zentral für diese Arbeit.

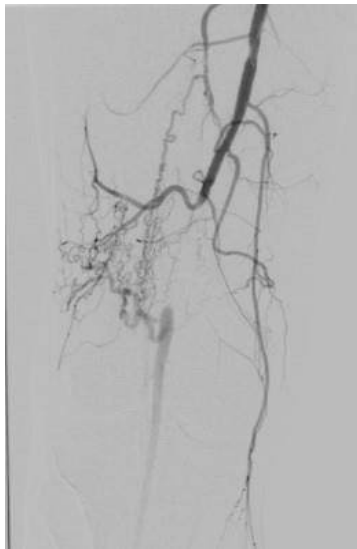


Abbildung 1 vor Eingriff früh

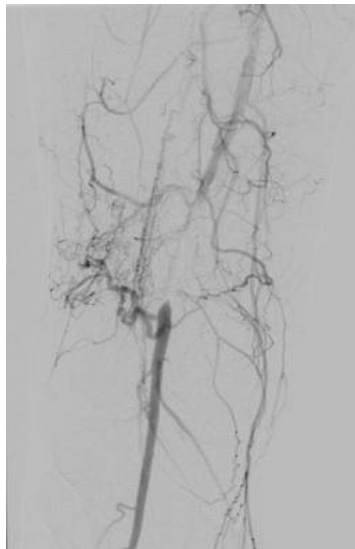


Abbildung 2 vor Eingriff spät

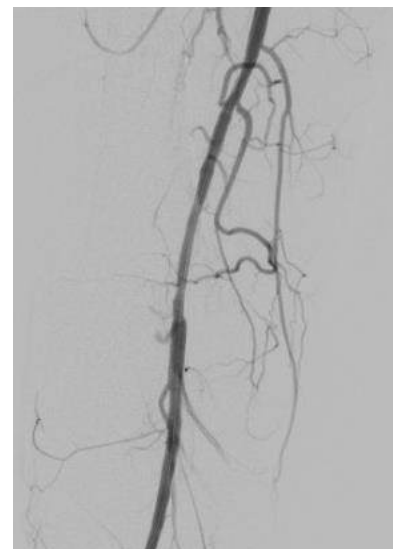


Abbildung 3 nach Eingriff

Auf dem linken und mittleren Bild sind die verschlossenen Gefäße vor dem Eingriff zu sehen. Es ist deutlich erkennbar, dass auf dem rechten Bild nach dem Eingriff der Blutfluss deutlich schneller ist. Allerdings lässt sich aus den Bildern weder die genaue Zeit ablesen, noch können Rückschlüsse auf die Dynamik des Blutflusses gezogen werden. Zudem werden für die Darstellung des Verschlusses vor dem Eingriff in dieser Version zwei Bilder benötigt.

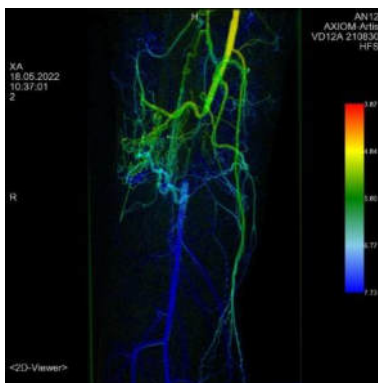


Abbildung 4 iFlow vorher

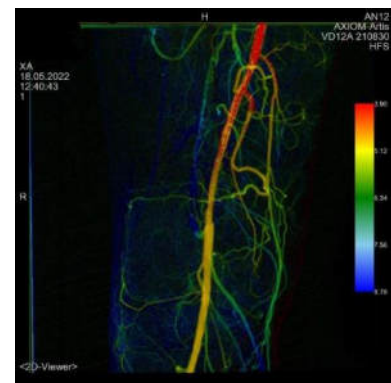


Abbildung 5 iFlow nachher

In Abbildung 4 und 5 sind nun Beispiele zu sehen, die die Ergebnisse nach Anwendung des iFlow - Algorithmus zeigen. Dabei wurden die DSA - Bilder des Patienten

aus Abbildung 1 - 3 verwendet. Nun ist die Flussdynamik deutlich besser erkennbar, und die zeitliche Verbesserung deutlich ablesbar. Dadurch kann der tatsächliche Erfolg des Eingriffs anhand von nur zwei Bildern viel besser bewertet werden.

1.5.2. ARTIS Pheno®

Der ARTIS Pheno® ist ein bodenmontiertes Angiographiesystem, welches von Siemens Healthineers entwickelt wurde, um während des Eingriffs eine Bildgebung zu ermöglichen. Um den Patienten mit der geringstmöglichen Strahlendosis zu belasten, wird pro Sekunde nur ein Bild aufgenommen. Natürlich kann dadurch nicht die zeitliche Auflösung erreicht werden wie beispielsweise bei 30 Bildern pro Sekunde. Dieser Kompromiss ist jedoch gerechtfertigt, da bereits bei der Aufnahme von nur zwei Bildern die doppelte Strahlendosis verabreicht werden würde. Generell entsteht bei Eingriffen mit dem Pheno auch kaum Streustrahlung, da die Strahlung im Detektor vollständig absorbiert wird und es nur einen "Hauptstrahl" zwischen den beiden Platten gibt. ('ARTIS Pheno', 2023)

1.6. Ziel der Arbeit

Diese Arbeit zielt darauf ab, die Flussveränderung mit der syngo iFlow – Software bei flussverbessernden Eingriffen zu visualisieren und zu quantifizieren. Zusätzlich wird die Praxistauglichkeit der Software geprüft.

2. Material und Methoden

2.1. Dokumentation der Patienteneingriffe

Bei der Dokumentation der Patienteneingriffe wurden im Zuge dieser Arbeit schon vorhandene Daten wie DAS - Bilderserien verwendet, aber es wurden auch im Verlaufe der Arbeit weitere Serien von Fällen mit pAVK erstellt. Grundsätzlich wurde immer eine vorher - und nachher - Serie der betroffenen Stelle zusammen mit dem Alter, Geschlecht und den bekannten Vorerkrankungen des jeweiligen Patienten festgehalten.

2.2. Bearbeitung mit syngo iFlow®

Um die Flussdynamik für eine aussagekräftige Auswertung zu visualisieren, wurden die zuvor ausgewählten DSA - Bilderserien mit der Software syngo iFlow nachbearbeitet. Während dieses Prozesses mussten die Einstellungen der Software individuell für jede Serie angepasst werden, um eine optimale Darstellung zu gewährleisten und somit einen präzisen Vergleich zu ermöglichen. Darauf folgte die Auswertung der Bilder durch die Gegenüberstellung vor und nach dem flussverbessernden Eingriff. Dabei wurden sowohl der Erfolg der Rekanalisierung als auch die tatsächliche Verbesserung der gesamten Flussdynamik im betroffenen Bereich bewertet.

2.3. Statistische Auswertung

Um das Ziel dieser Studie zu verwirklichen wurden die gesammelten Daten anschließend ausgewertet. Die ausgewerteten Patienten wurden nach den in 2.3.1. festgelegten Kriterien ausgewählt.

2.3.1. Kriterien

Einschlusskriterien:

- pAVK in den unteren Extremitäten

Ausschlusskriterien:

- Bildserien unbrauchbar: verwackelt; zu kurz; kein Vergleich möglich

2.3.2. Studienpopulation

In der Studie wurden 12 männliche und 7 weibliche Patienten der interventionellen Radiologie am Klinikum Rechts der Isar mit einem mittleren Alter von 73,89 Jahren (Minimum 40 Jahre, Maximum 94 Jahre) eingeschlossen. Bei den weiblichen Patienten beträgt das mittlere Alter 72,2 Jahre, bei den männlichen Patienten 74,36 Jahre.

Patient	Geschlecht	Alter	Datum PTA	Vorerkrankungen
1	Männlich	81	20.01.2022	Diabetes mellitus Typ 2
2	Männlich	94	01.02.2022	Hypertonie
3	Männlich	77	08.02.2022	Nikotinmissbrauch
4	Weiblich	81	21.02.2022	Diabetes mellitus Typ 2
5	Weiblich	51	07.04.2022	Hypertonie
6	Weiblich	74	02.05.2022	Nikotinmissbrauch
7	Männlich	40	18.05.2022	Adipositas (BMI über 30)
8	Männlich	83	20.10.2022	Familiäre Vorgeschichte von pAVK
9	Männlich	84	29.11.2022	Hypertonie, Chronische Niereninsuffizienz
10	Männlich	55	12.12.2022	Diabetes mellitus Typ 2
11	Männlich	79	22.12.2022	Diabetes mellitus Typ 2, Hypertonie
12	Männlich	79	22.12.2022	Vorangegangener Schlaganfall
13	Weiblich	73	23.12.2022	Adipositas (BMI über 30)
14	Männlich	80	26.01.2023	Alkoholmissbrauch
15	Männlich	72	01.02.2023	Diabetes mellitus Typ 2

Patient	Geschlecht	Alter	Datum PTA	Vorerkrankungen
16	Weiblich	82	08.02.2023	Familiäre Vorgeschichte von pAVK
17	Männlich	68	11.04.2023	Chronische Niereninsuffizienz
18	Männlich	86	13.04.2023	Hypercholesterinämie (erhöhte LDL-Werte)
19	Männlich	63	25.04.2023	Hypertonie

Basierend auf den, unter 2.3.1. aufgelisteten, Ausschlusskriterien wurden von den vorliegenden Patienten nur 11 Patienten (8M, 3W) in diese Studie aufgenommen.

