

Aus dem Med. Zentrum für Radiologie  
Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie  
Direktor: Prof. Dr. A. Mahnken  
des Fachbereiches Medizin der Philipps-Universität Marburg  
und des Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH, Standort Marburg

**Die Bedeutung der 64-Zeilen-Dual-Energy-CT-Angiographie in der  
Diagnostik von pAVK-Patienten mit kritischer Extremitätenischämie  
und/oder schweren Claudicatio Beschwerden:**

**Ein Vergleich der Maximum-Intensity-Projektionen mit dem  
Goldstandard der Digitalen Subtraktionsangiographie**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Humanmedizin



dem Fachbereich Humanmedizin  
der Philipps-Universität Marburg vorgelegt

von

**Christine Roth**

aus München

Marburg, 2015

Angenommen vom Fachbereich Medizin  
der Philipps-Universität Marburg am: 02.10.2015  
Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Prof. Dr. H. Schäfer

Referent: Prof. Dr. Dr. J. Heverhagen

1. Korreferent: Prof. Dr. S. Knake

Originaldokument gespeichert auf dem Publikationsserver der  
Philipps-Universität Marburg  
<http://archiv.ub.uni-marburg.de>



Dieses Werk bzw. Inhalt steht unter einer  
Creative Commons  
Namensnennung  
Keine kommerzielle Nutzung  
Weitergabe unter gleichen Bedingungen  
3.0 Deutschland Lizenz.

Die vollständige Lizenz finden Sie unter:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de/>

# Inhaltsverzeichnis

---

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung.....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1      | <i>Periphere arterielle Verschlusskrankheit .....</i>  | <i>1</i>  |
| 1.1.1    | Epidemiologie der pAVK .....   | 1         |
| 1.1.2    | Ätiologie und Pathogenese der pAVK .....   | 2         |
| 1.1.3    | Klassisches Risikoprofil der pAVK .....  | 2         |
| 1.1.4    | Klinik der pAVK .....  | 3         |
| 1.1.5    | Diagnostik der pAVK .....  | 4         |
| 1.1.6    | Therapie der pAVK.....   | 8         |
| 1.2      | <i>Computertomographie .....</i>   | <i>9</i>  |
| 1.2.1    | Historische Entwicklung der Computertomographie .....  | 10        |
| 1.2.2    | CT-Angiographie und periphere arterielle Verschlusskrankheit.....                            | 12        |
| 1.2.3    | Dual-Energy-Computertomographie.....   | 13        |
| 1.2.4    | Maximum-Intensity-Projektionen .....   | 14        |
| 1.3      | <i>Zielsetzung der Arbeit .....</i>  | <i>16</i> |
| <b>2</b> | <b>Material und Methoden.....</b>  | <b>17</b> |
| 2.1      | <i>Studiendesign.....</i>  | <i>17</i> |
| 2.1.1    | Ein- und Ausschlusskriterien.....  | 17        |
| 2.2      | <i>Patientenkollektiv .....</i>  | <i>18</i> |
| 2.2.1    | Patientenauswahl .....   | 18        |
| 2.2.2    | Patientencharakteristika .....   | 18        |
| 2.3      | <i>Verwendete Diagnoseverfahren .....</i>  | <i>19</i> |
| 2.3.1    | Digitale Subtraktionsangiographie.....   | 19        |
| 2.3.2    | Dual-Energy-CT-Angiographie .....  | 20        |
| 2.4      | <i>Datenerhebung .....</i>   | <i>21</i> |
| 2.4.1    | Dokumentation.....   | 21        |
| 2.4.2    | Beurteilung .....  | 23        |
| 2.5      | <i>Statistik .....</i>   | <i>24</i> |
| 2.5.1    | Berechnung der diagnostischen Güte des Testverfahrens - Vergleich der MIPs mit der DSA ..... | 24        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 2.5.2    | Einfluss von Qualität, Verkalkungsgrad und Artefakten auf Sensitivität und Spezifität ..... | 27         |
| 2.5.3    | Interobserververgleich der DE-CTA.....  | 28         |
| <b>3</b> | <b>Ergebnisse .....</b>   | <b>30</b>  |
| 3.1      | <i>Deskriptive Darstellung der Häufigkeiten.....</i>  | <i>30</i>  |
| 3.1.1    | Beurteilung der Stenosegrade.....   | 30         |
| 3.1.2    | Beurteilung der Qualität.....   | 42         |
| 3.1.3    | Beurteilung der Artefakte.....  | 44         |
| 3.2      | <i>Diagnostische Güte der Computertomographie – Vergleich zwischen MIPs und DSA.....</i>    | <i>50</i>  |
| 3.2.1    | Berechnung der diagnostischen Güte bezogen auf eine Extremität (Hauptfragestellung) .....   | 51         |
| 3.2.2    | Erweiterte Berechnung von Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit ....                     | 52         |
| 3.2.3    | Einfluss von Qualität, Verkalkungsgrad und Artefakten auf die diagnostische Güte.....       | 58         |
| 3.2.4    | Zusammenfassung der Berechnungen der diagnostischen Güte.....                               | 63         |
| 3.3      | <i>MIP – Interobserververgleich.....</i>  | <i>64</i>  |
| 3.3.1    | Übereinstimmung bezüglich der Diagnose krank – gesund.....                                  | 64         |
| 3.3.2    | Übereinstimmung bezüglich der Qualitätsbeurteilung.....                                     | 67         |
| 3.3.3    | Übereinstimmung bezüglich der Artefaktbeurteilung .....                                     | 68         |
| 3.3.4    | Zusammenfassung des Interobserververgleichs.....  | 71         |
| <b>4</b> | <b>Diskussion.....</b>  | <b>73</b>  |
| 4.1      | <i>Einführung/Hintergrund .....</i>   | <i>73</i>  |
| 4.2      | <i>Studienbeschreibung.....</i>   | <i>74</i>  |
| 4.3      | <i>Diskussion der Ergebnisse .....</i>  | <i>75</i>  |
| 4.3.1    | Vergleich CTA – DSA .....   | 75         |
| 4.3.2    | Einfluss der Faktoren Verkalkungsgrad, Qualität und Artefakte.....                          | 83         |
| 4.3.3    | CTA-Interobserververgleich.....   | 87         |
| 4.4      | <i>Limitationen .....</i>   | <i>89</i>  |
| 4.5      | <i>Empfehlung / Ausblick .....</i>  | <i>89</i>  |
| <b>5</b> | <b>Zusammenfassung .....</b>  | <b>92</b>  |
| 5.1      | <i>Summary .....</i>  | <i>94</i>  |
| <b>6</b> | <b>Anhang .....</b>   | <b>95</b>  |
| <b>7</b> | <b>Literaturverzeichnis .....</b>   | <b>103</b> |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| <b>8</b>  | <b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>                | <b>107</b> |
| <b>9</b>  | <b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis .....</b> | <b>109</b> |
| <b>10</b> | <b>Verzeichnis der akademischen Lehrer .....</b> | <b>113</b> |
| <b>11</b> | <b>Curriculum Vitae .....</b>                    | <b>114</b> |
| <b>12</b> | <b>Danksagung .....</b>                          | <b>115</b> |
| <b>13</b> | <b>Ehrenwörtliche Erklärung.....</b>             | <b>116</b> |

# 1 Einleitung

---

In der vorliegenden Arbeit wird ein modernes, nicht-invasives, bildgebendes Verfahren – die Dual-Energy-Computertomographische-Angiographie – im Hinblick auf seinen Wert in der Diagnostik der peripheren arteriellen Verschlusskrankheit evaluiert.

## 1.1 Periphere arterielle Verschlusskrankheit

Die periphere arterielle Verschlusskrankheit (pAVK) umfasst Stenosen und Verschlüsse der die Extremitäten versorgenden Arterien, wobei zu 90 % die unteren Extremitäten betroffen sind.

Die Erkrankung tritt vermehrt im höheren Lebensalter auf, sie beginnt meist nicht vor dem 40. Lebensjahr. Häufig haben Patienten mit pAVK zusätzlich andere Gefäßerkrankungen beispielsweise koronare Herzerkrankungen oder zerebrale Durchblutungsstörungen. 70 % der pAVK-Patienten sterben an den Folgen einer koronaren Herzerkrankung, 11 % an denen einer zerebralen Durchblutungsstörung (Gerok, 2007; Herold, 2012).

### 1.1.1 Epidemiologie der pAVK

Obwohl die pAVK eine häufig gestellte Diagnose ist, bleibt sie dennoch oft unterdiagnostiziert (Belch et al., 2003). Die Angaben zur Prävalenz variieren in der Literatur, abhängig von Diagnosekriterien und untersuchter Bevölkerungsgruppe. Die Gesamtprävalenz über alle Altersklassen einschließlich asymptomatischer Fälle wird auf 3 % - 10 % geschätzt; bei Personen über 70 Jahren steigt sie auf 15 % - 20 % (Hirsch et al., 2001; Kannel et al., 1970; Murabito et al., 2002; Norgren et al., 2007; Selvin & Erlinger, 2004). Werden spezielle Risikogruppen, wie zum Beispiel Patienten mit Diabetes mellitus, arterieller Hypertonie oder Nikotinkonsum untersucht, findet man sogar Prävalenzen von bis zu 30 % . Generell ist die Prävalenz der Erkrankung in den letzten Jahren aufgrund der Lebensweise und Zunahme der Risikofaktoren angestiegen.

### **1.1.2 Ätiologie und Pathogenese der pAVK**

Die Ursache der pAVK ist ein Missverhältnis zwischen Sauerstoffbedarf und Sauerstoffversorgung, ausgelöst durch akute oder chronische mangelhafte Blutversorgung. Grund hierfür ist auf vaskulärer Ebene eine Stenose oder ein Verschluss der die Extremitäten versorgenden Arterien. Zu 95 % sind die Stenosen der Arterien durch arteriosklerotische Plaques in den Gefäßwänden bedingt (Herold, 2012). Weitere Gründe für Gefäßstenosen können Traumata, Strahlenexposition, Aneurysmata, Dysplasien oder Vaskulitiden sein (Hirsch et al., 2006).

### **1.1.3 Klassisches Risikoprofil der pAVK**

Zu den nichtbeeinflussbaren Risikofaktoren eine pAVK zu entwickeln zählen genetische Disposition, Alter und Geschlecht, wobei Männer zwei- bis viermal so häufig betroffen sind wie Frauen (Herold, 2012; Murabito et al., 1997). Diejenigen Faktoren, die das Risiko für Arteriosklerose in anderen Gefäßen erhöhen, sind ebenfalls als Risikofaktoren für eine pAVK bekannt; hauptsächlich handelt es sich hierbei um Nikotinkonsum, Diabetes mellitus, arterielle Hypertonie und Fettstoffwechselstörungen (Smith, Jr. et al., 2004).

Rauchen erhöht das Risiko, an einer pAVK zu erkranken, um das zwei- bis sechsfache; mehr als 80 % der pAVK-Patienten sind aktuelle oder frühere Raucher. Im Durchschnitt wird die Diagnose pAVK bei Rauchern etwa 10 Jahre früher gestellt als bei Nichtrauchern. Das Risiko und die Schwere der Erkrankung sind direkt dosisabhängig von Dauer und Umfang des Nikotinkonsums (Hirsch et al., 2006).

Das Risiko, bei Vorliegen eines Diabetes Mellitus an einer pAVK zu erkranken, erhöht sich um das zwei- bis vierfache, wobei die Insulinresistenz eine entscheidende Rolle spielt. Generell verläuft die pAVK bei Diabetes-Patienten aggressiver, und die Amputationsrate ist fünf- bis zehnmal höher als bei Nicht-Diabetikern. (Hirsch et al., 2006; Norgren et al., 2007; Selvin & Erlinger, 2004)

Bei den Fettstoffwechselstörungen und der arteriellen Hypertonie ist der Zusammenhang weniger eindeutig als bei den bereits genannten Risikofaktoren. Hypercholesterinämie, einhergehend mit einer Erhöhung des Gesamt- und LDL-

Cholesterins und Erniedrigung des HDL-Cholsterins, und die arterielle Hypertonie führen zu einer bis zu zweifachen Erhöhung des Risikos, an einer pAVK zu erkranken. Eine Hypertriglyciderinämie ist ebenfalls mit dem Vorliegen der pAVK assoziiert (Hirsch et al., 2006; Norgren et al., 2007; Selvin & Erlinger, 2004).

Die Hyperhomocysteinämie geht mit einer zwei- bis dreifachen Risikoerhöhung, eine pAVK zu entwickeln einher und wird in ca. 30 % der jungen pAVK-Patienten gefunden. Die Entwicklung einer pAVK ist zudem mit erhöhten Spiegeln von Entzündungsparameter wie dem C-reaktivem Protein (CRP) und Fibrinogen (Hirsch et al., 2006; Norgren et al., 2007) assoziiert.

Zusammenfassend können folgende Risikogruppen identifiziert werden (Hirsch et al., 2006; Norgren et al., 2007):

- Menschen jenseits des 70. Lebensjahres
- Menschen im Alter von 50 bis 69 Jahren, die Raucher oder Diabetiker sind
- Diabetiker im Alter von 40 bis 49 Jahren, die einen weiteren Risikofaktor für Arteriosklerose haben

#### **1.1.4 Klinik der pAVK**

Klinisch stellt sich die pAVK sehr variabel mit einem weiten symptomatischen Spektrum dar (McDermott et al., 2001). Die bekannteste klinische Manifestation ist die „*Claudicatio intermittens*“, die auch als Schaufensterkrankheit bezeichnet wird. Hierbei treten während des Gehens Schmerzen in den Beinen auf, die in den häufigen Gehpausen sistieren. Die Lokalisation der auftretenden Ischämieschmerzen hängt vom Ort der Stenose ab und tritt typischerweise eine Etage unterhalb der Stenose auf: so wird beispielsweise bei einer Stenose im Oberschenkelbereich die Wade symptomatisch (Gerok, 2007; Herold, 2012). Obgleich diese Manifestation die bekannteste ist, wird sie nur in 10%-35% der Patienten beobachtet. Häufiger kommt es zu einer asymptomatischen Extremität (20 %-50 %) oder es tritt ein atypisches Schmerzsyndrom (40 %-50 %) auf (Gerok, 2007; Herold, 2012; Hirsch et al., 2006).

Typischerweise ist der Extremitätenpuls bei pAVK-Patienten vermindert oder nicht tastbar und die Beine sind kühl (Murabito et al., 1997; Smith, Jr. et al., 2004). Im Spätstadium der pAVK kann es an den Füßen zu Nekrosen und Gangrän kommen.

Generell sind die Symptome vom jeweiligen Stadium abhängig, sie werden nach Fontaine oder Rutherford eingeteilt (siehe Tabelle 1.1). Im deutschsprachigen Raum ist die Klassifikation nach Fontaine üblich, international verwendet man die nach Rutherford.

In den Stadien III und IV nach Fontaine bzw. bei den Schweregraden II und III nach Rutherford spricht man von einer kritischen Ischämie der Extremität, da hier die Gefahr einer Nekrose oder die Notwendigkeit einer Amputation besteht (Herold, 2012).

**Tabelle 1.1: Stadieneinteilung der pAVK nach Fontaine und Rutherford (nach Norgren et al. S1-75)**

| <i>Fontaine</i>  |   | <i>Rutherford</i> |           |                                      |
|------------------|---|-------------------|-----------|--------------------------------------|
| Stadium          | Klinik  | Schweregrad       | Kategorie | Klinik                               |
| I                | Beschwerdefreiheit, fehlende Pulse  | I                 | 0         | Asymptomatisch                       |
| IIa              | Claudicatio intermittens<br>Gehstrecke > 200m                                       |                   | 1         | milde Claudicatio intermittens       |
|                  |   |                   | 2         | mäßige Claudicatio intermittens      |
| IIb              | Claudicatio intermittens<br>Gehstrecke < 200m                                       |                   | 3         | schwere Claudicatio intermittens     |
|                  |   |                   |           |                                      |
| II (kompliziert) | Trophische Störungen mit Claudicatio intermittens, aber ohne kritische Beinischämie |                   |           |                                      |
| III              | Ruhschmerz  | II                | 4         | Ruhschmerz                           |
| IV               | Ischämische Läsionen (Ulzera, Gangrän, Nekrosen)                                    | III               | 5         | geringfügige, distale Gewebeläsionen |
|                  |   |                   | 6         | größere Gewebeläsionen               |

### 1.1.5 Diagnostik der pAVK

Zur Diagnostik der pAVK gibt es nicht bildgebende Verfahren wie Anamnese, Untersuchung und Knöchel-Arm-Index und verschiedene weiterführende bildgebende Verfahren, mit deren Hilfe symptomatische Patienten in die unterschiedlichen Stadien eingeordnet werden können. Daneben können diese Methoden auch zur Erfassung

von asymptomatischen und gefährdeten Patienten dienen. Aufgrund der steigenden Prävalenz ist eine verbesserte und effizientere Diagnostik für die Zukunft wünschenswert.

Bei der Anamnese wird besonderes Augenmerk auf die oben genannten Risikofaktoren und auf eventuell bereits vorhandene Gefäßerkrankungen gelegt. Bei der Inspektion und klinischen Untersuchung sind die Erhebung des Pulsstatus, der Hauttemperatur, der Venenfüllungszeit und die Auskultation besonders aufschlussreich (McGee & Boyko, 1998).