Die erhobenen Daten stammen ausschließlich aus den Jahren 2022 und 2023, da die syngo iFlow - Software nur mit den DSA - Bildern kompatibel ist, welche durch das Siemens Programm aufgenommen wurden, welches erst seit 2022 im Klinikum Rechts der Isar verwendet wird.

2.4. Hypothese

Die Anwendung der syngo iFlow - Software ermöglicht eine präzisere Visualisierung und Quantifizierung von Flussveränderungen bei flussverbessernden Eingriffen. Es wird erwartet, dass die Software eine zuverlässige und praxistaugliche Methode zur Beurteilung von Blutflussänderungen darstellt, was zu einer verbesserten Diagnose und Behandlung von Patienten mit vaskulären Erkrankungen führen kann.

3. Ergebnisse

3.1. Exemplarisches Beispiel

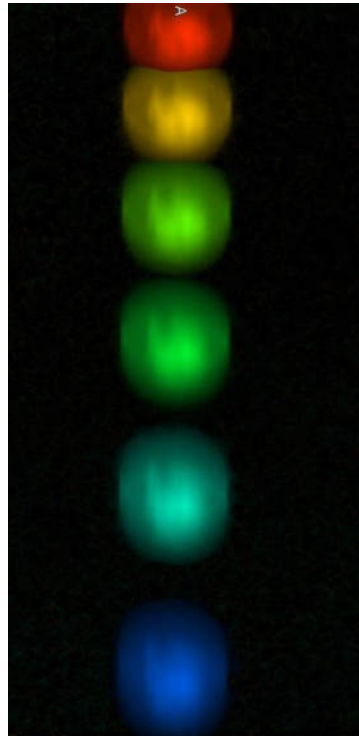


Abbildung 6 Versuch Passionsfrucht

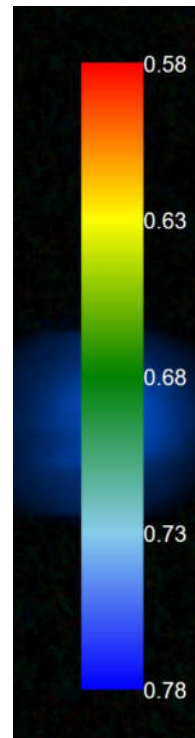


Abbildung 7 Versuch Passionsfrucht Skala

Auf Abbildung 6 und 7 sind nun die Ergebnisse aus dem Experiment mit der Passionsfrucht abgebildet. Das linke Bild zeigt die DSA Serie vom Durchfallen der Passionsfrucht nach der Bearbeitung mit dem iFlow Algorithmus und das rechte Bild stellt die Skala dar, anhand der man das linke Bild auswerten und beurteilen kann. Jeder Farbe ist eine Zeitspanne Δt zugewiesen, durch welche sich bestimmen lässt wie lange die Passionsfrucht von einem festgelegten Zeitpunkt T_0 (hier: 0.58s) bis zu einem bestimmten Punkt P gebraucht hat. Die Zeit wird in Sekunden angegeben, für die Strecke Δs gibt es keine feste Skalierung in der iFlow - Software, da je nach Operateur und Eingriff sich der Zoom des Bildes verändert. syngo iFlow hat im Gegensatz zu DSA Programmen (Artis Zeego ®; Siemens) keine automatische Generierung der Maßstäbe, die sich dem Zoom anpassen.

3.2. Darstellung der Ergebnisse

3.2.1. Patient 4

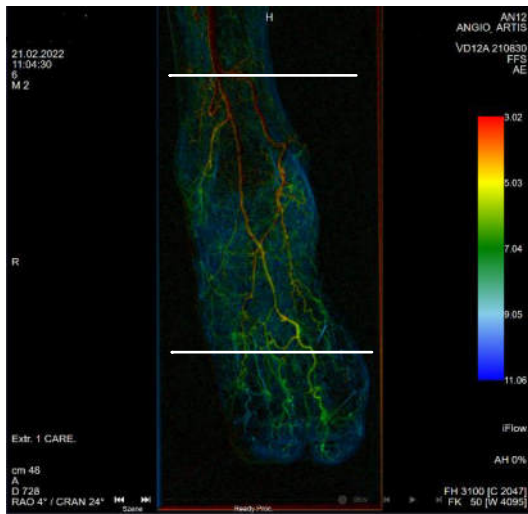


Abbildung 8 Patient 4 vorher

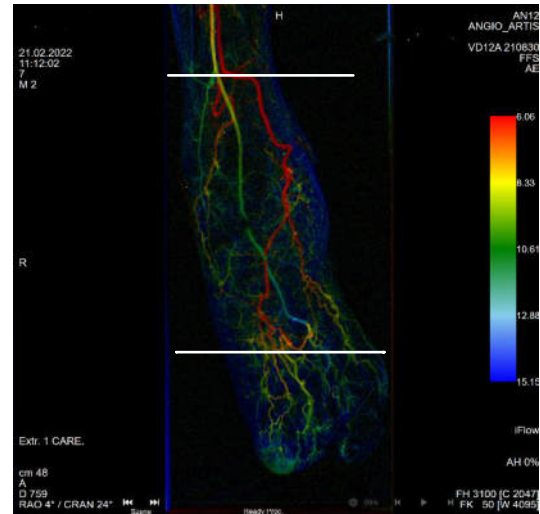


Abbildung 9 Patient 4 nachher

Bei Patient 4 lassen sich ein deutlich besserer Fluss, freiere Arterien und ein deutlich schnellerer Bluttransport in dem markierten Bereich feststellen. Die Dynamik des Blutflusses ist verbessert, dadurch dass weniger Kollaterale genutzt werden und das Blut größtenteils durch die hauptsächlichen Arterien bis nach unten. In Abbildung 8 ist beträgt der schnellste Weg 4.02s, in Abbildung 9 hingegen benötigt das Blut für dieselbe Strecke unter 1s.

3.2.2. Patient 6

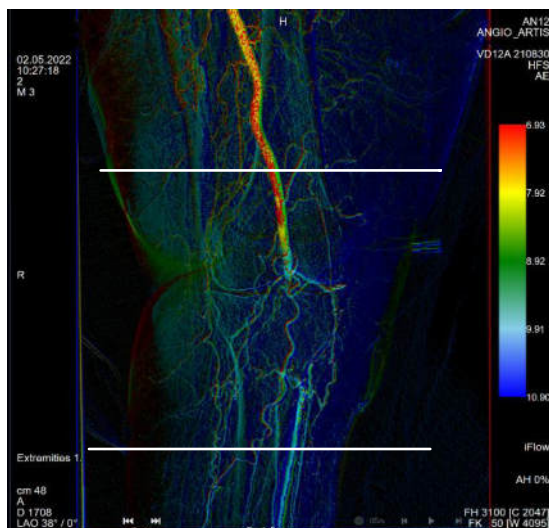


Abbildung 10 Patient 6 vorher

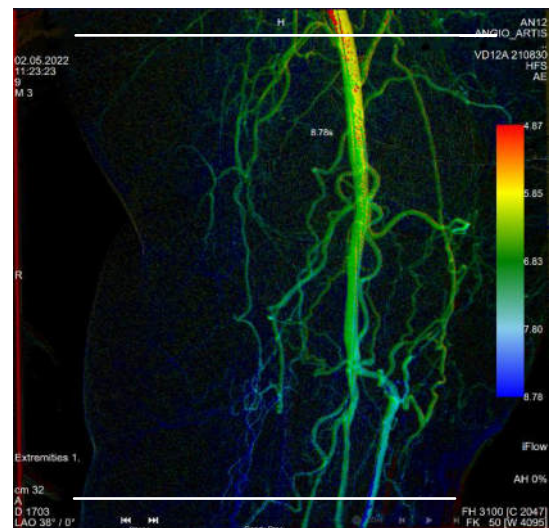


Abbildung 11 Patient 6 nachher

Bei Patient 6 ist an der Abbildung 10 eine Okklusion und eine verhältnismäßig lange Zeitspanne für den Blutfluss im markierten Bereich ($\Delta t > 2$) vor dem Eingriff. Nach der

Restenosierung ist nicht nur die Arterie wieder fast vollständig geöffnet, sondern Δt ist auch kleiner 2. Dies lässt auf eine positive Entwicklung in der Flussdynamik des Blutes schließen.

3.2.3. Patient 7

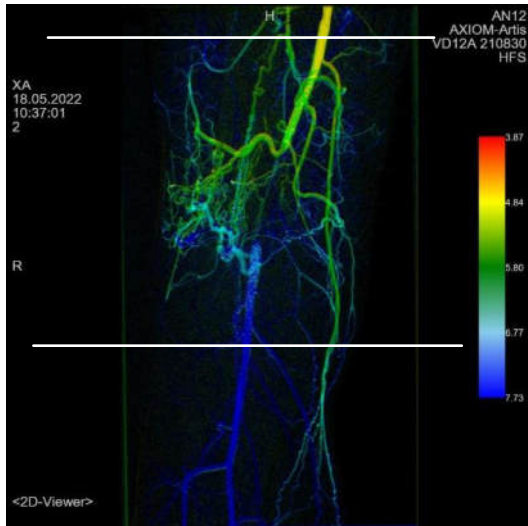


Abbildung 12 Patient 7 vorher

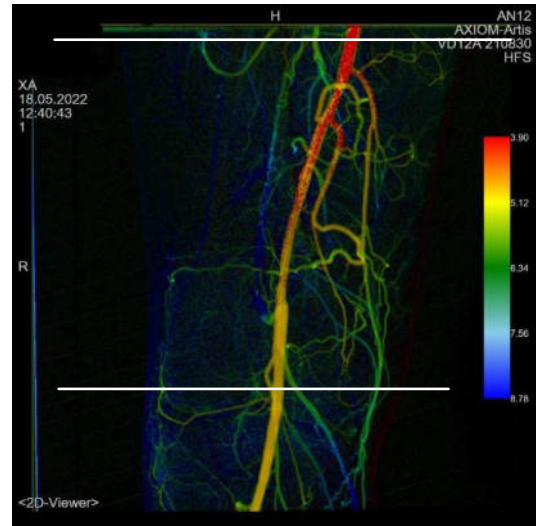


Abbildung 13 Patient 7 nachher

Patient 7 hat auf der Abbildung 12 (vorher) eine Okklusion, welche nach dem Eingriff vollständig aufgelöst ist, und eine Zeitspanne im markierten Bereich von ungefähr 3s, welche sich nach dem Eingriff auf etwa 1s verbessert und somit eine grundsätzliche Verbesserung der Blutflussdynamik mit sich bringt. Man kann nicht nur einen klaren Rückgang an Kollateralen beobachten, sondern auch ein leicht vergrößertes Volumen der Arterie.

3.2.4. Patient 8

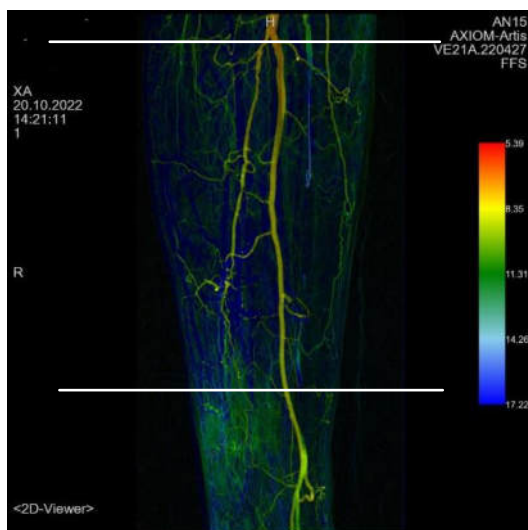


Abbildung 14 Patient 8 vorher

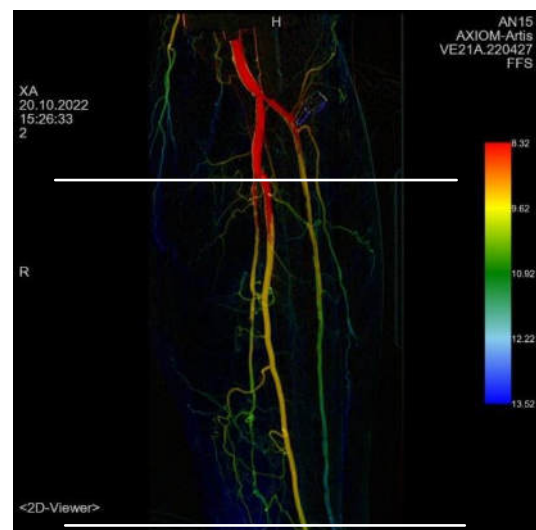


Abbildung 15 Patient 8 nachher

Hier kann man direkt auf den ersten Blick feststellen, dass es eine positive Flussveränderung gab, durch die PTA. Auf der Abbildung 14 ist eine Okklusion des rechten, äußeren Stranges der Arterie zu erkennen, welche mit dem flussverbessernden Eingriff geöffnet wird. Wie man auf Abbildung 15 erkennen kann ist mit der Okklusionsbehebung auch eine verbesserte Flussdynamik der Fall. Ein Indiz dafür ist auch wieder die veränderte Flussgeschwindigkeit $\Delta t_v=2,96s$ und $\Delta t_n=1,3s$ und die verminderte Nutzung von Kollateralen im markierten Bereich.

3.2.5. Patient 9

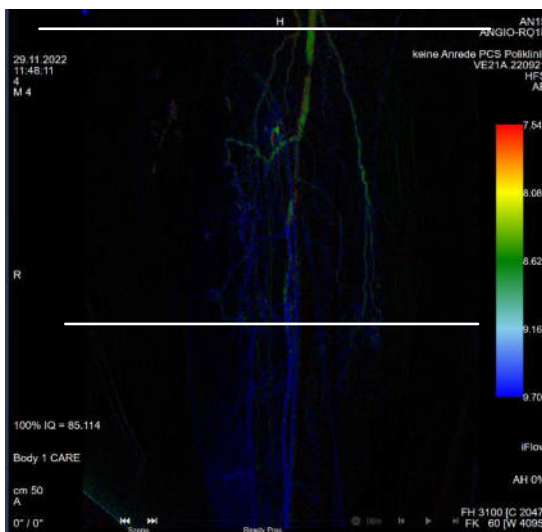


Abbildung 16 Patient 9 vorher

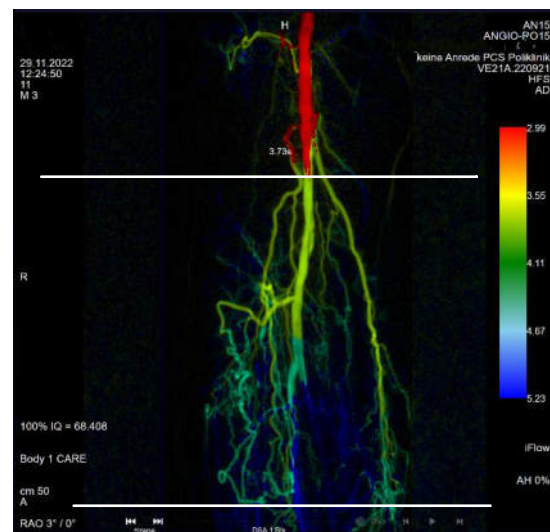


Abbildung 17 Patient 9 nachher

Auf Abbildung 16 ist eine Stenose im oberen, mittleren Bereich zu erkennen, welche durch eine Rekanalisierung weitestgehend behoben wird, wie auf Abbildung 17 ersichtlich ist. Durch diesen Eingriff ist nun das Volumen der Arterie größer und die Flussgeschwindigkeit um mehr als 1s gesenkt. Somit ist hier sehr deutliche ein besserer Fluss möglich. Dennoch sind in Abbildung 17 im unteren Bereich Kollaterale zu erkennen, welche aber zunächst einmal für diese spezielle Betrachtung nicht von Relevanz sind.