### 1.1.5.1 Knöchel-Arm-Index

Zur Sicherung der Diagnose und Abschätzung des Schweregrades der pAVK wird oft der Knöchel-Arm-Index (englisch: Ankle-Brachial-Index, ABI) berechnet. Hierbei wird mithilfe der Dopplersonographie eine systolische Blutdruckmessung am Arm und Unterschenkel oder Knöchel am liegenden Patienten durchgeführt und aus den Werten ein Quotient gebildet. Ein ABI-Wert von  $\leq 0,9$  zeigt mit einer Sensitivität von 95 % und einer Spezifität von fast 100 % das Vorliegen einer pAVK an (siehe Tabelle 2) (Belch et al., 2003; Hirsch et al., 2006; Norgren et al., 2007; Schroder et al., 2006). Bei klinischem Verdacht auf eine pAVK, aber unauffälligem ABI, sollte die Untersuchung nach Durchführung eines standardisiertem Gehtests, z.B. auf einem Laufband, wiederholt werden, um eine Diagnosestellung zu ermöglichen.

**Tabelle 1.2: ABI-Werte zur Abschätzung des Schweregrades der pAVK**

| <i>ABI-Wert</i> | <i>Schweregrad der pAVK</i>                    |
|-----------------|--|
| > 1,3           | falsch hohe Werte (Verdacht auf Mediasklerose) |
| > 0,9           | Normalbefund                                   |
| 0,75-0,9        | leichte pAVK                                   |
| 0,5-0,75        | mittelschwere pAVK                             |
| < 0,5           | schwere pAVK (kritische Ischämie)              |

ABI: Ankle-Brachial-Index / Knöchel-Arm-Index

### 1.1.5.2 Duplex-Sonographie

Mit der Farbduplex-Sonographie lassen sich die Arterien der unteren Extremitäten komplett darstellen. Dabei können Lokalisation und Grad der Stenose bestimmt und die arteriellen Flussgeschwindigkeiten gemessen werden. Mit dem Verfahren werden

je nach Studie Sensitivitäten von 80 % - 95 % und Spezifitäten von 90 % - 96 % (Hirsch et al., 2006; Koelemay et al., 1996; Norgren et al., 2007; Olin et al., 2004) erreicht.

Die Duplex-Sonographie ist für den Patienten ungefährlich und relativ kostengünstig. Die lange Dauer dieser Untersuchung und die Variabilität des Ergebnisses in Abhängigkeit vom Untersucher stellen allerdings Nachteile dar. Die Genauigkeit des Verfahrens nimmt im Bereich des Unterschenkels ab und wird zudem durch Luft im Abdomen, gewundene Gefäße, Verkalkungen in den Gefäßwänden und durch multiple Stenosen in demselben Gefäß beeinträchtigt (Hirsch et al., 2006).

### **1.1.5.3 Magnetresonanz-Angiographie**

Die Magnetresonanz-Angiographie (MRA) eignet sich ebenfalls zur Darstellung von arteriellen Gefäßen. Hierbei gibt es verschiedene Techniken, die sich grob in Untersuchungen mit oder ohne Kontrastmittel einteilen lassen. Die Genauigkeit, die Kontraindikationen und spezifischen Vor- und Nachteile variieren mit dem jeweiligen Verfahren.

In der Literatur werden mehrheitlich Daten von dreidimensionalen, kontrastmittelgestützten Verfahren beschrieben. Hierbei zeigen sich Sensitivitäten und Spezifitäten von über 93 % (Menke & Larsen, 2010; Norgren et al., 2007).

Die größten Vorteile der MRA sind, dass weder ionisierende Strahlung noch jodhaltige Kontrastmittel verwendet werden und dreidimensionale Datensätze zur Nachbearbeitung verfügbar sind (Ersoy & Rybicki, 2008). Das Verfahren eignet sich gut zur Gefäßdarstellung bei Patienten mit diffusen Gefäßverkalkungen, da Kalzium keine wesentlichen Artefakte verursacht (Chan et al., 2010).

Generelle Nachteile der MRA sind eine geringere lokale Verfügbarkeit und hohe Kosten pro Untersuchung. Daneben schränkt die Anfälligkeit für Metallartefakte (z.B. nach Gelenkersatz oder Frakturen) den Einsatz ein. Eine Beurteilung der Gefäßwände bezüglich ihrer Dicke und Verkalkung ist nicht möglich, zudem ist das Verfahren bei Klaustrophobie oder Herzschrittmacher der Patienten kontraindiziert (Chan et al., 2010; Leibecke et al., 2006).

#### **1.1.5.4 Computertomographische Angiographie**

Das Verfahren der Computertomographie ist in Kapitel 1.2. ausführlich dargestellt.

Mittlerweile hat sich die Technik der computertomographischen Angiographie (CTA) soweit verbessert, dass die diagnostische Sicherheit der Ergebnisse von CTA und MRA vergleichbar geworden ist.

Bei der CTA werden wie bei der MRA Datensätze angefertigt, die mit einer Nachbearbeitung eine dreidimensionale Darstellung ermöglichen. Im Gegensatz zur MRA besteht für der CTA eine flächendeckendere Verfügbarkeit, die Untersuchung ist zudem kürzer und verursacht geringere Kosten (Leibecke et al., 2006). Desweiteren wird bei der CTA eine höhere räumliche Auflösung erzielt als bei der MRA (Olin et al., 2004), sodass eine genaue Beurteilung der Dicke und des Verkalkungsgrads der Gefäßwände möglich ist.

Zwar verursacht Metall bei der CTA weniger störende Artefakte als bei der MRA (Hirsch et al., 2006), jedoch entstehen mehr Artefakte durch starke Verkalkung (Kalzium) der Gefäße (Chan et al., 2010). Die obligatorische Gabe von jodhaltigem und damit potentiell nierenschädigendem Kontrastmittel sowie die Verwendung von ionisierender Strahlung sind weitere Nachteile der CTA (Hirsch et al., 2006).

Für die CTA werden – abhängig von Studie und Geräteeigenschaften – Sensitivitäten und Spezifitäten von jeweils 91 % bis 99 % angegeben (Collins et al., 2007).

#### **1.1.5.5 Digitale Subtraktionsangiographie**

Die digitale Subtraktionsangiographie (DSA) ist derzeit der Goldstandard in der Diagnose der pAVK (Norgren et al., 2007), obwohl sich die oben genannten Methoden in der initialen Diagnostik immer mehr durchsetzen. Der wesentliche Unterschied der DSA zu den oben genannten, nicht invasiven Verfahren liegt in ihrer Invasivität, die zugleich Stärke und Schwäche der Technik repräsentiert.

Das Verfahren muss im Gegensatz zu MRA und CTA von einem entsprechend geschulten Mediziner durchgeführt werden: Über die Punktion einer Arterie, in der Regel in der Leistengegend, wird unter ständiger Röntgenkontrolle ein intraarterieller Katheter bis zu der Stenose in das betroffene Gefäß vorgeschoben. Als Nativaufnahme

wird ein Bild der Region vor Kontrastmittelgabe gemacht. Eine weitere Aufnahme findet nach Kontrastmittelgabe in die entsprechende Arterie statt. Anschließend werden beide Aufnahmen voneinander subtrahiert und so die mit Kontrastmittel gefüllten Gefäße dargestellt. Hierbei kann Jod als positives Kontrastmittel oder, bei Kontraindikationen, CO<sub>2</sub> als negatives Kontrastmittel gegeben werden.

Es gibt mehrere Vorteile der DSA gegenüber den anderen, oben dargestellten Verfahren: Zum einen ermöglicht sie nicht nur eine sehr gute Beurteilung von Lokalisation, Länge und Grad der Stenose, sondern auch eine sofortige therapeutische Intervention (Norgren et al., 2007; Reimer et al., 2007).

Allerdings besteht ein 1 % - 6 %es Verletzungsrisiko mit konsekutiven Hämatomen, Aneurysmen oder Fisteln. Weiterhin kommt es bei 0,1 % der Untersuchungen zu Nierenversagen oder zu allergischen Kontrastmittelreaktionen. Komplikationen, die das Patientenmanagement beeinflussen, treten in etwa 0,7 % der Fälle auf, die Mortalitätsrate liegt bei 0,16 %. Zudem ist der Patient während der Untersuchung ionisierender Strahlung ausgesetzt (Norgren et al., 2007). Durch die zweidimensionale und intraluminale Darstellung der Gefäße ist eine Beurteilung der Gefäßwände anhand der DSA nicht möglich (Chan et al., 2010).

Trotz aller Nachteile bleibt die DSA die einzige Methode, die Möglichkeiten der Diagnostik und Therapie vereinigt und ist deswegen weiterhin Goldstandard in der Diagnostik der pAVK.

### **1.1.6 Therapie der pAVK**

Die Behandlung der pAVK gemäß Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Angiologie und der Gesellschaft für Gefäßmedizin erfolgt sowohl kausal als auch symptomatisch. Bei symptomatischen Patienten steht eine Verbesserung der peripheren Durchblutung im Vordergrund. Daneben wird eine Reduktion der Risikofaktoren durch individuelle Maßnahmen und die Behandlung der vaskulären Begleiterkrankungen angestrebt. Die Ziele der Behandlung beinhalten eine Hemmung der Progression der Erkrankung, eine Risikoreduktion vaskulärer, inklusive kardiovaskulärer und zerebrovaskulärer Ereignisse. Wesentlich ist zudem eine Verbesserung von Belastbarkeit, Gehleistung und Lebensqualität.

Die Therapie erfolgt stadienadaptiert. Im Stadium I nach Fontaine (asymptomatisch) beginnt sie mit Basismaßnahmen zur Reduktion der Risikofaktoren. Hierzu zählen die Aufgabe von Tabakkonsum und eine Normalisierung des Blutzuckerspiegels bei Diabetes mellitus. Zudem ist Einstellung des Blutdrucks und des Fettstoffwechsels relevant (Belch et al., 2003). Hinzu kommen ein supervidiertes Gehtraining, eine medikamentöse Therapie mit Thrombozytenaggregationshemmern (ASS oder Clopidogrel) und lokale Maßnahmen wie Fußpflege.

In Stadium II nach Fontaine (Schmerzen bei Bewegung) können bei persistierenden Schmerzen vasoaktive Medikamente wie z.B. Naftidrofuryl oder Cilostazol gegeben werden (Norgren et al., 2007). Außerdem können bei hohem individuellem Leidensdruck revaskulisierende Maßnahmen erwogen werden.

Im Stadium der kritischen Extremitätenischämie (Stadium III und IV nach Fontaine) steht der Gliedmaßenhalt durch Revaskularisierung im Vordergrund. Dafür stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Zum einen kann dies interventionell über eine perkutane transluminelle Angioplastie (PTA), eine Thrombektomie oder über eine lokale Lyse erfolgen. Zum anderen gibt es operative Techniken wie die Trombendarteriektomie (TEA) oder die Bypassoperation.

Im Stadium IV (Ulcera, Nekrosen) ist eine adäquate Wund- und Infektbehandlung ebenso von Bedeutung wie eine ausreichende Schmerztherapie. Schlagen die vorhergenannten Maßnahmen fehl, muss die betroffene Extremität amputiert werden.

## **1.2 Computertomographie**

Wie oben bereits dargestellt ist die Computertomographie (CT) ein bildgebendes Verfahren in der Medizin, das mittels Röntgenstrahlung transversale Schnittbilder des Körpers erzeugt. In einer ringförmigen Einheit, genannt Gantry, rotiert die Röntgenröhre um den Patienten. Gegenüber der Röhre befinden sich Detektoren, die die Röntgenstrahlung nach Durchqueren des Körpers registrieren. Der Grad der Abschwächung hängt dabei von der jeweiligen Dichte des Gewebes ab. Die weitere Verarbeitung der Rohdaten erfolgt per Computer. Aus den einzelnen Bildern wird für jeden Volumenpunkt (Voxel) des Körpers ein Abschwächungsgrad berechnet. Dieser

Wert wird in Hounsfield-Einheiten (HE) ausgedrückt und auf dem finalen Schnittbild als Graustufe dargestellt. Luft und Wasser mit niedrigen HE Werten werden schwarz, Gewebe mit hohen HE Werten weiß dargestellt.

### 1.2.1 Historische Entwicklung der Computertomographie

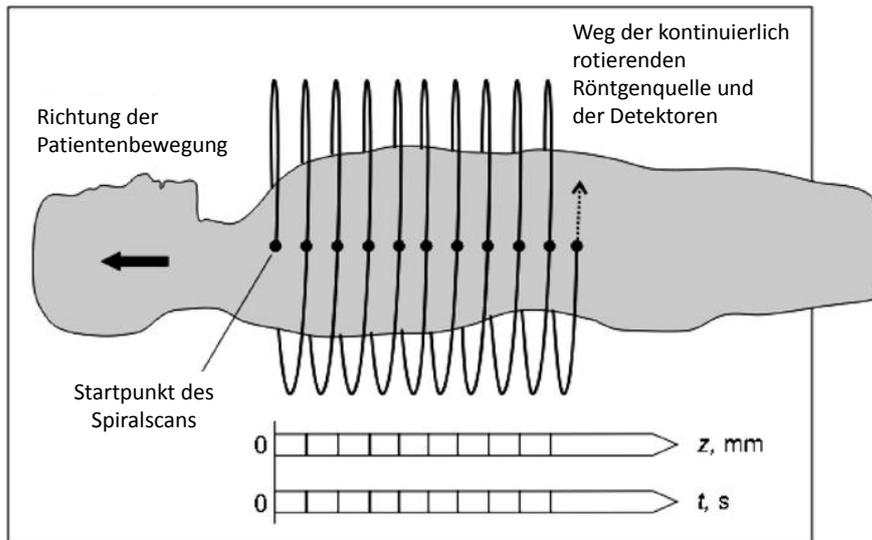
Das erste CT-Gerät, entworfen von G.N. Hounsfield, wurde 1972 in den klinischen Gebrauch genommen. Zusammen mit A.M. Cormack erhielt er 1979 dafür den Nobelpreis für Medizin. Seitdem findet eine ständige Weiterentwicklung der Gerätetechnik und der Computersoftware statt, was zu einer immer besseren Bildqualität und kürzeren Scandauern führte.

Bei den beiden ersten Gerätegenerationen dauerte die Bilderzeugung noch zwischen mehreren Minuten und Stunden. Mit der Einführung der dritten Generation (1976) verkürzte sich die Scanzeit auf 20 Sekunden pro Bild. Gegen Ende der 1970er Jahre war das CT im klinischen Gebrauch mit Standardscandauern von 5-10 s pro Bild und Schichtdicken von 5-10 mm etabliert (Kalender, 2006).

**Tabelle 1.3: CT-Scan-Parameter im Lauf der Entwicklung (nach Kalender, 2006)**

|                                | 1972   | 1980 | 1990  | 2004     | 2005 (DE-CT) |
|--------------------------------|--------|------|-------|----------|--------------|
| Rotationszeit (s)              | 300    | 5-10 | 1-2   | 0,33-0,5 | 0,33         |
| Datenmenge pro 360° Scan (MB)  | 0,0058 | 1    | 1-2   | 10-100   | 20-200       |
| Datenmenge pro Spiralscan (MB) | -      | -    | 24-48 | 200-4000 | 200-8000     |
| Schichtdicke (mm)              | 13     | 2-10 | 1-10  | 0,5-1    | 0,5-1        |

In den 1990er Jahren wurden die sogenannten Spiral-CTs entwickelt. Hierbei erfolgt die Rotation der Röntgenröhre und damit die Abtastung des Patienten kontinuierlich, während die Patientenliege ebenfalls kontinuierlich bewegt wird. Es ergibt sich somit eine spiralförmige Bahn relativ zum Patienten, siehe auch Abbildung 1.1. Hierdurch wurde sowohl die Messdauer verkürzt als auch die Bildqualität verbessert. Die Erstellung eines einzigen Volumendatensatzes erlaubt die Berechnung dünner Schichten und die Rekonstruktion von dreidimensionalen Datensätzen (Hofer M., 2010).



**Abbildung 1.1: Prinzip des Spiral-CTs (nach Kalender, 2006)**

Die weitere Entwicklung führte Ende der 90er Jahre zu „multi-channel, multislice“ Techniken mit mehreren Detektorreihen (MD-CT). 1998 wurden zunächst 4 parallele Detektorreihen verwendet, dies steigerte sich im Jahr 2004 auf 64 Zeilen und erreichte 2011 seinen vorläufigen Höhepunkt mit 320 doppelt auslesbaren Zeilen (Kalender, 2006; Toshiba medical, 2013). Dies brachte die Vorteile einer hohen Aufnahmegeschwindigkeit bei dünner Schichtdicke. Durch die Verbesserung der Auflösung besonders in Richtung der z-Achse (die longitudinale Achse entlang des Patienten) konnten nun isotrope Voxel (gleiche Länge, Breite, Höhe) dargestellt werden. Dies führte zu einer verbesserten Darstellung von rekonstruierten, v.a. dreidimensionalen Bildern (Kalra et al., 2004; Prokop, 2003).

Mit der Verbesserung der Rechenkapazität und Softwaretechnik wurden diverse Nachbearbeitungsverfahren möglich, zu denen die Maximum-Intensity-Projektionen (MIP), die Multiplanare Rekonstruktion (MPR), die Surface-Rendering-Technik (SRT) und die Volume-Rendering-Technik (VRT) zählen.

Die MIP stellt den Gefäßbaum ähnlich da wie die Angiographie (weitere Erläuterungen siehe Kapitel 1.2.3). Durch die MPR wird die Darstellung jeder beliebigen, inklusive gekrümmter, Bildebene ermöglicht. Die Oberflächendarstellung (SRT) liefert mit Hilfe von Schattierungen einen dreidimensionalen Eindruck der verschiedenen Oberflächen. Die Volumengraphik (VRT) ist die aufwändigste der Techniken, da sie räumliche Bezüge

visualisiert und zusätzlich Informationen über die Dichte des Objektes liefert. (Fleischmann et al., 2006; Lell et al., 2006)

Ein weiterer Fortschritt war die Einführung der Dual-Energy-CT-Technik in den letzten Jahren, auf die ich im Folgenden noch weiter eingehen werde.

### **1.2.2 CT-Angiographie und periphere arterielle Verschlusskrankheit**

Mit der Entwicklung der MD-CT Technik und der Möglichkeit der Bildnachbearbeitung verbesserte sich auch die CT-Angiographie, sodass sie nun, wie oben beschrieben, ein verbreitetes Verfahren zur Diagnostik der pAVK darstellt.

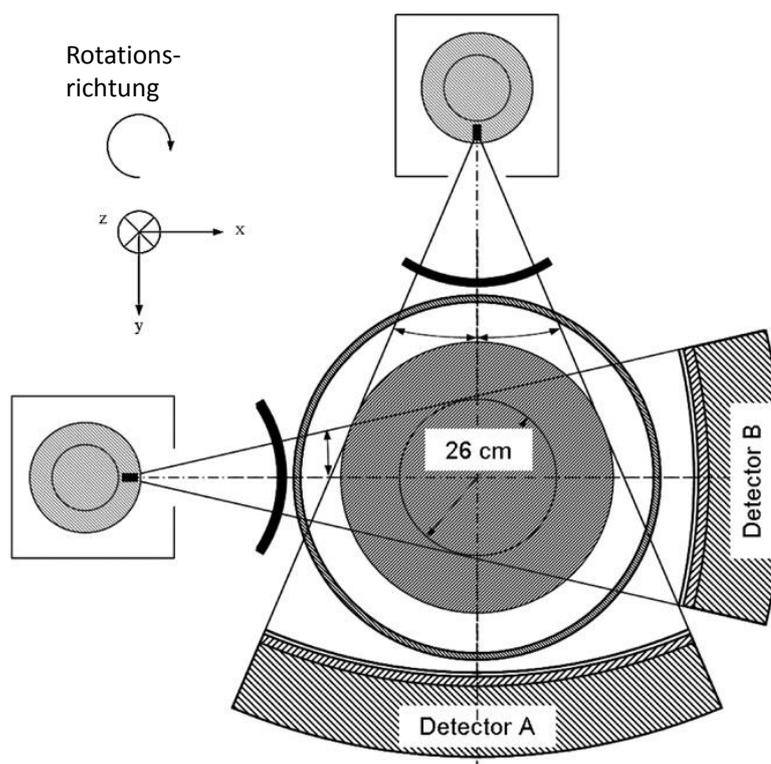
Die große Datenmenge mit mehreren tausend axialen Schnittbildern pro Untersuchung unterstreicht die Notwendigkeit von Rekonstruktionsverfahren, die diese Datenmenge auf zwei- oder dreidimensionale Darstellungen abbilden (Fishman et al., 2006). Dabei sind jedoch Knochen und Gefäßwandverkalkungen sehr störend, da eine automatisierte Unterscheidung zwischen kalziumhaltigen Strukturen (Knochen, Kalk) und jodhaltigem Kontrastmittel nur eingeschränkt möglich ist. Dadurch kann ein Gefäß nicht beurteilbar sein; gerade bei stark verkalkten, dünnen Gefäßen im Unterschenkel- und Fußbereich stellt dies ein Problem dar (Kau et al., 2011). Die Entfernung von Knochen aus dem Datensatz kann manuell erfolgen, dies führt allerdings zu einem hohen Zeitaufwand. Die automatischen „Bone-Removal“ Programme arbeiten zum Teil unsauber, führen zu einer höheren Strahlenbelastung und/oder sind anfällig bei Bewegungen des Patienten (Lell et al., 2006). Daher bleibt meist ein Rückgriff auf die axialen Schnittbilder nötig (Chan et al., 2010).

Eine weitere Schwierigkeit stellt die Kontrastmittelanflutung dar. Kontrastmittel ist nötig zur Darstellung der Arterien und Stenosen. Die Herausforderung besteht hierbei, die Anflutung des Kontrastmittels in den Beinarterien mit der Datenakquisition zu synchronisieren. Die Verzögerung zwischen Kontrastmittelinjektion und Scanstart sind individuell für jeden Patienten zu berechnen, um eine optimale Kontrastierung zu erhalten (Fleischmann et al., 2006).

### 1.2.3 Dual-Energy-Computertomographie

Seit dem Jahr 2006 kommt die Dual-Energy-Computertomographie (DE-CT) unter anderem in der Gefäßdarstellung zur klinischen Anwendung. Sie wird bei neurologischen Fragestellungen, in der Beurteilung von Herz- und Lungengefäßen und in der Diagnostik von Lebererkrankungen und Nieren- oder Blasensteine eingesetzt (Karcaaltincaba & Aktas, 2011; Krasnicki et al., 2012).

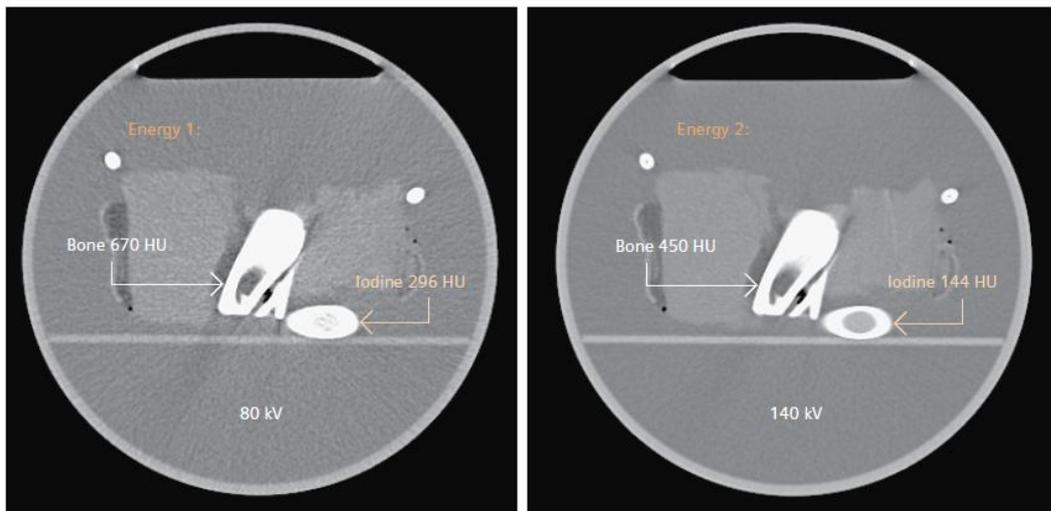
Das technische Prinzip basiert auf zwei Detektorsystemen, die im 90° Winkel zueinander auf einem rotierenden Gerüst mit zwei verschiedenen Strahlungsquellen montiert sind, siehe Abbildung 1.2. Die beiden Strahlungsquellen werden mit unterschiedlicher Spannung betrieben, meist mit 80 kV und 140 kV.



**Abbildung 1.2:** schematisches Prinzip der DE-CT Technik. Zwei Röntgenquellen und korrespondierende Detektoren sind im 90° Winkel zueinander angebracht (nach Petersilka et al., 2008).

Der Vorteil dieser Technik basiert darauf, dass die Röntgenabsorption nicht nur von der Art des jeweiligen Gewebes, sondern auch von der verwendeten Energie abhängt. So zeigt ein bestimmtes Gewebe bei einer Untersuchung mit 80 kV eine andere Schwächung als bei 140 kV. Dadurch lässt sich die Technik für Materialanalyse und -unterscheidung einsetzen (Petersilka et al., 2008).

Die Schwächung durch Iod zeigt ihr Maximum bei niedrigen Energiewerten, bei hohen Energiewerten reduziert sie sich. So beträgt die Schwächung bei 140 kV nur noch die Hälfte des Wertes, der bei 80 kV erreicht wird. Die Absorption durch Knochen bleibt bei beiden Energiestufen auf einem ähnlichen Niveau, siehe Abbildung 1.3 (Siemens, 2007).



**Abbildung 1.3: unterschiedliche Abschwächung von Jod bei 80kV und 140kV (Siemens, 2007)**

Dadurch bietet diese Technik in der Diagnostik von Gefäßerkrankungen wie der pAVK die Möglichkeit einer automatischen Differenzierung von Kontrastmittel, Knochen und kalkhaltigen Plaques. Dieser Vorteil herkömmlichen, Single-Energy-CT-Geräten gegenüber verbessert die Erstellung von nachbearbeiteten Bildern. Die Elimination von Knochen und kalkhaltigen Plaques aus den Rekonstruktionen wird vereinfacht und erleichtert die Beurteilung der Bilder.

#### **1.2.4 Maximum-Intensity-Projektionen**

Die Erstellung von Maximum-Intensity-Projektionen (MIPs) ist eines der am häufigsten verwandten und einfachsten Nachbearbeitungsverfahren. Besonders für die Darstellung und Beurteilung von CT-Angiographie-Untersuchungen haben sie sich als nützlich erwiesen, da sie eine übersichtliche Darstellung der Gefäße ermöglichen.

Die Methode beruht darauf, dass zunächst aus den Rohdaten von allen Voxeln auf einer Projektionslinie nur jene mit der höchsten Abschwächung ausgewählt werden. Diese Voxel werden dann in zwei-dimensionalen Abbildungen dargestellt (Fishman et al., 2006), siehe Abbildung 1.4.



**Abbildung 1.4: MIP Gefäßdarstellung der Beine**

Durch die Kombination von zwei-dimensionalen Darstellungen aus allen Projektionsrichtungen können schließlich dreidimensionale Darstellungen erzeugt werden. Trotzdem gehen im Verlauf der Berechnung Tiefen- und Lagebeziehungsinformationen verloren (Lell et al., 2006). Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass Knochen und kalziumhaltige Plaques in konventioneller CT-Technik genau wie das intraarterielle Kontrastmittel eine hohe Abschwächung aufweisen. Dies hat eine mögliche fehlerhafte Darstellung der Gefäße zu Folge, falls nicht vorher eine Entfernung des Knochens und der Kalk-Plaques stattgefunden hat. Wie bereits beschrieben ist dies bei Single-Energy-CT-Geräten sehr aufwändig. Weiterhin können starke Gefäßverkalkungen die Beurteilbarkeit der Gefäße unmöglich machen (Fishman et al., 2006).

Die neue Dual-Energy-Technik gestattet jedoch eine verbesserte automatisierte Knochen- und Kalkentfernung vor der Nachberechnung, sodass nicht nur qualitativ hochwertige Bilder ohne manuelle Nachbearbeitung erzeugt werden können, sondern auch die Darstellung von verkalkten Gefäßen prinzipiell möglich ist. Erste Studien evaluierten bereits die Beurteilung der Gefäße anhand der MIPs. Dabei ergaben sich je nach Studie gute bis moderate Ergebnisse mit einer Sensitivität von 97,2 %, einer

Spezifität von 94,1 % und einer Genauigkeit von 94,7 % (Brockmann et al., 2009) bzw. 84 %, 67 % und 75 % (Kau et al., 2011).

### **1.3 Zielsetzung der Arbeit**

In dieser Arbeit wird die Eignung der DE-CTA für die Diagnostik der pAVK untersucht. Zur Beurteilung des CT Verfahrens werden dabei nach automatischer Knochen- und Kalkentfernung die MIPs verwandt. Als Vergleichsmethode wird die konventionelle Becken-Bein-DSA herangezogen. Da bei der Diagnose einer pAVK die Detektion von relevanten Stenosen elementar ist, wurde dies in der vorliegenden Arbeit als Vergleichskriterium genutzt. Als relevant wird hier eine Stenose definiert, die mehr als 50 % des Gefäßdurchmessers beträgt und damit eine hämodynamische Beeinträchtigung verursacht.

Das Ziel dieser Arbeit ist, zu evaluieren, wie genau eine Detektion von relevanten Stenosen mithilfe der MIPs möglich ist, um eine Empfehlung für den klinischen Alltag geben zu können. Insbesondere soll dabei der Frage nachgegangen werden, ob man mithilfe der DE-CTA diejenigen Patienten herausfiltern kann, die im Anschluss eine interventionelle DSA benötigen. Gleichzeitig soll Patienten ohne relevante Stenosen eine weitere, invasive Untersuchung erspart bleiben.

Der Nutzen der DE-CTA und MIPs in der Diagnostik der pAVK wurde bislang erst spärlich evaluiert. Die vorliegende Arbeit soll dazu beitragen, eine bessere Einschätzung und Einordnung des Verfahrens in die bereits vorhandenen Möglichkeiten der Bildgebung zu ermöglichen.

# 2 Material und Methoden

---

## 2.1 Studiendesign

Bei der durchgeführten Studie handelt es sich um eine retrospektiv durchgeführte Diagnosestudie mit 94 Patienten im Alter von 39 bis 95 Jahren. Die Untersuchungen der Patienten wurden in der Klinik für Strahlendiagnostik am Universitätskrankenhaus Gießen und Marburg GmbH (Standort Marburg) durchgeführt.

Die Studie wurde von der Ethikkommission des Fachbereichs Medizin der Philipps Universität Marburg mit ihrem Votum vom 01.07.2009 (Nummer 80/09) genehmigt. Die Beurteilung der Bilder erfolgte im Anschluss bis Februar 2011.

### 2.1.1 Ein- und Ausschlusskriterien

In die Studie wurden alle Patienten eingeschlossen, bei denen zwischen Januar 2008 und September 2009 zunächst eine Dual-Energy-Computertomographie-Angiographie (DE-CTA) und anschließend eine digitale Substraktionsangiographie (DSA) als bildgebende Verfahren zur Darstellung der Beinarterien durchgeführt wurden. Die Entscheidung, den Patienten einem bildgebenden Verfahren zu unterziehen, wurde auf Grund der klinischen Symptome einer peripheren arteriellen Verschlusskrankheit (pAVK) von den behandelnden Ärzten getroffen, genauso wie die Wahl des diagnostischen Verfahrens. Daher wurden sowohl Patienten mit chronischer pAVK als auch mit akuten arteriellen Verschlüssen eingeschlossen.

Das maximale Zeitintervall zwischen den beiden Untersuchungen wurde auf 30 Tage festgelegt, um zwischenzeitlich eintretende strukturelle und klinische Veränderungen im Gefäßsystem minimal zu halten.

Die Informationen über die DE-CTA und DSA wurden dem Bilddarstellungsprogramm PACS (Picture Archiving and Communication System; Agfa's IMPAX™) entnommen, weitere Informationen über die Patienten wurden über die elektronische Patientenakte des Krankenhausinformationssystem ORBIS® (Agfa HealthCare GmbH) mit Hilfe der Patientenidentifikationsnummer (PID) ermittelt.

Ausgeschlossen wurden Patienten, bei denen die DSA mehr als 30 Tage nach der DE-CTA durchgeführt wurde sowie solche Patienten, bei denen die DSA-Bilder im Rahmen einer Operation und damit in unzureichender Qualität entstanden waren.

## **2.2 Patientenkollektiv**

### **2.2.1 Patientenauswahl**

Insgesamt fanden sich für den oben genannten Zeitraum Datensätze von 311 DE-CTAs und DSAs der Becken-Bein-Region von 269 Patienten; bei 34 Patienten lagen zwei- bis vierfache Datensätze vor.

212 dieser Datensätze wurden aufgrund der oben genannten Kriterien ausgeschlossen: 160 Datensätze wiesen keine DSA Untersuchung auf; bei 36 Datensätzen lagen die CTA und DSA Untersuchungen mehr als 30 Tage auseinander und bei 16 Datensätzen waren die DSA-Bilder während einer Operation entstanden. Insgesamt blieben so 99 Datensätze von 94 Patienten mit DSA und DE-CTA übrig. Da jedes Bein unabhängig vom anderen die Symptome aufwies, wurde es als separater Fall ausgewertet, sodass letztendlich 198 Fälle in die Auswertung eingeschlossen wurden (siehe Tabelle 2.1).

### **2.2.2 Patientencharakteristika**

Um Hintergründe über die Durchführung der Bildgebung zu erfahren, wurden den elektronischen Patientenakten Informationen bezüglich des Alters, des Geschlechts, der Symptome und des pAVK-Stadiums entnommen. Hierzu wurde der Anforderungsschein zur DSA hinsichtlich Stadium bzw. Symptombeschreibung ausgewertet. Bei der Ableitung des pAVK Stadiums aus der Symptombeschreibung wurde die Einteilung nach Fontaine verwandt (siehe Kapitel 1.1.4).