3.2.6. Patient 11

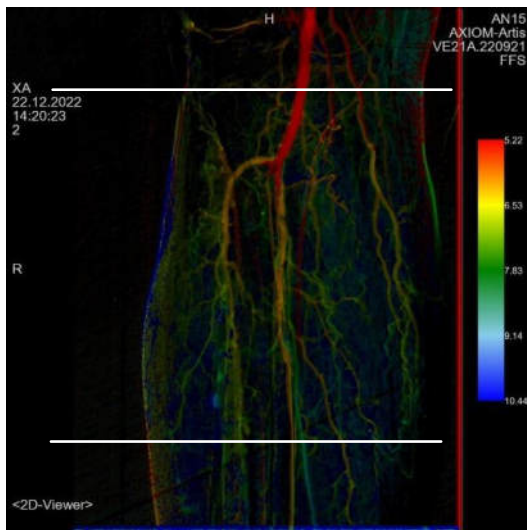


Abbildung 18 Patient 11 vorher

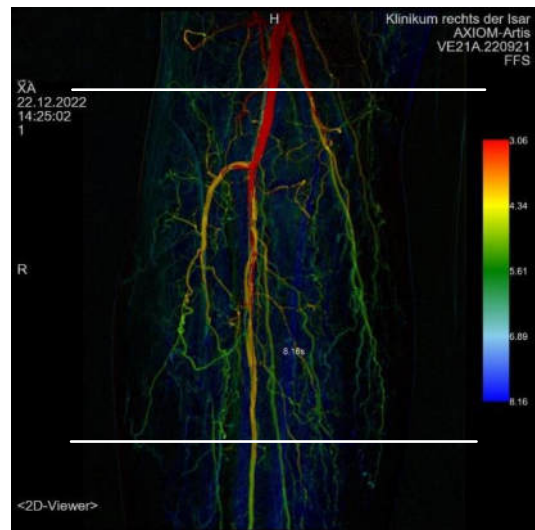


Abbildung 19 Patient 11 nachher

Hier kann man in Abbildung 18 über den markierten Bereich hinweg mehrere, kleine Stenosen feststellen. In Abbildung 19 sind diese Stenosen nur geringfügig aufgehoben und somit kann man auch keine gravierenden Verbesserungen am Flussbild festmachen.

3.2.7. Patient 12

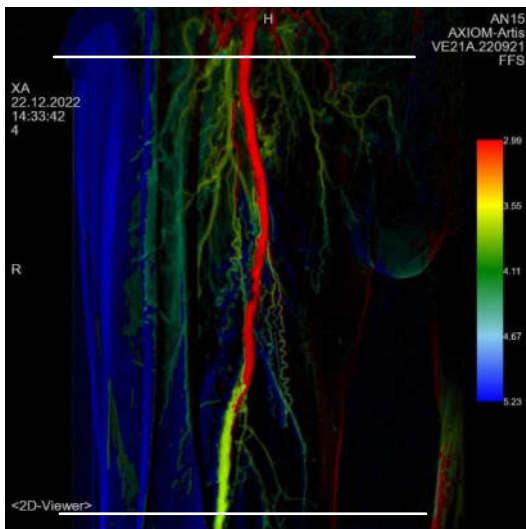


Abbildung 20 Patient 12 vorher

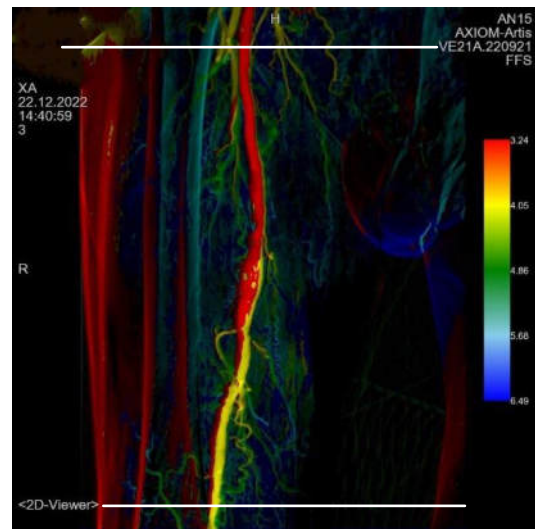


Abbildung 21 Patient 12 nachher

Auf Abbildung 20 sind auf mittlerer Höhe im markierten Bereich ein paar kleinere Stenosen, die trotz ihrer geringfügigen Größe Ursache von einigen Kollateralen sind. Auf der rechten Abbildung ist die freie Arterie zu sehen und die meisten Kollaterale haben sich zurückgebildet. Auch die Flussgeschwindigkeit verbessert sich von $\Delta t_v=1,12$ auf $\Delta t_n=0,81s$. Außerdem lässt sich auch wieder durch die Öffnung der Stenosen eine Volumenvergrößerung der Arterie feststellen.

3.2.8. Patient 13

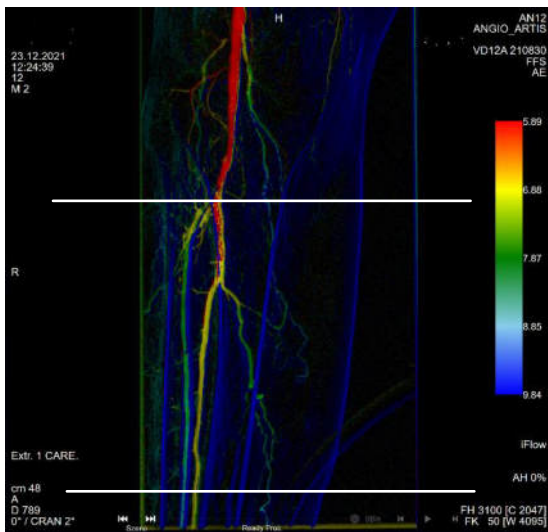


Abbildung 22 Patient 13 vorher

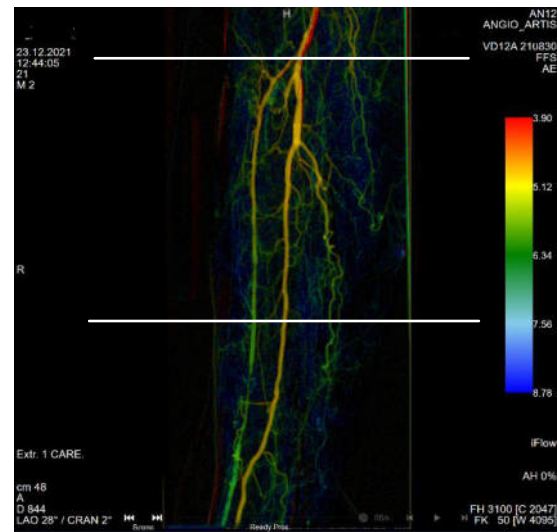


Abbildung 23 Patient 13 nachher

Auf Abbildung 22 ist der für diese Arbeit interessante Teil: eine schwere Stenose links außen im markierten Bereich. Hier wird durch die iFlow - Software deutlich, dass der Blutfluss von der oberen Linie bis zur unteren fast 4s benötigt und sich noch dazu in der Mitte der zwei Arterien ein ausgeprägtes Kollateral bildet. Nach der PTA verbessert sich nicht nur Δt um mehr als 3s in der betroffenen Arterie, sondern auch das mittlere Kollateral bildet sich zurück. Auf der rechten Seite befindet sich eine weitere Okklusion, welche hier aber nicht behandelt wurde.

3.2.9. Patient 14

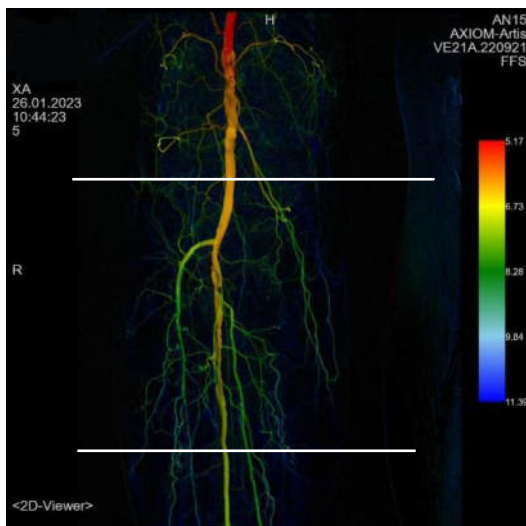


Abbildung 24 Patient 14 vorher

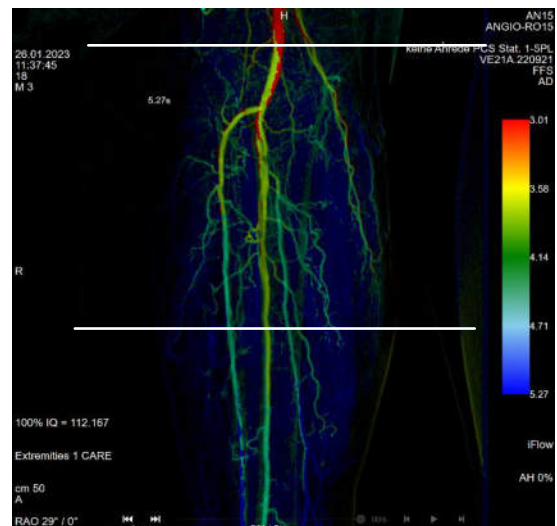


Abbildung 25 Patient 14 nachher

Auf Abbildung 24 sieht man links, im markierten Bereich, eine Stenose die in eine Okklusion übergeht. Über diese Arterie braucht das Blut in etwa 4s von einem Punkt zum Anderen. Durch den flussverbessernden Eingriff beträgt die Zeit danach nur noch

etwas unter 2s. Die meisten Kollaterale bleiben weiterhin bestehen. Somit lässt sich die Flussveränderung grundsätzlich positiv bewerten.