Bei dem Patientenkollektiv ergab sich ein Altersdurchschnitt von 71 Jahren mit einer Altersspanne von 39 bis 95, das Verhältnis männlicher zu weiblichen Patienten betrug 2:1. Aufgrund der vorliegenden Daten konnte in 123 Fällen ein pAVK-Stadium zugeordnet werden (siehe Tabelle 2.1).

**Tabelle 2.1: Übersicht der Patientencharakteristika**

| <i>Charakteristika</i>                | <i>Wert</i> |
|---------------------------------------|-------------|
| Patientenanzahl                       | 94          |
| Anzahl untersuchter Extremitäten      | 198         |
| Durchschnittsalter (Jahre)            | 71          |
| Altersspanne (Jahre)                  | 39 – 95     |
| Geschlecht männlich                   | 63 (67%)    |
| Geschlecht weiblich                   | 31 (33%)    |
| pAVK Stadien nach Fontaine:           |             |
| I (Beschwerdefreiheit)                | 0           |
| IIa (schmerzfreie Gehstrecke > 200 m) | 1           |
| IIb (schmerzfreie Gehstrecke < 200 m) | 16          |
| III (Ruheschmerzen)                   | 27          |
| IV (Nekrosen/Ulcus)                   | 79          |
| Kein Angaben                          | 75          |

## 2.3 Verwendete Diagnoseverfahren

### 2.3.1 Digitale Substraktionsangiographie

Zur Durchführung der intraarteriellen DSA wurde das Angiographiegerät Artis Zee Helling der Firma Siemens (Erlangen, Deutschland) benutzt. Die Darstellung der Angiographiebilder erfolgte mit der Systemlösung syngo® US Workplace.

Die Angiographie wurde gemäß des Protokolls der Klinik für Strahlendiagnostik des UKGM (siehe Abbildung 6.1 im Anhang) durchgeführt. Zunächst erfolgten die Überprüfung der Indikation und die Durchführung von Vorbereitungsmaßnahmen wie z.B. Aufklärung, Klärung von Risikofaktoren, Schilddrüsen- und Allergianamnese. Für die Untersuchung wurden die Patienten vorschriftsmäßig gelagert und ein Gonadenschutz angelegt. Zunächst erhielten die Patienten eine Lokalanästhesie (10ml Mepiracain, Scandicain®, AstraZeneca, Wedel, Deutschland) um die Punktionsstelle, bevor der arterielle Zugang in der Leiste retrograd transfemorale und kontralateral der Beschwerdesymptomatik oder brachial erfolgte. Der Pigtailkatheter (65 cm) wurde bis zur gewünschten Stelle vorgeschoben, es folgte eine native, überlappende Etagendarstellung des Beins. Je nach Lokalisation variierte die Einstellung des Aufnahmeprogramms und der Kontrastmittelapplikation (Becken, Bein). Die Applikation des Kontrastmittels Ultravist 300 (Bayer Schering Pharma, Leverkusen, Deutschland) erfolgte unverdünnt mit Angiomat Medrad Mark V ProVis. Die Aufnahmen der Gefäße erfolgten abhängig von der Lokalisation der Beschwerden. In

der Beckenetape wurden zwei Bilder pro Sekunde angefertigt; das Kontrastmittel wurde maschinell mit einer Flussrate von 15 ml/s appliziert. Die Aufnahmen wurden in einer posterior – anterior (PA), einer *right anterior obliquen* (RAO) und einer *left anterior obliquen* (LAO) Projektion in einem Winkel von 30° durchgeführt. Im Bereich der Extremitäten erfolgte die Darstellung mit einem Bild pro Sekunde; von dem Kontrastmittel wurde manuell 10ml appliziert. In der Oberschenkeletage wurden eine p. a. und eventuell eine seitliche Aufnahme in 30° RAO-Projektion angefertigt. In der Unterschenkeletage erfolgte die Darstellung der Gefäße parallel oder senkrecht zur *Membrana interossea*. Nach der Untersuchung wurde die Einstichstelle abgedrückt und ein Druckverband für 12-24h angelegt.

Die Strahlenbelastung durch Untersuchung betrug durchschnittlich 6400  $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$ .

## **2.3.2 Dual-Energy-CT-Angiographie**

### **2.3.2.1 Bildakquisition**

Für die CT Bilder wurde das 64-Zeilen SOMATOM® Definition Dual-Source-Computertomographiegerät (Siemens AG, Forchheim) mit den vom Hersteller empfohlenen Akquisitionseinstellungen (Röhrenspannung 140 kV und 80 kV, effektiver Röhrenstrom 50 As und 270 As, Kollimation 64x 1,2 mm, Rotationszeit 0,5 s, Tischvorschub 40 mm/s, Pitchfaktor 1, Schichtdicke 1,5 mm, Schichtinkrement 1,0 mm) benutzt.

Nach der Vorbereitung und Lagerung der Patienten gemäß des Protokolls der Klinik für Radiologie (siehe Abbildung 6.2. im Anhang) wurde das jodhaltige Kontrastmittel (Ultravist 370, Beyer Schering Pharma, Leverkusen, Deutschland) über eine Venenverweilkanüle (Größe 18G) in der Armbeuge nach Kontrastmittelprotokoll (siehe Abbildung 6.3 im Anhang) injiziert.

Die Bildakquisition startete nach Erreichen eines Schwellenwertes von 150 HE, gemessen durch die Anwendung Care Bolus® (Siemens Healthcare, Forchheim, Deutschland) und wurde für den Bereich der infrarenalen Aorta abdominalis bis zu den Zehen durchgeführt.

### **2.3.2.2 Bildnachbearbeitung**

Die Bildnachbearbeitung erfolgte an einer Workstation mit entsprechender Software (Dual-Energy-Applikation, VE25A, Siemens Healthcare, Forchheim Deutschland).

Zunächst wurden Knochen und kalziumhaltige Plaques aus den primären Datensätzen entfernt. Die errechneten Ergebnisse wurden als neue Datensätze gespeichert. Die Unterscheidung von kalkhaltigen Plaques und Knochen im Gegensatz zu Kontrastmittel erfolgt auf Grundlage der verschiedenen Absorptionseigenschaften bei 80 kV und 140 kV (Johnson et al., 2007).

Zusätzlich zu der Speicherung als axiale Bilder erfolgte eine Umwandlung der dreidimensionalen Rohdatensätze in zweidimensionale Maximum-Intensity-Projektionen (MIPs). Dabei wurde entlang einer Projektionsrichtung der Datenpunkt mit der maximalen Intensität ausgewählt und in dem neuen, zunächst zweidimensionalen Datensatz dargestellt. Eine dreidimensionale Darstellung der Gefäße wurde durch die Berechnung mehrerer MIPs aus verschiedenen Blickwinkeln ermöglicht (Fishman et al., 2006).

Die weitere Beschreibung und Auswertung der Daten erfolgte auf Basis der MIPs; die entsprechende Auswertung der axialen Schnittbilder wurde in einer parallel durchgeführten Arbeit dargestellt (Wilhelm, 2013).

## **2.4 Datenerhebung**

### **2.4.1 Dokumentation**

Zur Dokumentation der Bilddaten wurde ein Auswertungsbogen (siehe Abbildung 6.4. im Anhang) verwendet. Zum Ausschluss von Verwechslungen wurden zunächst folgende Daten erhoben:

- Art des Verfahrens (DSA oder DE-CTA)
- axiale Bilder oder MIPs (für die DE-CTA)
- Datum der Befundung
- Beurteiler
- Datum der Untersuchung

Eine spätere Patientenrückverfolgung wurde durch die Dokumentation des Geburtsdatums des Patienten und der zugehörigen Patientenidentifikationsnummer (PID) ermöglicht.

Das Gefäßsystem der Becken-Bein-Region wurde für die Beurteilung der Bilder in 14 Gefäße pro Seite plus die infrarenale Aorta eingeteilt. Bei jedem Bein wurden folgende Gefäße berücksichtigt: *Arteria iliaca communis*, *Arteria iliaca externa*, *Arteria iliaca interna*, *Arteria femoralis communis*, *Femoralisgabel*, *Arteria femoralis profunda*, *Arteria femoralis superficialis*, *Arteria poplitea*, *Truncus tibiofibularis*, *Arteria tibialis anterior*, *Arteria tibialis posterior*, *Arteria fibularis*, *Arteria dorsalis pedis*, *Arteria plantaris pedis*.

Bei der Beurteilung der DE-CTA-Bilder wurde in einem ersten Schritt ein Auswertungsbogen nur unter Benutzung der MIPs ausgefüllt, in einem zweiten Schritt wurden zusätzlich die Schnittbilder miteinbezogen und das Ergebnis auf einem weiteren Bogen festgehalten.

Beurteilt wurde zunächst der Stenosegrad der Gefäße, eingeteilt in fünf Grade (1-5):

- 1: keine Stenose
- 2: <50% Stenose
- 3: 51-70% Stenose
- 4: 71-99% Stenose
- 5: 100% Stenose

Bei den DSA- und den axialen DE-CTA-Bildern wurde auch der Verkalkungsgrad bewertet:

- 1: keine Verkalkung
- 2: Verkalkung weniger als 1/3 des Gefäßumfanges
- 3: Verkalkung zwischen 1/3 und 2/3 des Gefäßumfanges
- 4: Verkalkung mehr als 2/3 des Gefäßumfanges

Desweiteren wurde die Qualität der Bilder folgendermaßen beurteilt:

- 4: sehr gut
- 3: gut
- 2: verwendbar
- 99: nicht beurteilbar

Hierbei wurde nicht auf die einzelnen Gefäßsegmente, sondern auf übergeordnete Gefäßregionen (Aorta, Becken, Oberschenkel, Unterschenkel mit Fuß) Bezug genommen.

Schließlich wurden vorhandene Artefakte auf den Bildern identifiziert (1: kein Artefakt, 2: nicht beeinflussendes Artefakt, 3: beeinflussendes Artefakt) und folgendermaßen näher klassifiziert:

- 1: suboptimale Kontrastierung der Gefäße
- 2: Bewegung des Patienten während der Untersuchung
- 3: venöse Kontamination der arteriellen Gefäßdarstellung
- 4: übermäßige Verkalkung
- 5: sonstige Artefakte

Bei einem nicht dargestellten Gefäß wurde der Code 77 an die entsprechende Stelle eingetragen; konnte ein Gefäß nicht beurteilt werden (z. B. aufgrund von Artefakten), wurde der Code 99 vermerkt.

Die erhobenen Daten wurden anonymisiert in eine Tabelle übertragen und ausgewertet.

### **2.4.2 Beurteilung**

Die oben beschriebene Beurteilung und Klassifizierung der DSA- und DE-CTA-Bilder erfolgte durch drei Fachärzte des Zentrums für Radiologie, Abteilung Strahlendiagnostik.

Die DSA-Bilder wurden durch einen Facharzt mit langjähriger Erfahrung in der DSA beurteilt, der in Bezug auf die klinische Diagnose nicht verblindet war. Die Befundung erfolgte mithilfe von PACS an einem speziellen Befundungsmonitor. Diese Methode, die derzeitiger Goldstandard ist, diente als Grundlage für die weitere Auswertung.

Die Beurteilung der DE-CTA Bilder erfolgte durch zwei andere Fachärzte unabhängig voneinander, die bezüglich der Befunde der DSA und der jeweiligen klinischen Diagnose der Patienten verblindet waren. Die Bilder wurden ebenfalls mithilfe von PACS an einem Befundungsmonitor ausgewertet. In einem ersten Schritt erfolgte die Beurteilung der MIPs, in einem zweiten Schritt zusätzlich die Beurteilung der Schnittbilder.

## 2.5 Statistik

Die erhobenen Daten wurden mit Matlab 7.9.0 (R2009b) statistisch ausgewertet. Vor der statistischen Analyse der Daten wurden die abgebildeten Gefäße der DSA und DE-CTA Datensätze verglichen. Diejenigen Gefäße, die in der DSA nicht abgebildet oder beurteilt wurden (Code 77 und 99, siehe Kapitel 2.4.1), wurden für den Teil der Auswertung, der sich auf die DSA Datensätze bezog, aus den DE-CTA Datensätzen entfernt. Zudem wurden die Datensätze der infrarenalen Aorta bei der weiteren statistischen Analyse nicht herangezogen, da sie anatomisch nicht zu den Extremitäten gehört.

### 2.5.1 Berechnung der diagnostischen Güte des Testverfahrens - Vergleich der MIPs mit der DSA

Zur Berechnung der diagnostischen Güte wurden die fünf Stenosegrade in die klinisch relevanten Kategorien „krank“ und „gesund“ zusammengefasst. Ein Gefäß wurde hierbei als krank definiert, wenn es eine hämodynamisch relevante Stenose (mehr als 50% des Durchmessers) oder einen Verschluss aufwies (Stenosegrad 3-5, siehe Kapitel 2.4.1). Ein Gefäß ohne Stenose oder mit einer hämodynamisch nicht relevanten Stenose (weniger als 50% des Durchmessers) wurde als gesund klassifiziert (Stenosegrad 1-2, siehe Kapitel 2.4.1). Die Berechnung der folgenden Parameter bezieht sich auf diese beiden Kategorien.

Mit in der DE-CTA nicht abgebildeten oder bewerteten Gefäßen (Code 77 und 99) wurde folgender Umgang gewählt:

In einer ersten Berechnung wurden die Bewertungen der entsprechenden Gefäße auch in der DSA ausgeschlossen und gingen nicht in die Auswertung ein.

In einer zweiten Berechnung wurde eine falsche Bewertung der DE-CTA-Bilder angenommen: wenn das entsprechende Gefäß in der DSA als krank bewertet worden war, wurde es in der DE-CTA als gesund markiert und entsprechend andersherum. Dies entspricht dem Prinzip des „*intention-to-treat*“ Ansatzes in Therapiestudien.

#### 2.5.1.1 Darstellung der Ergebnisse in einer Vier-Felder-Tafel

Die so zusammengefassten Daten wurden in Vier-Felder-Tafeln dargestellt:

Tabelle 2.2: Vierfeldertafel zur statistischen Auswertung

|             | <i>DSA positiv<br/>(Goldstandard)</i> | <i>DSA negativ<br/>(Goldstandard)</i> |                     |
|-------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| CTA positiv | richtig positiv                       | falsch positiv                        | Anzahl Testpositive |
| CTA negativ | falsch negativ                        | richtig negativ                       | Anzahl Testnegative |
| Gesamt      | Anzahl Kranke                         | Anzahl Gesunde                        |                     |

Die Einordnung „positiv“ bedeutet in diesem Fall die Bewertung „krank“, während „negativ“ das Ergebnis „gesund“ repräsentiert.

Bei der weiteren Auswertung wurden zunächst die Berechnungen pro Bein durchgeführt. Dabei war die Beurteilung des Gefäßes mit der größten Stenose für das gesamte Bein maßgeblich, welches dann entweder als krank oder gesund bewertet wurde.

Zusätzlich erfolgten diese Berechnungen für die einzelnen Gefäßregionen (Becken, Oberschenkel, Unterschenkel, Fuß), für die einzelnen Gefäße sowie für die Gesamtheit der Gefäße.

### 2.5.1.2 Berechnung von Sensitivität und Spezifität

Zunächst wurden Sensitivität und Spezifität als wichtigste Marker eines diagnostischen Verfahrens berechnet.

Die Sensitivität ist definiert als der Anteil der durch den Test korrekterweise als krank erkannten Patienten (richtig positive) an der Gesamtanzahl aller Kranker (durch den Goldstandard als krank erkannt).

- Sensitivität = (richtige positive / Anzahl Kranker).

Je höher die Sensitivität, desto sicherer erkennt der Test die Erkrankung. Bei negativem Testergebnis und hoher Sensitivität kann das Vorliegen der Erkrankung also mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Die Sensitivität erlaubt keine Aussage über die Wahrscheinlichkeit, bei positivem Ergebnis tatsächlich erkrankt zu sein.

Die Spezifität bezeichnet den Anteil der durch den Test korrekterweise als gesund erkannter Patienten (richtig negative) an der Gesamtanzahl aller Gesunder (durch den Goldstandard als gesund erkannt).

- Spezifität = (richtig negative / Anzahl Gesunde).

Bei hoher Spezifität kann bei positivem Testergebnis das Vorliegen der Erkrankung mit hoher Wahrscheinlichkeit angenommen werden.

Wünschenswert sind sowohl eine hohe Sensitivität als auch eine hohe Spezifität; dies ist bei einem einzigen Testverfahren jedoch nicht möglich, da die Erhöhung eines Parameters mit der Verminderung des anderen einher geht.

Für ein Screening-Verfahren wie die CT-Angiographie bei dem nach einem negativen Ergebnis keine weitere Diagnostik angeschlossen wird, ist primär eine hohe Sensitivität wichtig.

### **2.5.1.3 Positiver und Negativer Prädiktiver Wert**

Der Positive Prädiktive Wert (PPW) und der Negative Prädiktive Wert (NPW) sind von der Prävalenz der Erkrankung in dem untersuchten Patientenkollektiv abhängig. Hierbei ist zu beachten, dass die in diesem Fall ermittelten Werte sich nicht auf die Gesamtbevölkerung beziehen, da die Prävalenz der Erkrankung im untersuchten Patientenkollektiv nicht der Prävalenz in der Gesamtbevölkerung entspricht.

Der PPW ist dabei definiert als das Verhältnis der durch das Testverfahren korrekterweise als krank erkannten Patienten (richtig positive) zu der Gesamtzahl aller durch das Testverfahren als krank erkannten Patienten (Summe aus richtig und falsch positiven).

- $PPW = (\text{richtig positive}) / (\text{richtig positive} + \text{falsch positive})$ .

Er gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der ein Patient mit positivem Testergebnis auch wirklich krank ist.

Der NPW berechnet sich analog. Er gibt den Anteil der durch das Testverfahren korrekterweise als gesund erkannten Patienten (richtig negative) an der Gesamtzahl aller durch das Testverfahren als gesund erkannten Patienten (Summe aus richtig und falsch negativen) wieder.

- $NPW = (\text{richtig negative}) / (\text{richtig negative} + \text{falsch negative})$ .

Er beschreibt somit die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Patient mit negativem Testergebnis auch wirklich gesund ist.

### 2.5.1.4 Positiver und Negativer Likelihood-Quotient

Der Positive Likelihood-Quotient (LR+) und Negative Likelihood-Quotient (LR-) werden aus der Sensitivität und Spezifität berechnet.

- $LR+ = \text{Sensitivität} / (1 - \text{Spezifität})$
- $LR- = (1 - \text{Sensitivität}) / \text{Spezifität}$

Beide Quotienten geben Wahrscheinlichkeitsverhältnisse an. Der LR+ beschreibt die Wahrscheinlichkeit einer erkrankten Person, ein positives Testergebnis zu erhalten, im Verhältnis zu der Wahrscheinlichkeit, dass der Test für eine gesunde Person positiv ausfällt. Der LR- gibt entsprechend das Wahrscheinlichkeitsverhältnis bei negativem Testergebnis an. Eine überzeugende diagnostische Evidenz wird bei Werten  $> 10$  für LR+ und  $< 0,1$  für LR- erreicht. Eine genaue Einteilung des Likelihood-Quotienten erfolgt nach Jaeschke (Jaeschke et al., 1994).

**Tabelle 2.3: Einteilung des Likelihood-Quotienten nach Jaeschke et al., 1994**

| <i>Wahrscheinlichkeitsverhältnisse</i> | <i>Interpretation</i>                  |
|--|--|
| LR+ $> 10$ bzw. LR- $< 0,1$            | „überzeugende diagnostische Evidenz“   |
| LR+ 5 - 10 bzw. LR- 0,1 - 0,2          | „hohe diagnostische Evidenz“           |
| LR+ 2 - 5 bzw. LR- 0,2 - 0,5           | „schwache diagnostische Evidenz“       |
| LR+ 1 - 2 bzw. LR- 0,5 - 1             | „kaum relevante diagnostische Evidenz“ |

### 2.5.1.5 Genauigkeit

Die Genauigkeit – oder *Accuracy* – bezeichnet die Wahrscheinlichkeit, einen korrekten Befund zu erhalten. Sie gibt den Anteil der richtigen Diagnosen an der Gesamtanzahl der gestellten Diagnosen an:  $(\text{richtig positive} + \text{richtig negative}) / \text{Gesamtanzahl}$ .

## 2.5.2 Einfluss von Qualität, Verkalkungsgrad und Artefakten auf Sensitivität und Spezifität

Nach Darstellung der wesentlichen, oben aufgeführten Kriterien zur Beurteilung der Güte eines diagnostischen Tests wurde geprüft, ob die Ausprägung von Sensitivität und Spezifität abhängig von der Qualität, von dem Verkalkungsgrad bzw. von den Artefakten des jeweiligen Gefäßes war. Hierzu wurde mit Hilfe von *Fishers Exaktem Test* ermittelt, ob die errechneten Unterschiede statistisch signifikant waren.

Die Nullhypothese des Tests nimmt an, dass die Sensitivität oder die Spezifität unabhängig von den Merkmalen Qualität, Verkalkungsgrad oder Artefakten ist. Wird die Nullhypothese aufgrund eines  $p < 0,05$  verworfen, wird angenommen, dass die Sensitivität oder die Spezifität abhängig von dem jeweiligen Merkmal ist.

Kleinere p-Werte wie  $p^{**} < 0,01$  und  $p^{***} < 0,001$  werden als sehr signifikant und höchst signifikant eingestuft.

### 2.5.3 Interobserververgleich der DE-CTA

In einem letzten Schritt wurde die zufallskorrigierte Übereinstimmung beider Bewerter der DE-CTA Bilder mittels des Cohen's Kappa Koeffizienten berechnet, um die Interobserver- Variabilität und damit die Güte des Verfahrens besser abschätzen zu können.

Zunächst wurden für alle Merkmale entsprechende Tabellen (Beispiel siehe Tabelle 2.4) erstellt. Dabei repräsentieren die grau hinterlegten Felder in der Hauptdiagonalen die übereinstimmenden Urteile beider Bewerter. Die restlichen Felder geben die nicht konkordanten Urteile an.

**Tabelle 2.4: Beispielkontingenztafel als Grundlage zur Berechnung des Cohen's Kappa-Koeffizient**

|            | Bewerter 1 |    |    |    |       |
|------------|------------|----|----|----|-------|
| Bewerter 2 | A          | B  | C  | D  | Summe |
| A          | 1          | 2  | 3  | 4  | 10    |
| B          | 5          | 6  | 7  | 8  | 26    |
| C          | 9          | 10 | 11 | 12 | 42    |
| D          | 13         | 14 | 15 | 16 | 58    |
| Summe      | 28         | 32 | 36 | 40 | 136   |

Mithilfe dieser Tabellen wurde der Cohen's Kappa Koeffizient berechnet, der die zufallskorrigierte Übereinstimmung angibt. Er kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen, wobei 1 eine vollständige und 0 eine zufällige Übereinstimmung der Bewerter angibt.

Nach Landis und Koch (Landis & Koch, 1977) ergibt sich folgende Einteilung bezüglich des Cohen's Kappa Koeffizienten:

**Tabelle 2.5: Einteilung des Cohen's Kappa Koeffizienten nach Landis und Koch**

---

|                         |                                       |
|-------------------------|---------------------------------------|
| $\kappa < 0,1$          | „keine Übereinstimmung“               |
| $0,1 < \kappa \leq 0,4$ | „schwache Übereinstimmung“            |
| $0,4 < \kappa \leq 0,6$ | „deutliche Übereinstimmung“           |
| $0,6 < \kappa \leq 0,8$ | „starke Übereinstimmung“              |
| $0,8 < \kappa \leq 1$   | „(fast) vollständige Übereinstimmung“ |

---

Das Signifikanzniveau wurde auf  $\alpha = 0,05$  festgelegt, somit gilt das Ergebnis als statistisch signifikant, wenn sich ein p-Wert  $< 0,05$  errechnet.

# 3 Ergebnisse

---

Um die Rolle der DE-CTA in der Diagnostik der pAVK beurteilen zu können, wurden die aus der DE-CTA nachberechneten MIPs mit dem Goldstandard DSA verglichen. Dazu erfolgte eine Beurteilung der MIPs und der DSA Bilder derselben Patienten hinsichtlich des Stenosegrades der abgebildeten Gefäße, der Bildqualität und der Artefakte. Die Beurteilung wurde für jedes Gefäßsegment beider Beine vorgenommen; insgesamt wurden 2871 Gefäßsegmente pro Beurteiler bewertet. Für den Vergleich zwischen MIPs und DSA reduzierte sich diese Zahl, da in der DSA meist keine komplette Darstellung beider Beine erfolgte. Dabei wurden die Gefäßsegmente, die in der DSA nicht abgebildet wurden, auch in den MIPs aus der Auswertung ausgeschlossen.

## 3.1 Deskriptive Darstellung der Häufigkeiten

Zunächst werden in einer deskriptiven Beschreibung der Ergebnisse die Häufigkeiten der verschiedenen Ausprägungen von Stenosegrad, Qualität und Artefakten für die beiden Verfahren aufgeführt.

Die Darstellung erfolgt dabei jeweils für das Gefäßkollektiv der Beingefäße ohne Aorta und für die einzelnen Regionen. Der Vollständigkeit halber wird die Aorta hierbei ebenfalls aufgeführt, sodass die fünf Regionen Aorta, Becken, Oberschenkel, Unterschenkel und Fuß dargestellt werden.

Bei der Darstellung stimmt die Anzahl der ausgewerteten Gefäße der drei Bewerter häufig nicht genau überein. Das ergibt sich daraus, dass die Bewertung „nicht abgebildet“ vom jeweiligen Bewerter subjektiv vergeben wurde; so kommt es zu einer unterschiedlichen Anzahl in die Auswertung aufgenommenen Bilder je Bewerter.

### 3.1.1 Beurteilung der Stenosegrade

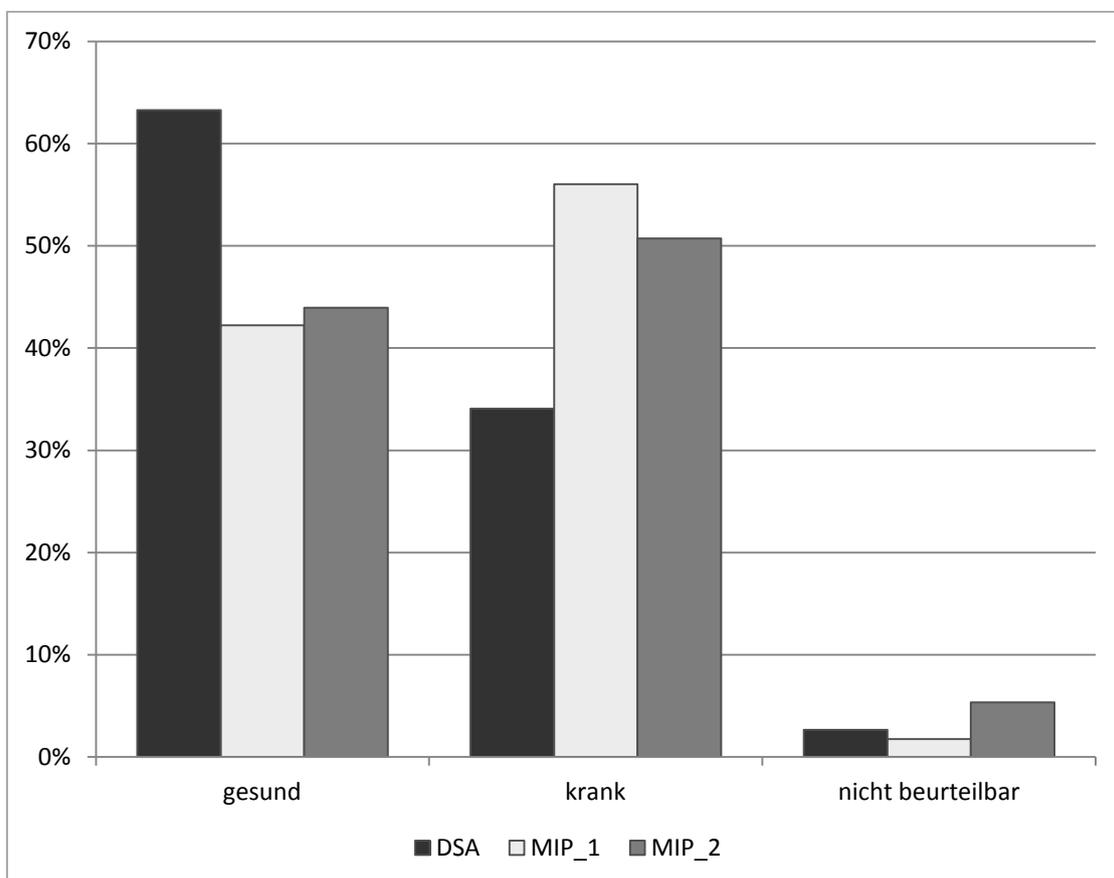
Pro Beurteiler wurden die 2871 Gefäßsegmente hinsichtlich ihres Stenosegrades (1-5) beurteilt. Eine Übersicht über alle Stenosegrade aufgeteilt auf die einzelnen Gefäße findet sich im Anhang (Tabelle 6.1).

Die Stenosegrade wurden, wie auch in der Berechnung der Hauptfragestellung (siehe Kapitel 3.2.1), nochmals zu krank und gesund zusammengefasst. Ein Gefäß wurde als krank bezeichnet, wenn es einen Stenosegrad über 50 % aufwies, andernfalls war das Gefäß gesund.

### 3.1.1.1 Häufigkeit der verschiedenen Stenosegrade für das Gefäßkollektiv

Es wurden 980 (DSA) bzw. 973 (MIP\_1) und 972 (MIP\_2) Gefäße ausgewertet.

Insgesamt zeigten sich in der DSA etwa 60 % der Gefäße gesund, während anhand der MIPs von beiden Bewertern jeweils etwa 40 % der Gefäße als gesund diagnostiziert wurden (siehe Abbildung 3.1).



**Abbildung 3.1: Verteilung der Diagnosen für das Gefäßkollektiv.** Zusammenfassung der Stenosegrade in die Kategorien gesund und krank.

Eine detailliertere Verteilung der einzelnen Stenosegrade ist in Tabellen 3.1 und 3.2 aufgeführt.

Tabelle 3.1: Verteilung der Häufigkeiten der Stenosegrade für das Gefäßkollektiv (Bewerter 1)

|         | Stenosegrad | MIP (Bewerter 1) |       |       |        |        |       | Summe            | Prozent               |
|---------|-------------|------------------|-------|-------|--------|--------|-------|------------------|-----------------------|
|         |             | 1                | 2     | 3     | 4      | 5      | 99    |                  |                       |
| DSA     | 1           | 311              | 38    | 21    | 94     | 82     | 8     | 554              | 56,9 %                |
|         | 2           | 26               | 6     | 4     | 15     | 10     | 0     | 61               | 6,3 %                 |
|         | 3           | 3                | 3     | 4     | 6      | 1      | 0     | 17               | 1,7 %                 |
|         | 4           | 8                | 4     | 5     | 31     | 34     | 3     | 85               | 8,7 %                 |
|         | 5           | 10               | 0     | 1     | 50     | 164    | 5     | 230              | 23,6 %                |
|         | 99          | 2                | 0     | 0     | 7      | 16     | 1     | 26               | 2,7 %                 |
|         | Summe       |                  | 360   | 51    | 35     | 203    | 307   | 17               | 973                   |
| Prozent |             | 37,0 %           | 5,2 % | 3,6 % | 20,9 % | 31,6 % | 1,7 % | 517 <sup>1</sup> | (53,1 %) <sup>2</sup> |

Die grau hinterlegten Kästchen zeigen Übereinstimmungen hinsichtlich der Bewertung zwischen DSA und Bewerter 1 der MIPs.

<sup>1</sup> Gesamtanzahl der übereinstimmend bewerteten Gefäße über alle Stenosegrade

<sup>2</sup> Übereinstimmung über alle Stenosegrade bezogen auf die Anzahl der bewerteten Gefäße

Mittels der DSA wurden 56,9 % der Gefäße als stenosefrei (Stenosegrad 1) bewertet, Bewerter 1 beurteilte anhand der MIP-Bilder 37 % der Gefäße als stenosefrei. Bei 311 Gefäßen stimmten beide Bewerter bei dieser Diagnose überein. 86,4 % der mittels der MIP stenosefrei bewerteten Gefäße wurden somit auch anhand der DSA als stenosefrei beurteilt, während der Anteil an übereinstimmenden Bewertungen bezogen auf die in der DSA als stenosefrei bewerteten Gefäße bei 56,1 % lag.

Als verschlossen (Stenosegrad 5) wurden mittels der DSA 23,6 % der Gefäße beurteilt. Diese Diagnose stellte Bewerter 1 für 31,6 % der Gefäße. Eine Übereinstimmung beider Methoden bei Stenosegrad 5 zeigte sich in 164 Gefäßen. Dies entspricht 53,4 % aller mittels der MIP bzw. 71,3 % anhand der DSA als verschlossen diagnostizierten Gefäße.

Tabelle 3.2: Verteilung der Häufigkeiten der Stenosegrade für das Gefäßkollektiv (Bewerter 2)

|         | Stenosegrad | MIP (Bewerter 2) |        |       |        |        |       | Summe            | Prozent               |
|---------|-------------|------------------|--------|-------|--------|--------|-------|------------------|-----------------------|
|         |             | 1                | 2      | 3     | 4      | 5      | 99    |                  |                       |
| DSA     | 1           | 280              | 76     | 38    | 47     | 81     | 31    | 553              | 56,9 %                |
|         | 2           | 17               | 10     | 12    | 9      | 11     | 2     | 61               | 6,3 %                 |
|         | 3           | 2                | 8      | 2     | 3      | 2      | 0     | 17               | 1,7 %                 |
|         | 4           | 9                | 5      | 9     | 22     | 31     | 9     | 85               | 8,7 %                 |
|         | 5           | 14               | 3      | 7     | 23     | 173    | 10    | 230              | 23,7 %                |
|         | 99          | 3                | 0      | 0     | 0      | 23     | 0     | 26               | 2,7 %                 |
|         | Summe       |                  | 325    | 102   | 68     | 104    | 321   | 52               | 972                   |
| Prozent |             | 33,4 %           | 10,5 % | 7,0 % | 10,7 % | 33,0 % | 5,3 % | 487 <sup>1</sup> | (50,1 %) <sup>2</sup> |

Die grau hinterlegten Kästchen zeigen Übereinstimmungen hinsichtlich der Bewertung zwischen DSA und Bewerter 2 der MIPs.