3.2.10. Patient 17

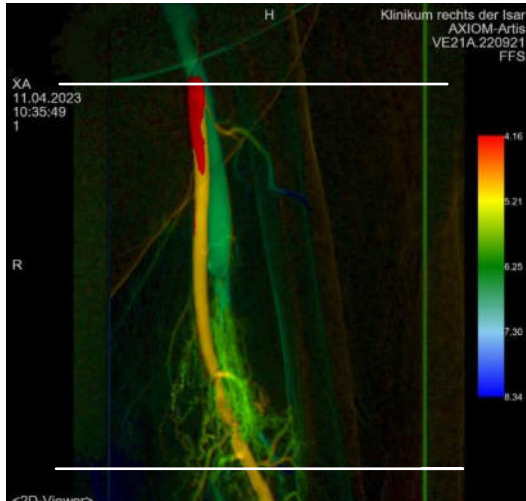


Abbildung 26 Patient 17 vorher

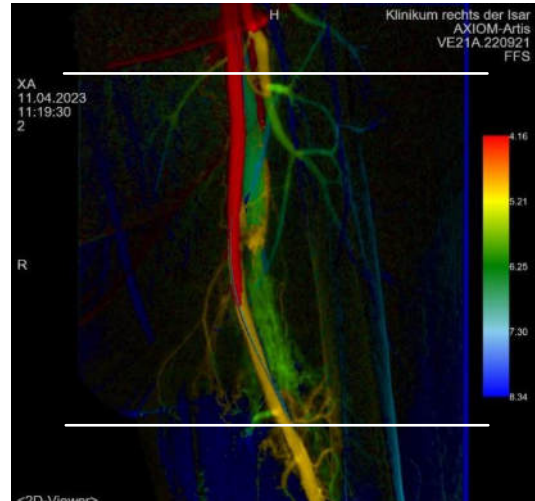


Abbildung 27 Patient 17 nachher

In Abbildung 26 ist im unteren Bereich eine schwere Stenose erkennbar, welche, wie in Abbildung 27 ersichtlich, durch einen flussverbessernden Eingriff (hier: in blau auch erkennbarer Draht, welcher für den Eingriff verwendet wurde), geöffnet wird, sodass der Blutfluss wieder dynamischer ablaufen kann. Δt verbessert sich zwar nur gering, jedoch werden die Kollaterale aufgelöst und die Grunddynamik ändert sich zum Positiven.

3.2.11. Patient 18

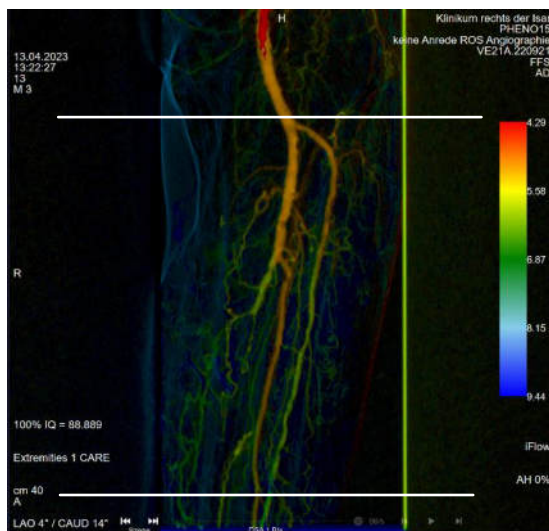


Abbildung 28 Patient 18 vorher

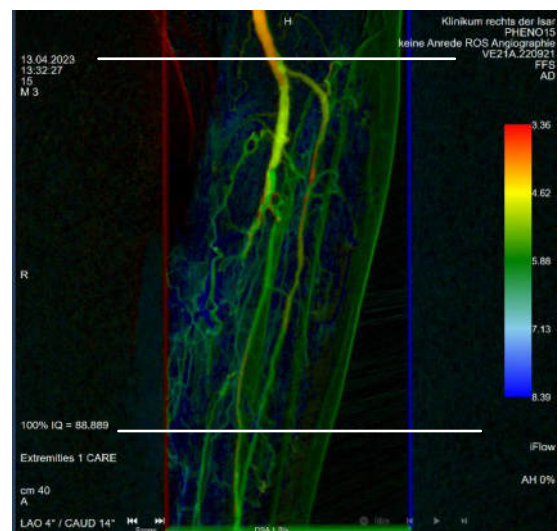


Abbildung 29 Patient 18 nachher

Auf Abbildung 28 ist im markierten Bereich links eine Okklusion der Arterie festzustellen, welche durch den flussverbessernden Eingriff nicht geöffnet werden kann. Weiter

oben ebenfalls links sind kleinere Stenosen feststellbar, die auf Abbildung 29 nun etwas kleiner sind. Insgesamt lässt sich hier aber keine positive Veränderung feststellen.

3.3. Auswertung der Ergebnisse

3.3.1. Erfolgsquote der PTA allgemein

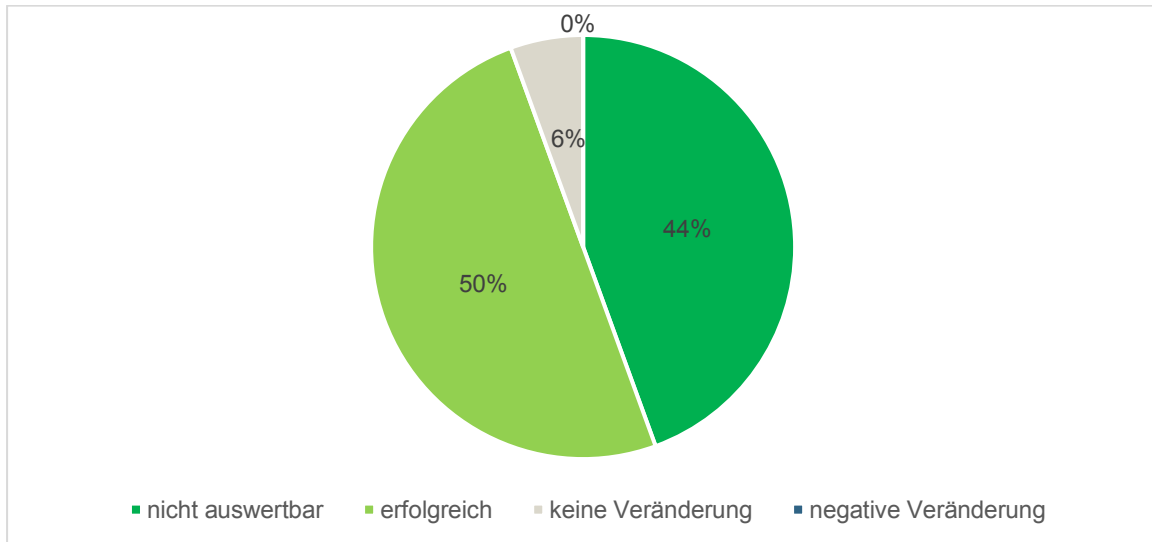


Diagramm 1 Erfolgsquote PTA

In Diagramm 1 ist die relative Verteilung der Erfolgsquote der durchgeführten perkutanen transluminalen Angioplastien abgebildet.