<sup>1</sup> Gesamtanzahl der übereinstimmend bewerteten Gefäße über alle Stenosegrade

<sup>2</sup> Übereinstimmung über alle Stenosegrade bezogen auf die Anzahl der bewerteten Gefäße

Im Vergleich zwischen der DSA und Bewerber 2 der MIP Bilder ergeben sich ähnliche Zahlen. Anhand der DSA wurden 56,9 % der Gefäße als stenosefrei eingestuft, von Bewerber 2 33,4 %. Übereinstimmend bewerteten beide Beurteiler 280 Gefäße als stenosefrei. Dies entspricht einem Anteil von 86,2 % der mittels der MIPs als stenosefrei beurteilten Gefäße; bezogen auf die anhand der DSA stenosefrei bewerteten Gefäße ergibt sich ein Anteil von 50,6 %.

Als verschlossen wurden mittels der DSA 23,7 % der Gefäße diagnostiziert, anhand der MIP 33 %. Eine Übereinstimmung beider Methoden fand sich bei 173 Gefäßen. 53,9 % der anhand der MIPs als verschlossen beurteilten Gefäße wurden somit auch mittels der DSA als verschlossen bewertet. 75,2 % der Gefäße, die anhand der DSA die Diagnose verschlossen erhielten, wurden mittels der MIPs ebenfalls als verschlossen erkannt.

Insgesamt waren die Stenosegrade 1 und 5 bei allen drei Bewertern die häufigsten. Dabei stimmten sie bei Stenosegrad 5 weitestgehend überein, während Stenosegrad 1 anhand der DSA doppelt so häufig diagnostiziert wurde.

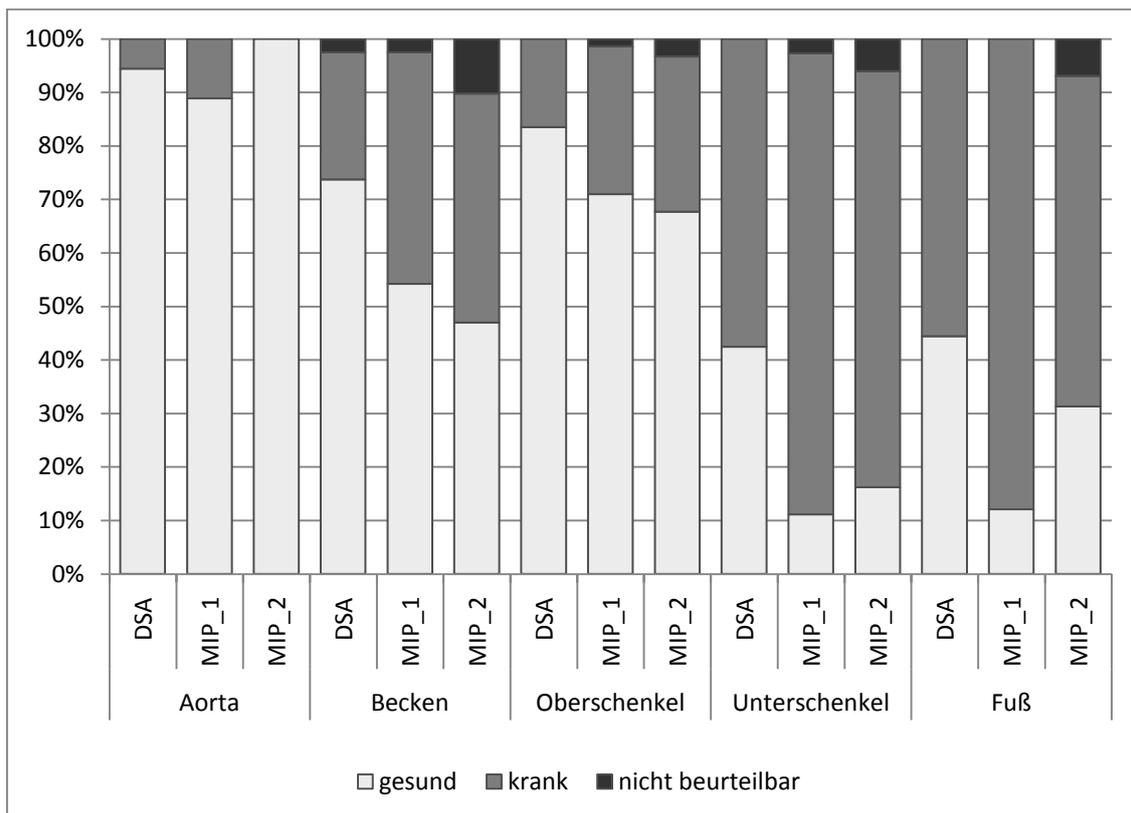
Bei der DSA wurden die Stenosegrade 2 – 4 seltener diagnostiziert und lagen im einstelligen Prozentbereich, so dass sich hier ein deutlicher Unterschied zu den MIPs ergab. Bei den Bewertungen der MIP Bilder zeigte sich eine gleichmäßigere Verteilung auf alle Stenosegrade.

### **3.1.1.2 Häufigkeit der verschiedenen Stenosegrade für die einzelnen Regionen**

Eine Übersicht über die Verteilung der Kategorien gesund und krank aufgeteilt auf die fünf verschiedenen Regionen findet sich in der Abbildung 3.2.

#### ***3.1.1.2.1 Häufigkeit der verschiedenen Stenosegrade für den Bereich der Aorta***

Bei der Aorta konnten 18 Fälle anhand der DSA beurteilt werden, von denen 17 gesund und eines krank war. Bewerber 1 (MIP\_1) diagnostizierte 89 % der Gefäße (absolut 16) als gesund und 11 % (absolut 2) als krank, während Bewerber 2 (MIP\_2) alle als gesund bewertete. Siehe Abbildung 3.2.



**Abbildung 3.2: Verteilung der Diagnosen pro Region.** Zusammenfassung der Stenosegrade in die Kategorien gesund und krank.

### **3.1.1.2.2 Häufigkeit der verschiedenen Stenosegrade für die Beckenregion**

In der Beckenregion wurden 118 (DSA) bzw. 117 (MIPs) Gefäße bewertet.

Anhand der DSA wurden 75 % der Gefäße (absolut: 87) als gesund eingestuft, während etwa 25 % (absolut: 28) als krank diagnostiziert wurden. Bei den MIP-Bildern ergaben sich andere Werte. Bewerter 1 bewertete 54 % der Gefäße (absolut: 64) als gesund, Bewerter 2 47 % (absolut: 55). Die Beurteilung krank vergaben beide Bewerter bei 43 % der Gefäße (absolut: 51 bzw. 50). Siehe Abbildung 3.2.

Eine genauere Aufteilung der Stenosegrade findet sich in den Tabellen 3.3 und 3.4.

Zwischen der DSA und dem Bewerter 1 der MIP-Bilder zeigte sich in 50 % der Fälle eine übereinstimmende Bewertung. In 43 der 59 übereinstimmend bewerteten Fälle diagnostizierten beide Bewerter ein Gefäß als stenosefrei. Dies entspricht 81,1 % der Gefäße, die mittels der MIPs als stenosefrei bewertet wurden und 55,8 % der anhand der DSA so beurteilten Gefäße. Diese Beurteilung wurde in 65,3 % (DSA) bzw. 44,9 % (MIP\_1) der Fälle gewählt.

Tabelle 3.3: Verteilung der Häufigkeiten der Stenosegrade für die Beckenregion (Bewerter 1)

|         | MIP (Bewerter 1) |       |        |        |       |       |    | Summe                               | Prozent |
|---------|------------------|-------|--------|--------|-------|-------|----|-------------------------------------|---------|
|         | Stenosegrad      | 1     | 2      | 3      | 4     | 5     | 99 |                                     |         |
| DSA     | 1                | 43    | 7      | 8      | 17    | 2     | 0  | 77                                  | 65,3 %  |
|         | 2                | 4     | 2      | 1      | 3     | 0     | 0  | 10                                  | 8,5 %   |
|         | 3                | 1     | 1      | 1      | 1     | 0     | 0  | 4                                   | 3,4 %   |
|         | 4                | 3     | 1      | 1      | 9     | 0     | 1  | 15                                  | 12,7 %  |
|         | 5                | 2     | 0      | 1      | 2     | 3     | 1  | 9                                   | 7,6 %   |
|         | 99               | 0     | 0      | 0      | 1     | 1     | 1  | 3                                   | 2,5 %   |
|         | Summe            | 53    | 11     | 12     | 33    | 6     | 3  | 118                                 |         |
| Prozent | 44,9 %           | 9,3 % | 10,2 % | 28,0 % | 5,1 % | 2,5 % |    | 59 <sup>1</sup> (50 %) <sup>2</sup> |         |

Die grau hinterlegten Kästchen zeigen Übereinstimmungen hinsichtlich der Bewertung zwischen DSA und Bewerter 1 der MIPs.

<sup>1</sup> Gesamtanzahl der übereinstimmend bewerteten Gefäße über alle Stenosegrade

<sup>2</sup> Übereinstimmung über alle Stenosegrade bezogen auf die Anzahl der bewerteten Gefäße

Tabelle 3.4: Verteilung der Häufigkeiten der Stenosegrade für die Beckenregion (Bewerter 2)

|         | MIP (Bewerter 2) |        |        |       |        |        |    | Summe                                 | Prozent |
|---------|------------------|--------|--------|-------|--------|--------|----|---------------------------------------|---------|
|         | Stenosegrad      | 1      | 2      | 3     | 4      | 5      | 99 |                                       |         |
| DSA     | 1                | 26     | 20     | 12    | 8      | 3      | 7  | 76                                    | 65 %    |
|         | 2                | 2      | 1      | 6     | 0      | 0      | 1  | 10                                    | 8,5 %   |
|         | 3                | 1      | 3      | 0     | 0      | 0      | 0  | 4                                     | 3,4 %   |
|         | 4                | 0      | 1      | 4     | 3      | 4      | 3  | 15                                    | 12,8 %  |
|         | 5                | 0      | 1      | 2     | 0      | 5      | 1  | 9                                     | 7,7 %   |
|         | 99               | 0      | 0      | 0     | 0      | 3      | 0  | 3                                     | 2,6 %   |
|         | Summe            | 29     | 26     | 24    | 11     | 15     | 12 | 117                                   |         |
| Prozent | 24,8 %           | 22,2 % | 20,5 % | 9,4 % | 12,8 % | 10,3 % |    | 35 <sup>1</sup> (29,9 %) <sup>2</sup> |         |

Die grau hinterlegten Kästchen zeigen Übereinstimmungen hinsichtlich der Bewertung zwischen DSA und Bewerter 2 der MIPs.

<sup>1</sup> Gesamtanzahl der übereinstimmend bewerteten Gefäße über alle Stenosegrade

<sup>2</sup> Übereinstimmung über alle Stenosegrade bezogen auf die Anzahl der bewerteten Gefäße

Zwischen der DSA und Bewerter 2 der MIP-Bilder fand sich eine Übereinstimmung in 29,9 % der Fälle. Die höchste Übereinstimmung wurde bei Stenosegrad 1 mit 26 Gefäßen erzielt. Somit wurden 89,7 % der Gefäße, die Bewerter 2 als stenosefrei beurteilte, auch mittels der DSA als stenosefrei bewertet. Von allen Gefäßen, die anhand der DSA als stenosefrei diagnostiziert wurden, wurden jedoch nur 34,2 % auch mittels der MIPs als stenosefrei erkannt. Die geringe Übereinstimmung erklärt sich daraus, dass Bewerter 2 in seinen Beurteilungen relativ gleich verteilt alle Stenosegrade wählte, während sich die Bewertungen mittels der DSA zum Großteil (65 %) auf die Diagnose stenosefreies Gefäß konzentrierten.

Insgesamt fanden sich im Beckenbereich unterschiedliche Übereinstimmungen zwischen der DSA und den MIP-Bewertern. Bewerter 1 stimmte in 50 % der Fälle mit der DSA überein, Bewerter 2 in etwa 30 % der Fälle. Die häufigste Beurteilung war bei allen drei Bewertern Stenosegrad 1. Anhand der DSA wurden dabei deutlich mehr Gefäße entsprechend beurteilt als mittels der MIPs, dort wurden die Stenosegrade häufiger höher eingeschätzt.

### 3.1.1.2.3 Häufigkeit der verschiedenen Stenosegrade für die Oberschenkelregion

Im Bereich des Oberschenkels wurden 431 (DSA) bzw. 426 (MIP\_1) und 427 (MIP\_2) Gefäße bewertet.

Wie im Bereich der Aorta und des Beckens wurden mittels der DSA ein Großteil der Gefäße, 83 %, als gesund bewertet, anhand der MIPs wurden 70 % und 67 % der Gefäße so beurteilt. Umgekehrt wurden bei der DSA 16 % der Gefäße als krank eingestuft, bei den MIPs waren dies 28 % und 30 % Gefäße. Siehe Abbildung 3.2.

Die detaillierte Aufteilung der Stenosegrade ist in Tabellen 3.5 und 3.6 aufgeführt.

**Tabelle 3.5: Verteilung der Häufigkeiten der Stenosegrade für die Oberschenkelregion (Bewerter 1)**

|         | Stenosegrad | MIP (Bewerter 1) |       |       |        |        |       | Summe            | Prozent               |
|---------|-------------|------------------|-------|-------|--------|--------|-------|------------------|-----------------------|
|         |             | 1                | 2     | 3     | 4      | 5      | 99    |                  |                       |
| DSA     | 1           | 232              | 31    | 12    | 23     | 17     | 3     | 318              | 74,6 %                |
|         | 2           | 19               | 4     | 2     | 6      | 2      | 0     | 33               | 7,9 %                 |
|         | 3           | 1                | 2     | 3     | 0      | 0      | 0     | 6                | 1,4 %                 |
|         | 4           | 4                | 3     | 3     | 9      | 8      | 2     | 29               | 6,8 %                 |
|         | 5           | 2                | 0     | 0     | 12     | 19     | 1     | 34               | 8,0 %                 |
|         | 99          | 2                | 0     | 0     | 2      | 2      | 0     | 6                | 1,4 %                 |
|         | Summe       |                  | 260   | 40    | 20     | 52     | 48    | 6                | 426                   |
| Prozent |             | 61,0 %           | 9,4 % | 4,7 % | 12,2 % | 11,3 % | 1,4 % | 267 <sup>1</sup> | (62,7 %) <sup>2</sup> |

Die grau hinterlegten Kästchen zeigen Übereinstimmungen hinsichtlich der Bewertung zwischen DSA und Bewerter 1 der MIPs.

<sup>1</sup> Gesamtanzahl der übereinstimmend bewerteten Gefäße über alle Stenosegrade

<sup>2</sup> Übereinstimmung über alle Stenosegrade bezogen auf die Anzahl der bewerteten Gefäße

Sowohl bei der Bewertung der DSA als auch der MIP Bilder durch Bewerter 1 entfielen mit 74,6 % bzw. 61 % ein Großteil der Bewertungen auf Stenosegrad 1. Hier fanden sich die meisten Übereinstimmungen, 232 Gefäße wurden von beiden Bewertern mit Stenosegrad 1 beurteilt. Dies entspricht einem Anteil von 89,2 % an den Gefäßen, die anhand der MIPs als stenosefrei beurteilt wurden. Bezogen auf die mittels der DSA als

stenosefrei bewerteten Gefäßen ergab sich ein Anteil von 73 %. Insgesamt stimmten die Beurteilungen beider Bewerter in 62,7 % der Fälle überein.

**Tabelle 3.6: Verteilung der Häufigkeiten der Stenosegrade für die Oberschenkelregion (Bewerter 2)**

|     | MIP (Bewerter 2) |        |        |       |       |        |       | Summe            | Prozent              |
|-----|------------------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|------------------|----------------------|
|     | Stenosegrad      | 1      | 2      | 3     | 4     | 5      | 99    |                  |                      |
| DSA | 1                | 204    | 51     | 21    | 8     | 25     | 10    | 319              | 74,7 %               |
|     | 2                | 14     | 5      | 6     | 5     | 2      | 1     | 33               | 7,7 %                |
|     | 3                | 0      | 4      | 2     | 0     | 0      | 0     | 6                | 1,4 %                |
|     | 4                | 4      | 2      | 4     | 8     | 9      | 2     | 29               | 6,8 %                |
|     | 5                | 1      | 0      | 0     | 8     | 24     | 1     | 34               | 8,0 %                |
|     | 99               | 2      | 0      | 0     | 0     | 4      | 0     | 6                | 1,4 %                |
|     | Summe            | 225    | 62     | 33    | 29    | 64     | 14    | 427              |                      |
|     |                  | 52,7 % | 14,5 % | 7,7 % | 6,8 % | 15,0 % | 3,3 % | 243 <sup>1</sup> | (56,9%) <sup>2</sup> |

Die grau hinterlegten Kästchen zeigen Übereinstimmungen hinsichtlich der Bewertung zwischen DSA und Bewerter 2 der MIPs.

<sup>1</sup> Gesamtanzahl der übereinstimmend bewerteten Gefäße über alle Stenosegrade

<sup>2</sup> Übereinstimmung über alle Stenosegrade bezogen auf die Anzahl der bewerteten Gefäße

Auch im Vergleich der DSA Bilder mit den Beurteilungen der MIPs durch Bewerter 2 zeigte sich ein ähnliches Verteilungsmuster. In 56,9 % der Fälle stimmten die Bewertungen der DSA-Bilder und MIPs überein. 52,7 % der Bewertungen der MIPs entfielen auf Stenosegrad 1; hier fanden sich die meisten Übereinstimmungen zwischen DSA und MIPs. 204 Gefäße beurteilten beide Bewerter als stenosefrei, dies entspricht einem Anteil von 90,7 % an den MIPs und einem Anteil von 63,9 % an den DSA Bildern, die als stenosefrei bewertet wurden.

Insgesamt fanden sich im Oberschenkel Übereinstimmungen zwischen MIP Bewertern und DSA in etwa 55 % und 60 % der Fälle. Wieder war Stenosegrad 1 die häufigste Wertung, dort fanden sich ebenfalls die meisten Übereinstimmungen. Anhand der DSA wurden dabei deutlich mehr Gefäße stenosefrei beurteilt als mittels der MIPs, dort wurden die Stenosegrade häufiger höher eingeschätzt.

#### **3.1.1.2.4 Häufigkeit der verschiedenen Stenosegrade für die Unterschenkelregion**

Im Bereich des Unterschenkels wurden bei der DSA 309 Gefäße, bei den MIPs 308 Gefäße bewertet.

Hier wurden im Gegensatz zu den anderen Regionen mehr kranke als gesunde Gefäße diagnostiziert. Anhand der DSA wurden etwa 40 % als gesund und etwa 60 % als krank bewertet. Noch deutlicher zeigt sich der Unterschied bei den Beurteilungen der MIP.

Hier wurden durch Bewerter 1 11 % der Gefäße als gesund und 87 % als krank beurteilt. In einem ähnlichen Verhältnis urteilte Bewerter 2 mit 16 % gesunden und 79 % kranken Gefäßen. Siehe Abbildung 3.2.

Die detaillierte Aufteilung der Stenosegrade ist in Tabellen 3.7 und 3.8 aufgeführt.

**Tabelle 3.7: Verteilung der Häufigkeiten der Stenosegrade für die Unterschenkelregion (Bewerter 1)**

|             |        | MIP (Bewerter 1) |       |        |        |       |                  |                       |         |  |
|-------------|--------|------------------|-------|--------|--------|-------|------------------|-----------------------|---------|--|
| Stenosegrad |        | 1                | 2     | 3      | 4      | 5     | 99               | Summe                 | Prozent |  |
| DSA         | 1      | 26               | 0     | 1      | 40     | 37    | 5                | 109                   | 35,4 %  |  |
|             | 2      | 3                | 0     | 1      | 6      | 6     | 0                | 16                    | 5,2 %   |  |
|             | 3      | 1                | 0     | 0      | 5      | 1     | 0                | 7                     | 2,3 %   |  |
|             | 4      | 1                | 0     | 1      | 11     | 21    | 0                | 34                    | 11,0 %  |  |
|             | 5      | 2                | 0     | 0      | 28     | 97    | 3                | 130                   | 42,2 %  |  |
|             | 99     | 0                | 0     | 0      | 3      | 9     | 0                | 12                    | 3,9 %   |  |
|             | Summe  | 33               | 0     | 3      | 93     | 171   | 8                | 308                   |         |  |
| Prozent     | 10,7 % | 0,0 %            | 1,0 % | 30,2 % | 55,5 % | 2,6 % | 134 <sup>1</sup> | (43,5 %) <sup>2</sup> |         |  |

Die grau hinterlegten Kästchen zeigen Übereinstimmungen hinsichtlich der Bewertung zwischen DSA und Bewerter 1 der MIPs.

<sup>1</sup> Gesamtanzahl der übereinstimmend bewerteten Gefäße über alle Stenosegrade

<sup>2</sup> Übereinstimmung über alle Stenosegrade bezogen auf die Anzahl der bewerteten Gefäße

Im Gegensatz zu den anderen Regionen wurde die Mehrzahl der Gefäße als verschlossen bewertet. Bewerter 1 der MIPs beurteilte 55,5 % der Gefäße entsprechend, anhand der DSA wurden 42,2 % der Gefäße als verschlossen bewertet. Hier zeigte sich mit 97 Gefäßen die deutlichste Übereinstimmung. Dies entspricht einem Anteil von 56,7 % an den MIPs und einem Anteil von 74,6 % an den DSA Bildern, die als verschlossen bewertet wurden.

Mittels der DSA wurde ein weiterer großer Teil der Gefäße (35,4 %) als stenosefrei beurteilt, während anhand der MIPs ein ähnlich großer Anteil (30,2 %) mit einer hochgradigen Stenose (71 % – 99 %, Stenosegrad 4) bewertet wurde. Die Unterschiede der Verteilung spiegeln sich in der Gesamtanzahl übereinstimmend bewerteter Gefäße wieder, übereinstimmende Bewertungen fanden sich in 43,5 % der Fälle.

Tabelle 3.8: Verteilung der Häufigkeiten der Stenosegrade für die Unterschenkelregion (Bewerter 2)

|         | MIP (Bewerter 2) |       |       |        |        |       |  |     | Summe  | Prozent |
|---------|------------------|-------|-------|--------|--------|-------|--|-----|--------|---------|
|         | Stenosegrad      | 1     | 2     | 3      | 4      | 5     | 99                                     |     |        |         |
| DSA     | 1                | 31    | 3     | 4      | 27     | 34    | 10                                     | 109 | 35,4 % |         |
|         | 2                | 1     | 4     | 0      | 4      | 7     | 0                                      | 16  | 5,2 %  |         |
|         | 3                | 1     | 1     | 0      | 3      | 2     | 0                                      | 7   | 2,3 %  |         |
|         | 4                | 5     | 0     | 1      | 11     | 15    | 2                                      | 34  | 11,0 % |         |
|         | 5                | 2     | 0     | 3      | 15     | 104   | 6                                      | 130 | 42,2 % |         |
|         | 99               | 0     | 0     | 0      | 0      | 12    | 0                                      | 12  | 3,9 %  |         |
|         | Summe            | 40    | 8     | 8      | 60     | 174   | 18                                     | 308 |        |         |
| Prozent | 13,0 %           | 2,6 % | 2,6 % | 19,5 % | 56,5 % | 5,8 % | 150 <sup>1</sup> (48,7 %) <sup>2</sup> |     |        |         |

Die grau hinterlegten Kästchen zeigen Übereinstimmungen hinsichtlich der Bewertung zwischen DSA und Bewerter 2 der MIPs.

<sup>1</sup> Gesamtanzahl der übereinstimmend bewerteten Gefäße über alle Stenosegrade

<sup>2</sup> Übereinstimmung über alle Stenosegrade bezogen auf die Anzahl der bewerteten Gefäße

Ein ähnliches Bild zeigte sich im Vergleich zwischen den Bewertungen der DSA Bilder und den Bewertungen von Bewerter 2. Der Gesamtanteil übereinstimmend bewerteter Gefäße lag bei 48,7 %. 56,5 % der Gefäße hatte Bewerter 2 als verschlossen beurteilt, hier fanden sich die meisten Übereinstimmungen mit der DSA (absolut: 104). 59,8 % der Gefäße, die Bewerter 2 als verschlossen bewertete, wurden anhand der DSA ebenfalls als verschlossen bewertet. Umgekehrt wurden 80 % der mittels DSA als verschlossen gewerteten Gefäße anhand der MIPs ebenso als verschlossen beurteilt. Wie Bewerter 1 vergab Bewerter 2 relativ häufig (19,5 %) die Diagnose Stenosegrad 4. In 13 % der Fälle bewertete er ein Gefäß als stenosefrei; anhand der DSA wurden 35,4 % der Gefäße als stenosefrei beurteilt.

Insgesamt fanden sich im Bereich des Unterschenkels weniger als 50 % übereinstimmende Beurteilungen zwischen DSA und MIPs. Bei allen drei Bewertern war die Diagnose verschlossenes Gefäß die häufigste, der Anteil lag bei den MIPs deutlich höher als bei der DSA. Wieder wurden anhand der MIPs die Stenosegrade höher eingeschätzt als mittels der DSA. Vor allem stenosefreie Gefäße wurden mittels der MIPs deutlich seltener erkannt als anhand der DSA.

### 3.1.1.2.5 Häufigkeit der verschiedenen Stenosegrade für die Fußregion

Im Bereich des Fußes wurden bei der DSA 122, bei den MIPs 121 bzw. 120 Gefäße bewertet. Anhand der DSA wurden 43 % (absolut: 52) als gesund und 53 % (absolut: 65) als krank bewertet.

Bei den MIPs fiel die Verteilung unterschiedlich aus. Bewerter 1 beurteilte etwa 90 % der Gefäße als krank (absolut: 107) und 10 % (absolut: 14) als gesund, während Bewerter 2 etwa 30 % der Gefäße (absolut: 37) als gesund und 60 % (absolut: 75) als krank diagnostizierte. Siehe Abbildung 3.2.

Die detaillierte Aufteilung der Stenosegrade ist in Tabellen 3.9 und 3.10 aufgeführt.

**Tabelle 3.9: Verteilung der Häufigkeiten der Stenosegrade für den Fuß (Bewerter 1)**

|         | MIP (Bewerter 1) |       |       |        |        |       |                                       | Summe | Prozent |
|---------|------------------|-------|-------|--------|--------|-------|---------------------------------------|-------|---------|
|         | Stenosegrad      | 1     | 2     | 3      | 4      | 5     | 99                                    |       |         |
| DSA     | 1                | 10    | 0     | 0      | 14     | 26    | 0                                     | 50    | 41,3 %  |
|         | 2                | 0     | 0     | 0      | 0      | 2     | 0                                     | 2     | 1,7 %   |
|         | 3                | 0     | 0     | 0      | 0      | 0     | 0                                     | 0     | 0,0 %   |
|         | 4                | 0     | 0     | 0      | 2      | 5     | 0                                     | 7     | 5,8 %   |
|         | 5                | 4     | 0     | 0      | 8      | 45    | 0                                     | 57    | 47,1 %  |
|         | 99               | 0     | 0     | 0      | 1      | 4     | 0                                     | 5     | 4,1 %   |
|         | Summe            | 14    | 0     | 0      | 25     | 82    | 0                                     | 121   |         |
| Prozent | 11,6 %           | 0,0 % | 0,0 % | 20,7 % | 67,8 % | 0,0 % | 57 <sup>1</sup> (47,1 %) <sup>2</sup> |       |         |

Die grau hinterlegten Kästchen zeigen Übereinstimmungen hinsichtlich der Bewertung zwischen DSA und Bewerter 1 der MIPs.

<sup>1</sup> Gesamtanzahl der übereinstimmend bewerteten Gefäße über alle Stenosegrade

<sup>2</sup> Übereinstimmung über alle Stenosegrade bezogen auf die Anzahl der bewerteten Gefäße

Im Bereich des Fußes wurden anhand der DSA die Gefäße überwiegend als stenosefrei (41,3 %) oder als verschlossen (47,1 %) bewertet.

Die Beurteilung mittels der MIPs durch Bewerter 1 ergab eine andere Verteilung. 67,8 % der Gefäße bewertete er als verschlossen, 20,7 % als hochgradig stenotisiert (Stenosegrad 4) und lediglich 11,6 % als stenosefrei. Dies spiegelt sich in einer Übereinstimmung von insgesamt 47 % zwischen beiden Bewertern. Die meisten übereinstimmenden Bewertungen finden sich bei den verschlossenen Gefäßen: 45. Dies entspricht einem Anteil von 78,9 % an den mittels der DSA als verschlossen bewerteten Gefäße. Umgekehrt wurden 54,9 % der Gefäße, die anhand der MIPs als verschlossen beurteilt wurden, mittels der DSA ebenso beurteilt.

Tabelle 3.10: Verteilung der Häufigkeiten der Stenosegrade für den Fuß (Bewerter 2)

|         | MIP (Bewerter 2) |       |       |       |        |       |    | Summe                                 | Prozent |
|---------|------------------|-------|-------|-------|--------|-------|----|---------------------------------------|---------|
|         | Stenosegrad      | 1     | 2     | 3     | 4      | 5     | 99 |                                       |         |
| DSA     | 1                | 19    | 2     | 1     | 4      | 19    | 4  | 49                                    | 40,8 %  |
|         | 2                | 0     | 0     | 0     | 0      | 2     | 0  | 2                                     | 1,7 %   |
|         | 3                | 0     | 0     | 0     | 0      | 0     | 0  | 0                                     | 0,0 %   |
|         | 4                | 0     | 2     | 0     | 0      | 3     | 2  | 7                                     | 5,8 %   |
|         | 5                | 11    | 2     | 2     | 0      | 40    | 2  | 57                                    | 47,5 %  |
|         | 99               | 1     | 0     | 0     | 0      | 4     | 0  | 5                                     | 4,2 %   |
|         | Summe            | 31    | 6     | 3     | 4      | 68    | 8  | 120                                   |         |
| Prozent | 25,8 %           | 5,0 % | 2,5 % | 3,3 % | 56,7 % | 6,7 % |    | 59 <sup>1</sup> (49,2 %) <sup>2</sup> |         |

Die grau hinterlegten Kästchen zeigen Übereinstimmungen hinsichtlich der Bewertung zwischen DSA und Bewerter 2 der MIPs.

<sup>1</sup> Gesamtanzahl der übereinstimmend bewerteten Gefäße über alle Stenosegrade

<sup>2</sup> Übereinstimmung über alle Stenosegrade bezogen auf die Anzahl der bewerteten Gefäße

Bewerter 2 diagnostizierte in 56,7 % der Fälle ein verschlossenes Gefäß. Hier fanden sich auch die meisten Übereinstimmungen mit der DSA (absolut: 40). Dies entspricht einem Anteil von 58,8 % an den MIPs und einem Anteil von 70,2 % an den DSA Bildern, die als verschlossen bewertet wurden. In 25,8 % der Fälle beurteilte Bewerter 2 ein Gefäß als stenosefrei und damit deutlich seltener als anhand der DSA.

Insgesamt wurden im Fußbereich hauptsächlich die Diagnosen stenosefreies Gefäß oder verschlossenes Gefäß gestellt. Übereinstimmende Bewertungen der MIPs mit der DSA fanden sich bei beiden Bewertern in etwa 50 % der Fälle. Anhand der MIPs wurden deutlich mehr Gefäße als verschlossen oder hochgradig stenosiert beurteilt, während mittels der DSA ein wesentlicher Anteil der Gefäße als stenosefrei bewertet wurde.

### 3.1.1.3 Zusammenfassung für die Häufigkeit der Stenosegrade

Zusammengenommen zeigte sich, dass anhand der MIPs häufiger die Diagnose krank gestellt wurde als anhand der DSA. Mit Ausnahme des Fußbereichs stellten die beiden Bewerter der MIPs ähnlich häufig die Diagnose gesund bzw. krank.

Bei der Beurteilung der Stenosegrade schwankte die Übereinstimmung zwischen DSA und MIPs zwischen etwa 30 % und 55 % der Bewertungen; die meisten fanden sich im Bereich des Oberschenkels. Anhand der detaillierten Aufteilung wurde deutlich, dass anhand der MIPs die Stenosegrade häufig höher eingeschätzt wurden als mittels der DSA.

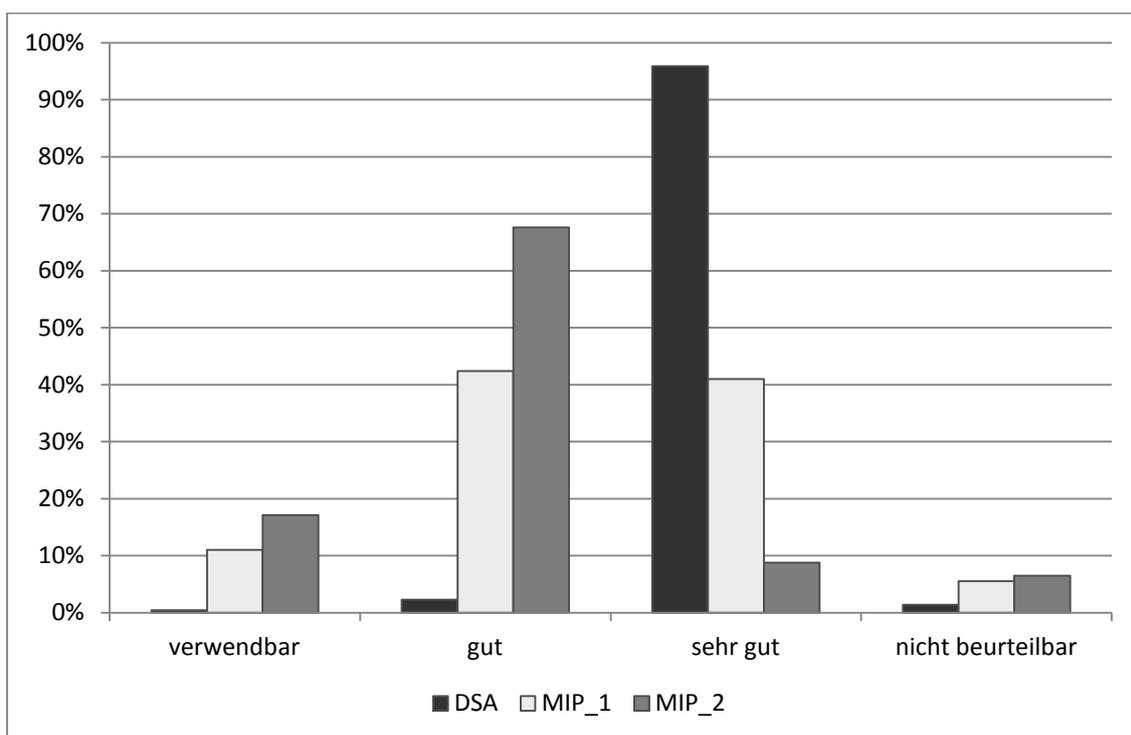
### 3.1.2 Beurteilung der Qualität

Die Beurteilung der Qualität der Bilder erfolgte nur anhand von Regionen, so dass pro Bein 3 Bewertungen abgegeben wurden: Becken, Oberschenkel und Unterschenkel mit Fuß. Zusätzlich wurde noch die infrarenale Aorta beurteilt, insgesamt ergaben sich somit inklusive Aorta 693 Regionen pro Beurteiler (siehe Tabelle 6.2 im Anhang).