3.3.2. Erfolgsquote der Auswertung durch syngo iFlow

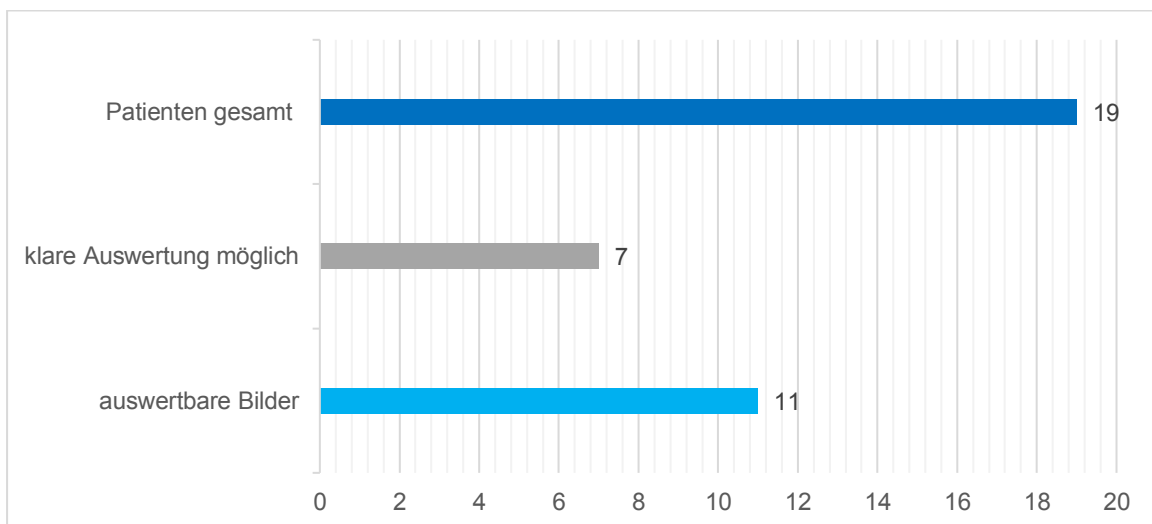


Diagramm 2 Erfolgsquote der Auswertung durch syngo iFlow

Diagramm 2 zeichnet die Erfolgsquote der Auswertung mithilfe der syngo iFlow - Software in absoluten Zahlen ab.

3.4. Visualisierung der Veränderungen der Blutflussdynamik

Mein Ziel war es, die Veränderungen der Blutflussdynamik nach einem flussverbesserndem Eingriff zu visualisieren mithilfe der Nutzung der syngo iFlow - Software und dabei die Praxistauglichkeit dieser zu evaluieren. Eine Visualisierung und Quantifizierung der gegebenen Daten konnte erfolgreich durchgeführt werden. Meinen Ergebnissen zufolge ermöglicht die Software zwar eine deutlich vereinfachte und doch relativ präzise Visualisierung der Flussveränderung, jedoch müssen in jedem Fall bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein, um die iFlow Bilder tatsächlich zur Gesamtauswertung eines PTA - Patienten nutzen zu können.

3.5. Weitere Ergebnisse der Studie

Zusätzlich konnte durch diese Studie die Erfolgsquote der PTA an den unteren Extremitäten bewertet werden. Wie in Diagramm 1 (S.21) zu erkennen ist, ist die Erfolgsquote der PTAs und eine, damit einhergehende, verbesserte Blutflussdynamik am Klinikum Rechts der Isar verhältnismäßig hoch.

4. Diskussion

4.1. Einführung

Die vorliegende Arbeit widmet sich dem zentralen Anliegen, die Dynamik von Blutflussveränderungen im Kontext flussverbessernder Eingriffe zu erforschen.

Im Fokus steht dabei die Anwendung der syngo iFlow - Software als Instrument zur Visualisierung und Quantifizierung dieser Veränderungen. Dieser Ansatz birgt das Potenzial, die Effizienz und Praxistauglichkeit von Eingriffen zur Verbesserung des Blutflusses zu prüfen. Im Gegensatz zu DSA - Bildern kann man mit iFlow - Bildern ziemlich genau die Änderungen der Flussdynamik bestimmen und diese bewerten.

Es wird das Ziel verfolgt, die Leistungsfähigkeit dieser Software in der Darstellung von Blutflussveränderungen zu evaluieren und ihre Praxistauglichkeit zu überprüfen. Der Kontext dieser Forschung ist von besonderer Relevanz angesichts der steigenden Bedeutung flussverbessernder, minimalinvasiver Interventionen in der klinischen Praxis. Die Visualisierung und quantitative Analyse von Blutflussveränderungen sind entscheidende Faktoren für die Bewertung und Weiterentwicklung dieser Eingriffe.

Durch die Erörterung der Ergebnisse und die kritische Betrachtung ihrer Anwendbarkeit in der Praxis trägt diese Arbeit dazu bei, den aktuellen Stand der Technologie zu beleuchten und potenzielle Impulse für weiterführende Forschung und klinische Anwendungen zu setzen.

4.2. Interpretation der Ergebnisse

Die vorliegenden Ergebnisse verdeutlichen die Fähigkeit der syngo iFlow - Software, präzise und detaillierte Visualisierungen von Blutflussveränderungen zu generieren. Zugleich zeigen diese aber auch die Probleme des Programms auf. Durch die quantitative Analyse lässt sich eine bemerkenswerte Zuverlässigkeit bei der Erfassung von Mikrozirkulation feststellen. Dies unterstreicht die potenzielle Bedeutung der Software als wertvolles Werkzeug zur Bewertung flussverbessernder Interventionen.

Die Software erwies sich als weitestgehend benutzerfreundlich und leicht anwendbar. Diese Erkenntnisse legen nahe, dass die syngo iFlow - Software nicht nur wissenschaftliche Analysen ermöglicht, sondern auch in der realen klinischen Umgebung als praktisches Instrument zur Verfügung steht.

Die Ergebnisse dieser Studie eröffnen vielversprechende Perspektiven für die Anwendung der syngo iFlow - Software in der Bewertung von flussverbessernden Eingriffen. Die detaillierte Visualisierung von Blutflussveränderungen auf mikrovaskulärer Ebene könnte nicht nur die Diagnose verbessern, sondern auch maßgeblich zur Optimierung therapeutischer Entscheidungen beitragen. Auch ist die Subjektivität der Bewertung der monochromatischen 2D – DSA - Bilder eine Schwierigkeit, welche jedoch durch die farbcodierten Serien zumindest in weiten Teilen behoben wird.

Wichtig zu erwähnen sind an dieser Stelle jedoch ebenfalls zum Einen die Ungenauigkeit der Software und zum Anderen die strikten Voraussetzungen, die gegeben sein müssen für eine sinnvolle Auswertung. Durch die Farbcodierung kann man zwar die ungefähren Geschwindigkeitsänderungen des Flusses bewerten, auf einen exakten Wert kommt man hier jedoch nicht. Außerdem mussten in dieser Studie 44% der Patienten (siehe S.21) von vornherein ausgeschlossen werden aufgrund der Untauglichkeit der DSA - Bilderserien zur Konvertierung zu iFlow - Bildern. Um ein aussagekräftiges Bild zu erhalten, darf der Patient sich während dem Zeitraum der Aufnahme der Serie nicht bewegen und idealerweise sollten auch beide Serien (vorher und nachher) mit der exakt übereinstimmenden Vergrößerung, den exakt gleichen Bereich ablichten, sodass diese im Nachhinein gut zu vergleichen sind.

Es muss außerdem darauf hingewiesen werden, dass die vorliegende Arbeit bestimmte Limitationen aufweist, welche in 4.5. genauer erläutert werden. Diese Einschränkungen könnten Einfluss auf die Generalisierbarkeit der Ergebnisse haben. Dennoch legen die Befunde nahe, dass die syngo iFlow - Software eine vielversprechende Technologie darstellt, die das Potenzial hat, die Bewertung und Verbesserung von flussverbessernden Interventionen in der klinischen Praxis zu transformieren.

4.3. Vergleich mit bestehender Literatur

Die vorliegende Studie zielt darauf ab, die Flussveränderungen bei flussverbessernden Eingriffen durch die syngo iFlow - Software zu visualisieren und zu quantifizieren. Parallel dazu wird ihre Praxistauglichkeit überprüft.

Ähnlich zu früheren Arbeiten betont diese Studie die Relevanz quantitativer Analysemethoden bei der Bewertung von Blutflussveränderungen. Die Integration modernster Softwaretechnologien, insbesondere der syngo iFlow - Software, findet ebenfalls eine Anerkennung, wobei die besonderen Vorteile wie beispielsweise eine verbesserte und vereinfachte Evaluation der Flussveränderung, ohne zusätzliche Kosten für eine erhöhte Dosis an Kontrastmittel hervorzuheben sind. Die alleinige Farbcodierung der schon vorhandenen DSA Bilder erleichtert und beschleunigt die Auswertung, vor allem bei komplexeren Flussbildern ungemein (Strother *et al.*, 2010). Außerdem lässt sich auch im Hinblick auf die distale Hämodynamik aus vorherigen Arbeiten schließen, dass eine Farbcodierung und quantitative Analyse durch die syngo iFlow - Software durchaus zu einem verbesserten Krankheitsbild und somit zu einer deutlich genaueren Therapie führen kann (Lou *et al.*, 2016).

Im Gegensatz zu einigen existierenden Studien, die möglicherweise stärker qualitative Aspekte betonen, legt die vorliegende Arbeit einen Schwerpunkt auf die Praxistauglichkeit der Software, was eine Ergänzung zur bestehenden Forschung darstellt. Insgesamt trägt diese Studie dazu bei, den aktuellen Stand der Technik in der Gefäßbildung voranzubringen, indem sie quantitative Analysen betont und die spezifischen Vorteile moderner Softwaretechnologien, wie des syngo iFlow, herausstellt.

4.4. Prüfung der Praxistauglichkeit

Die Software wurde nicht nur auf ihre technische Leistungsfähigkeit hin analysiert, sondern auch daraufhin überprüft, wie reibungslos sie sich in klinische Abläufe integrieren lässt. Die Benutzerfreundlichkeit, Effizienz und Anwendbarkeit wurden gründlich untersucht, um sicherzustellen, dass die Software nicht nur eine zusätzliche Belastung darstellt, sondern auch tatsächlich zu einer Optimierung in der Analyse führt.

Die Resultate dieser Prüfung weisen darauf hin, dass die syngo iFlow - Software nicht nur die Blutdynamik und ihre Veränderung nach einem flussverbessernden Eingriff genau visualisieren und quantifizieren kann, sondern auch eine praxisnahe Anwendung ermöglicht. Die Implementierung in die DSA Bilder verlief sehr unkompliziert, jedoch ist zu erwähnen, dass man sich auch an dieses Programm zunächst einmal gewöhnen muss. Nach ausgiebiger Auseinandersetzung mit dem Programm lässt sich dieses relativ intuitiv und gewinnbringend nutzen. Diese Erkenntnisse unterstreichen die vielversprechenden Aussichten der iFlow - Software als praktisches Instrument in der Gefäßbildgebung.

4.5. Limitationen

Trotz vielversprechender Ergebnisse und potenzieller Anwendbarkeit der syngo iFlow-Software gibt es bestimmte Limitationen, die berücksichtigt werden müssen. Erstens, die vorliegende Studie basiert auf einer weitestgehend retrospektiven Analyse mit einer begrenzten Stichprobengröße. Zukünftige Forschungen mit größeren, prospektiven Kohorten sind notwendig, um die Generalisierbarkeit der Ergebnisse zu stützen. Zweitens könnte die Qualität der iFlow - Bilder von angiographischen Bewegungen beeinflusst worden sein, was möglicherweise zu Messfehlern geführt hat. Es ist wichtig anzumerken, dass die iFlow - Bildqualität empfindlich auf Bewegungen reagiert, was eine mögliche Quelle für Unsicherheiten darstellt. Drittens sollte beachtet werden, dass die Anwendung der syngo iFlow - Software auf spezifische klinische Szenarien begrenzt ist, und ihre Effektivität könnte je nach Patientenpopulation variieren. Diese Limitationen betonen die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen, um die vollen Potenziale und mögliche Einschränkungen der syngo iFlow - Software zu verstehen und ihre Integration in die klinische Praxis optimal zu gestalten.

4.6. Praktische Anwendbarkeit im klinischen Alltag

Die vorliegende Studie bietet bedeutende Implikationen für die praktische Anwendung der syngo iFlow - Software in der klinischen Gefäßbildgebung. Die erfolgreiche Visualisierung und Quantifizierung von Blutflussveränderungen, gepaart mit der positiven Bewertung der Praxistauglichkeit, legen nahe, dass die Software einen vielversprechenden Beitrag zur Verbesserung der Diagnose und Überwachung von vaskulären

Zuständen, auch auf die Schnelle, leisten kann. Die Integration dieser Technologie könnte die Entscheidungsfindung in der Interventionellen Radiologie präzisieren und die Behandlung von Patienten mit vaskulären Erkrankungen optimieren. Durch die leichte Anwendbarkeit, kann die Software im klinischen Alltag, sowohl von ungeübteren, als auch geübteren Nutzern zu präziseren Ergebnissen in kürzerer Zeit führen.

4.7. Zukunftsperspektive

Obwohl diese Studie wichtige Einblicke in die Anwendung der syngo iFlow - Software liefert, öffnet sie gleichzeitig Türen zu weiteren Forschungsperspektiven. Zukünftige Untersuchungen könnten sich auf die Validierung dieser Ergebnisse in größeren Patientenkohorten konzentrieren, um die externe Validität zu stärken. Die Anwendung der syngo iFlow - Software in verschiedenen klinischen Szenarien und Patientenpopulationen sollte weiter erforscht werden, um ihre Vielseitigkeit und Effektivität zu beurteilen. Darüber hinaus könnten Vergleichsstudien mit anderen bildgebenden Verfahren dazu beitragen, die spezifischen Stärken und Schwächen der syngo iFlow - Software im Kontext der Gefäßbildgebung besser zu verstehen.

4.8. Fazit

In Anbetracht der erzielten Ergebnisse und der diskutierten praktischen Anwendbarkeit in 4.6. lässt sich festhalten, dass die syngo iFlow - Software einen vielversprechenden Schritt in Richtung fortschrittlicher Gefäßbildgebung darstellt. Die praxisnahe Anwendbarkeit und die Fähigkeit, komplexe Blutflussveränderungen genau zu quantifizieren, deuten darauf hin, dass diese Technologie einen positiven Einfluss auf die klinische Praxis haben könnte. Trotz identifizierter Limitationen unterstreicht diese Studie die Notwendigkeit weiterer Forschung, um die volle Bandbreite der Anwendbarkeit und mögliche Herausforderungen der syngo iFlow - Software zu verstehen und ihre Integration in die klinische Praxis zu fördern. Insgesamt trägt diese Arbeit dazu bei, den aktuellen Stand der Gefäßbildgebungstechnologien zu erweitern und bietet eine solide Grundlage für zukünftige Entwicklungen auf diesem vielversprechenden Gebiet.

Abbildungsverzeichnis

Für alle Abbildungen gilt: eigene Aufnahme, Lizenz liegt beim Klinikum Rechts der Isar

Abbildung 1 vor Eingriff früh	9
Abbildung 2 vor Eingriff spät.....	9
Abbildung 3 nach Eingriff.....	9
Abbildung 4 Iflow vorher	9
Abbildung 5 Iflow nachher	9
Abbildung 6 Versuch Passionsfrucht	14
Abbildung 7 Versuch Passionsfrucht Skala	14
Abbildung 8 Patient 4 vorher	15
Abbildung 9 Patient 4 nachher.....	15
Abbildung 10 Patient 6 vorher	15
Abbildung 11 Patient 6 nachher.....	15
Abbildung 12 Patient 7 vorher	16
Abbildung 13 Patient 7 nachher.....	16
Abbildung 14 Patient 8 vorher	16
Abbildung 15 Patient 8 nachher.....	16
Abbildung 16 Patient 9 vorher	17
Abbildung 17 Patient 9 nachher.....	17
Abbildung 18 Patient 11 vorher	18
Abbildung 19 Patient 11 nachher.....	18
Abbildung 20 Patient 12 vorher	18
Abbildung 21 Patient 12 nachher.....	18
Abbildung 22 Patient 13 vorher	19
Abbildung 23 Patient 13 nachher.....	19
Abbildung 24 Patient 14 vorher	19
Abbildung 25 Patient 14 nachher.....	19
Abbildung 26 Patient 17 vorher	20
Abbildung 27 Patient 17 nachher.....	20

Abbildung 28 Patient 18 vorher	20
Abbildung 29 Patient 18 nachher.....	20

Literaturverzeichnis

Antwerpes, F. (2019) 'Okklusion (Pathologie)', *DocCheck Flexikon*, 4 August. Available at: [https://flexikon.doccheck.com/de/Okklusion_\(Pathologie\)](https://flexikon.doccheck.com/de/Okklusion_(Pathologie)).

Antwerpes, F. *et al.* (2021) 'Perkutane transluminale Angioplastie', *DocCheck Flexikon*, 4 August. Available at: https://flexikon.doccheck.com/de/Perkutane_transluminale_Angioplastie.

'Artis pheno' (2023) *Siemens Healthineers*, 11 March. Available at: <https://www.siemens-healthineers.com/at/angio/artis-interventional-angiography-systems/artis-pheno-overview/artis-pheno-ir>.

Augustin, A.M. *et al.* (2020) 'Evaluation of superficial femoral artery-lesions after percutaneous transluminal angioplasty: color-coded summation images vs. monochromatic digital subtraction angiography', *BMC Medical Imaging*, 20(1), p. 67. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12880-020-00468-1>.

Bosevski, M. (2017) 'Peripheral Arterial Disease and Chronic Kidney Disease', *PRILOZI*, 38(2), pp. 29–33. Available at: <https://doi.org/10.1515/prilozi-2017-0019>.

Cetin, C. and Baumgartner, I. (2004) 'Die periphere arterielle Verschlusskrankheit (PAVK)', *Swiss Medical Forum*, Vol. 4(No. 09), pp. 216–223.

Criqui, M.H. *et al.* (2021) 'Lower Extremity Peripheral Artery Disease: Contemporary Epidemiology, Management Gaps, and Future Directions: A Scientific Statement From the American Heart Association', *Circulation*, 144(9). Available at: <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001005>.

Fink, B., Asgarov, A. and Antwerpes, F. (2019) 'Stenose', *DocCheck Flexikon*, 12 September. Available at: <https://flexikon.doccheck.com/de/Stenose>.

Firnhaber, J.M., Ed, M. and Powell, C.S. (2019) 'Lower Extremity Peripheral Artery Disease:Diagnosis and Treatment', 99(6).

Herrmann, K. *et al.* (no date) 'Erste Erfahrungen mit gepulster Durchleuchtung an einer multifunktionellen Durchleuchtungsanlage'.

Jones, A.K. *et al.* (2023) 'Patient Radiation Doses in Interventional Radiology Procedures: Comparison of Fluoroscopy Dose Indices between the American College of Radiology Dose Index Registry-Fluoroscopy Pilot and the Radiation Doses in Interventional Radiology Study', *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, 34(4), pp. 556-562.e3. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2022.08.023>.

Lou, W.-S. *et al.* (2016) 'Evaluation of Distal Hemodynamic Changes of Lower Extremity after Endovascular Treatment: Correlation between Measurements of Color-Coded Quantitative Digital Subtraction Angiography and Ankle-Brachial Index', *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, 27(6), pp. 852–858. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2016.02.011>.

Ricco, J.-B. and Bartelink, M.-L.E.L. (2017) 'Document covering atherosclerotic disease of extracranial carotid and vertebral, mesenteric, renal, upper and lower extremity arteries Endorsed by: the European Stroke Organization (ESO)'.

Rümenapf, G. *et al.* (2021) 'Diabetisches Fußsyndrom – Teil 2: Revaskularisation, Behandlungsalternativen, Versorgungsstrukturen, Rezidivprophylaxe', *Der Chirurg*, 92(2), pp. 173–186. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00104-020-01313-5>.

Shanmugasundaram, M. *et al.* (2011) 'Peripheral Arterial Disease—What Do We Need to Know?', *Clinical Cardiology*, 34(8), pp. 478–482. Available at: <https://doi.org/10.1002/clc.20925>.

Strother, C.M. *et al.* (2010) 'Parametric Color Coding of Digital Subtraction Angiography', *American Journal of Neuroradiology*, 31(5), pp. 919–924. Available at: <https://doi.org/10.3174/ajnr.A2020>.

'syngo iFlow' (2023) *Siemens Healthineers*, 11 March. Available at: <https://www.siemens-healthineers.com/angio/options-and-upgrades/clinical-software-applications/syngo-iflow>.

Thrombozytenaggregation und thromboembolisches Risiko das Schwein als Modell-tier zur endovaskulären Embolisation von zerebralen arteriovenösen Malformationen beim Menschen. 1. Aufl (2009). Giessen: VVB Laufersweiler.

Xu, R. *et al.* (2022) 'Percutaneous transluminal angioplasty and stenting for vertebral artery stenosis', *Cochrane Database of Systematic Reviews*. Edited by Cochrane Stroke Group, 2022(5). Available at: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013692.pub2>.

Glossar

Adipositas	Übermäßige Fettansammlung im Körper, oft als Fettleibigkeit bezeichnet
Angiographie	Bildgebende Untersuchungsmethode, die mittels Kontrastmittel die Blutgefäße sichtbar macht, um Durchblutungsstörungen, Engstellen oder Gefäßerweiterungen zu diagnostizieren
Angioplastie	Medizinisches Verfahren zur Aufweitung oder Wiederherstellung von verengten oder blockierten Blutgefäßen, häufig unter Verwendung eines Ballonkatheters
Arteriosklerose	Chronische Erkrankung, bei der Arterien durch Ablagerungen von Fett, Bindegewebe und Kalk verhärten und verengen
ARTIS Pheno [®]	fortschrittliches Angiographiesystem von Siemens Healthineers, das hochauflösende Röntgenbilder in Echtzeit ermöglicht; speziell für interventionelle Eingriffe konzipiert und bietet präzise Bildgebung und hat eine unterstützende Wirkung für minimal - invasive medizinische Verfahren (zur Vereinfachung wird das Warenzeichen [®] im Textkörper weggelassen)
Chronische Niereninsuffizienz	Fortschreitender Verlust der Nierenfunktion über einen längeren Zeitraum
distale Hämodynamik	Blutfluss in den entferntesten Teilen des Gefäßsystems, besonders in den Endabschnitten von Arterien und Venen. Ihre Analyse ist wichtig, um die Blutversorgung der Extremitäten zu verstehen und mögliche Gefäßerkrankungen zu erkennen.
Fluoroskopie	Bildgebendes Verfahren, das Röntgenstrahlen verwendet, um Echtzeitbilder von inneren Organen und Strukturen zu erstellen
Heparin	Ein Antikoagulans, das die Blutgerinnung hemmt, um die Bildung von Blutgerinnseln zu verhindern
Hypertonie	Hochdruck im Blutkreislauf, auch als Bluthochdruck bekannt
Hypercholesterinämie	Ein erhöhter Cholesterinspiegel im Blut, was zu einem Risikofaktor für Herz-Kreislauf-Erkrankungen führen kann

Kollaterale	Alternativer Blutweg, der sich entwickelt, um den Blutfluss zu umgehen und aufrechtzuerhalten
Mikrozirkulation	Durchblutung auf der Ebene kleiner Blutgefäße, wie Kapillaren, in Geweben
Okklusion	Vollständiger Verschluss eines Blutgefäßes
Rekanalisierung	Wiederherstellung des Blutflusses in einem zuvor blockierten oder verengten Gefäß
Restenose	Wiederauftreten von Gefäßverengung nach einer vorherigen Behandlung wie einer Angioplastie
Stenose	Verengung eines Blutgefäßes
syngo iFlow®	Bildverarbeitungstechnologie von Siemens Healthineers, die den Fluss von Kontrastmitteln in medizinischen Bildern optimiert; verbesserte Darstellung von Blutgefäßen und Organen in diagnostischen Bildern wie MRT oder CT (zur Vereinfachung wird das Warenzeichen ® im Textkörper weggelassen)
Thrombozytenaggregation	Zusammenballung von Blutplättchen, die Teil des Blutgerinnungsprozesses ist
Thrombozytenaggregationshemmung/-hemmer	Medikamente, die die Zusammenballung von Blutplättchen reduzieren, um die Bildung von Blutgerinnseln zu verhindern
Trophische Störung	Funktions- und Strukturveränderungen im Gewebe aufgrund von Blut- und Nährstoffmangel
Vaskulitis	Entzündung der Blutgefäße, die zu deren Schädigung führen kann

Abkürzungsverzeichnis

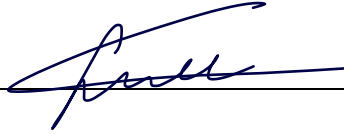
AVK	arterielle Verschlusskrankheit
DSA	digitale Subtraktionsangiographie
pAVK	periphere arterielle Verschlusskrankheit
PTA	perkutane transluminale Angioplastie
TAH	Thrombozytenaggregationshemmung

Eidesstaatliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass die vorliegende Forschungsarbeit ohne Hilfe Dritter und nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt wurde. Alle verwendeten Passagen wurden kenntlich gemacht.

Gilching, 30.11.2023

Ort, Datum, Unterschrift

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized first letter and a series of loops and strokes, positioned above a horizontal line.

Danksagung

Ein herzliches Dankeschön geht zunächst an Herrn Dr. Wagershauser für die neunmonatige Betreuung und an Herrn Prof. Dr. Paprottka für die Möglichkeit, an seinem Lehrstuhl diese Erfahrungen zu sammeln. Die Mittwochse boten mir einen ersten Einblick in die Welt der Forschung und den Klinikalltag.

Außerdem gilt auch dem TUMKolleg und allen Beteiligten dieses Projekts ein großer Dank. Die Teilnahme war eine Freude, und die Verfassung dieser Arbeit eine spannende Herausforderung. Ein herzliches Dankeschön geht an das TUMKolleg-Team am Otto von Taube Gymnasium und unsere Schulleiterin Frau Wischnewsky für diese Möglichkeit.

Besonderer Dank gebührt Herrn Dr. Laupitz und Herrn Frank für ihre Unterstützung nicht nur während der Forschungsarbeit, sondern auch generell in den letzten anderthalb Jahren. Schließlich möchte ich meiner Familie und meinen Freunden, insbesondere Carla Hinterding und Erik Reiter, für ihre fortwährende Unterstützung und Begleitung in den letzten Monaten danken.