Die Bilder wurden in Bezug auf ihre Qualität in „sehr gut“, „gut“, „verwendbar“ und „nicht beurteilbar“ kategorisiert. Zusätzlich konnte auch die Kategorie „nicht abgebildet“ verwendet werden.

#### 3.1.2.1 Häufigkeit der Qualitätskategorien für das Gefäßkollektiv

Es wurden 218 (DSA) bzw. 217 (MIP\_1) und 216 (MIP\_2) Regionen ausgewertet. Die DSA-Bilder wurden fast alle (209 Regionen) mit dem Merkmal sehr gut bewertet.

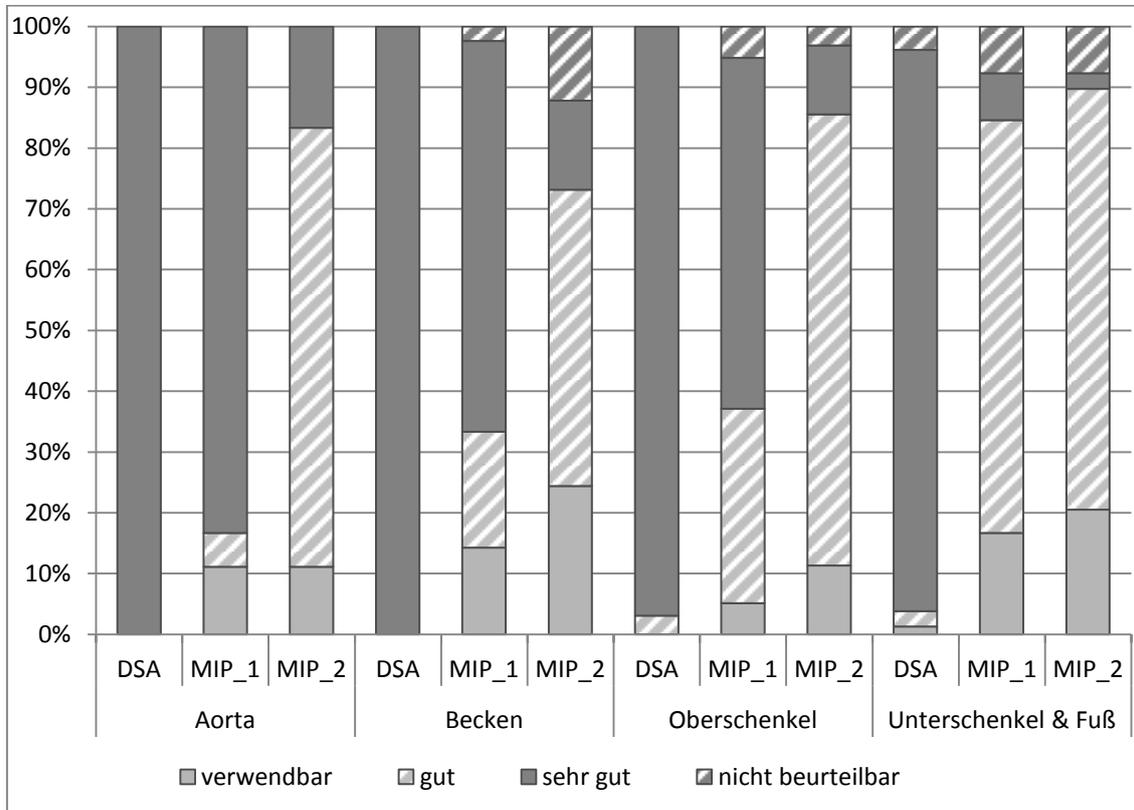


**Abbildung 3.3: Verteilung der Qualitätsbewertungen über das Gefäßkollektiv.** Es erfolgte die Einordnung der Qualität in „sehr gut“, „gut“ und „verwendbar“.

Dies stellte sich bei den MIPs anders da. Bewerter 1 beurteilte die Qualität von etwa 40 % der Regionen als sehr gut (89 Regionen) oder gut (92 Regionen). Bewerter 2 stufte die Qualität in 146 Fällen (etwa 68 %) als gut ein, gefolgt von verwendbar (etwa 17 %) und nicht beurteilbar. Siehe Abbildung 3.3.

### 3.1.2.2 Häufigkeit der Qualitätskategorien für die einzelnen Regionen

In Abbildung 3.4 findet sich eine Darstellung der Verteilung der Qualitätsbewertungen aufgeteilt auf die vier Regionen.



**Abbildung 3.4: Verteilung der Qualitätsbeurteilungen pro Region.** Es erfolgte die Einordnung der Qualität in sehr gut, gut und verwendbar und eine Aufteilung auf die vier Regionen Aorta, Becken, Oberschenkel, Unterschenkel inklusive Fuß.

Im Bereich der **Aorta** wurden 18 Gefäßabbildungen beurteilt. In der DSA erhielten alle die Bewertung sehr gute Qualität. Bewerter 1 beurteilte 83 % der MIP-Gefäßabbildungen als sehr gut, 6 % für gut und 11 % für noch verwendbar. Bewerter 2 erachtete 72 % der Gefäßabbildungen als gut und 17 % für sehr gut. Bei 11 % (2 Gefäße) bewertete er die Qualität als verwendbar.

Im **Beckenbereich** wurden 42 bzw. 41 Regionen pro Bewerter beurteilt. Alle DSA-Bilder für diesen Bereich waren von sehr guter Qualität. Bewerter 1 bewertete die Qualität der MIPs in 64 % der Fälle als sehr gut. Als gut oder verwendbar stufte er sie in 19 % bzw. 14 % der Fälle ein. Bewerter 2 beurteilte die Qualität der Abbildungen in 49 % der Fälle als „gut“ und in 24 % der Fälle als verwendbar. Siehe auch Abbildung 3.4.

Im **Oberschenkelbereich** wurden 98 bzw. 97 Regionen beurteilt.

Bei der DSA wurden 97 % der Gefäßabbildungen hinsichtlich ihrer Qualität als sehr gut bewertet. 3 % der Abbildungen bekam das Prädikat gut. Bewerter 1 der MIPs stufte bei 58 % der Abbildungen die Qualität als sehr gut, bei 32 % hielt er sie für gut. Bewerter 2 der MIPs beurteilte die Qualität in 74 % der Abbildungen als gut, die Bewertung verwendbar und sehr gut vergab er jeweils in 11 % der Fälle. Siehe Abbildung 3.4.

In der letzten Region, die den **Unterschenkel und Fuß** zusammen umfasste, wurden pro Beurteiler jeweils 78 Regionen bewertet.

Die DSA-Bilder waren in 92 % von sehr guter Qualität, während die MIP-Bilder von beiden Bewertern zu 68 % bzw. 69 % mit gut beurteilt wurden. In 17 % (Bewerter 1) bzw. 21 % (Bewerter 2) der Fälle wurde die Qualität als verwendbar bewertet. Siehe Abbildung 3.4.

### **3.1.2.3 Zusammenfassung für die Häufigkeit der Qualitätskategorien**

Insgesamt zeigte sich bei der Qualitätsbeurteilung ein deutlicher Unterschied nicht nur zwischen DSA und MIPs, sondern auch zwischen Beurteiler 1 und Beurteiler 2, die jeweils dieselben Bilder bewerteten. Mit Ausnahme des Fußbereichs vergab Beurteiler 2 durchweg schlechtere „Noten“ für die Qualität als Beurteiler 1.

### **3.1.3 Beurteilung der Artefakte**

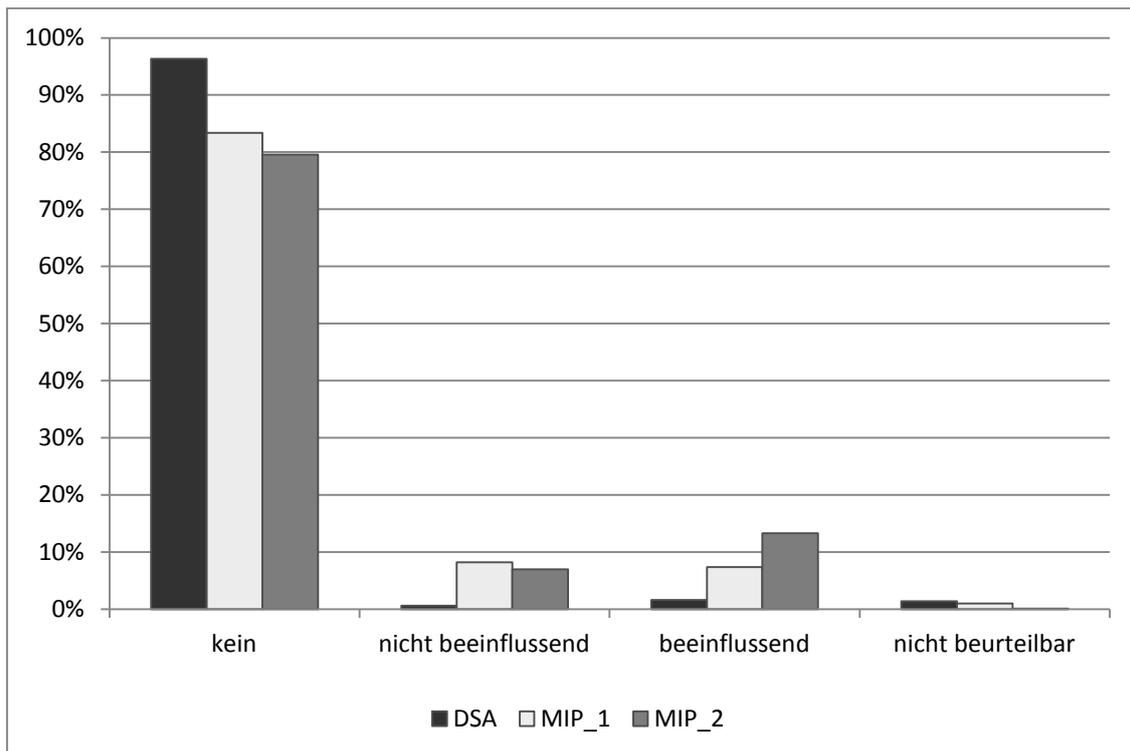
Bei der Beurteilung der Artefakte erfolgte die Bewertung anhand der einzelnen Gefäße.

Zunächst wurde entschieden, ob bei der Gefäßabbildung ein Artefakt vorlag. War dies der Fall, so wurde beurteilt, ob das Artefakt die Bewertung der Abbildung beeinflusste oder nicht. Weiterhin wurde die Ursache für das Artefakt in eine der fünf Kategorien eingeordnet (siehe Kapitel 2.4.1).

Es wurden insgesamt 2871 Gefäße bewertet. Eine genaue Übersicht ist im Anhang (Tabelle 6.3 und 6.4) dargestellt.

#### **3.1.3.1 Häufigkeit der Artefakte für das Gefäßkollektiv**

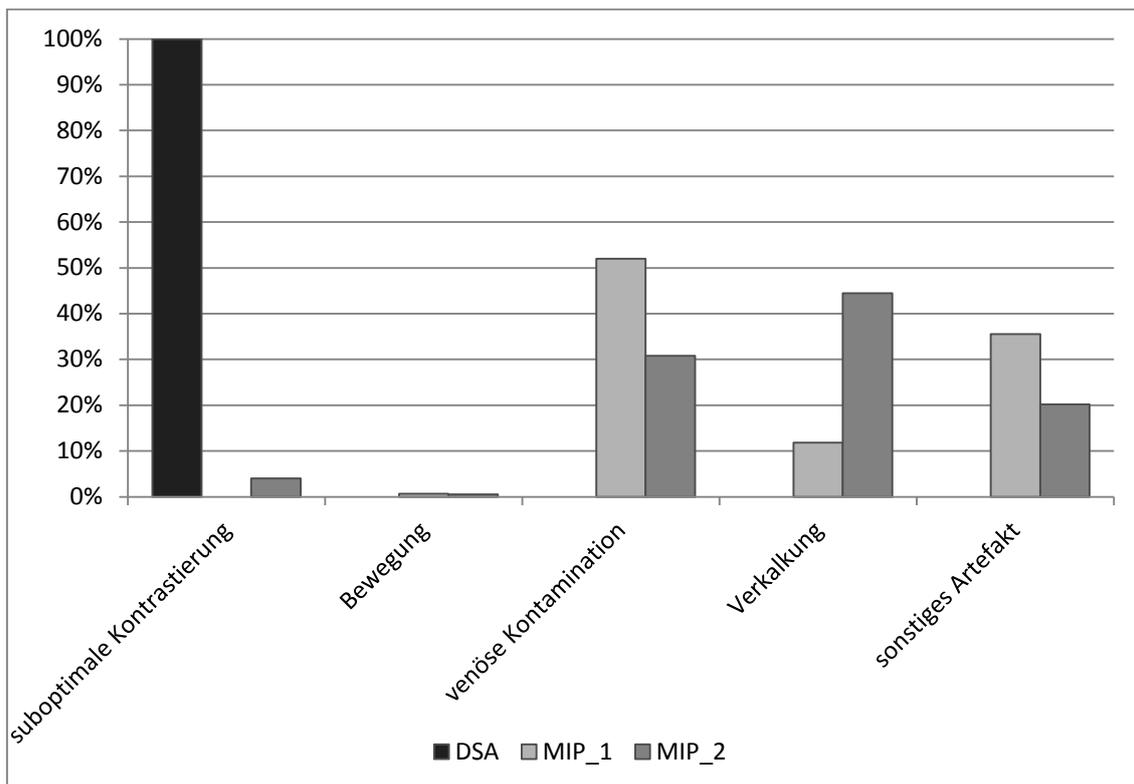
Für die weitere Auswertung blieben 980 (DSA) bzw. 974 (MIP\_1) und 975 (MIP\_2) Gefäße übrig. In 96 % der Fälle wurden die DSA-Darstellungen als artefaktfrei beurteilt.



**Abbildung 3.5: Verteilung der Artefakte über das Gefäßkollektiv.** Beantwortung der Frage nach der Existenz eines Artefaktes.

83 % (absolut 812) bzw. 80 % (absolut 776) der MIP-Abbildungen wurden ebenfalls als artefaktfrei bewertet. Beurteiler 1 sah bei 15 % der Abbildungen (absolut 152) Artefakte, in etwa der Hälfte der Fälle (insg. 8 % der Gesamtzahl) beurteilte er es als nicht beeinflussend für die weitere Beurteilung. Beurteiler 2 fand in 20 % der Abbildungen (absolut 198) Artefakte, von denen fast zwei Drittel (insg. 13 % der Gesamtzahl) die weitere Beurteilung beeinflusste. Siehe Abbildung 3.5.

Bei der Einordnung der Artefaktursache in die verschiedenen Kategorien ergab sich folgendes Bild: Über alle Gefäße verteilt fand sich in den DSA-Abbildungen als einzige Artefaktursache eine suboptimale Kontrastierung. Die MIP-Abbildungen wurden durch verschiedene Artefaktarten beeinflusst. Bewerter 1 sah in den MIPs in 49 % der Bilder eine venöse Kontamination, in 33% ein sonstiges Artefakt und in 11 % eine Verkalkung. Bewerter 2 hielt in 44 % der Artefakte eine Verkalkung, in 31 % eine venöse Kontamination und in 20 % ein sonstiges Artefakt für die Ursache. Das Artefakt Bewegung wählten beide Bewerter der MIPs einmal. Siehe Abbildung 3.6 und Tabelle 3.14.



**Abbildung 3.6: Verteilung der Artefaktursachen über das Gefäßkollektiv.** Beantwortung der Frage nach der Ursache des Artefaktes, Einteilung in die fünf Kategorien.

**Tabelle 3.11: Verteilung der Artefaktursachen über das Gefäßkollektiv**

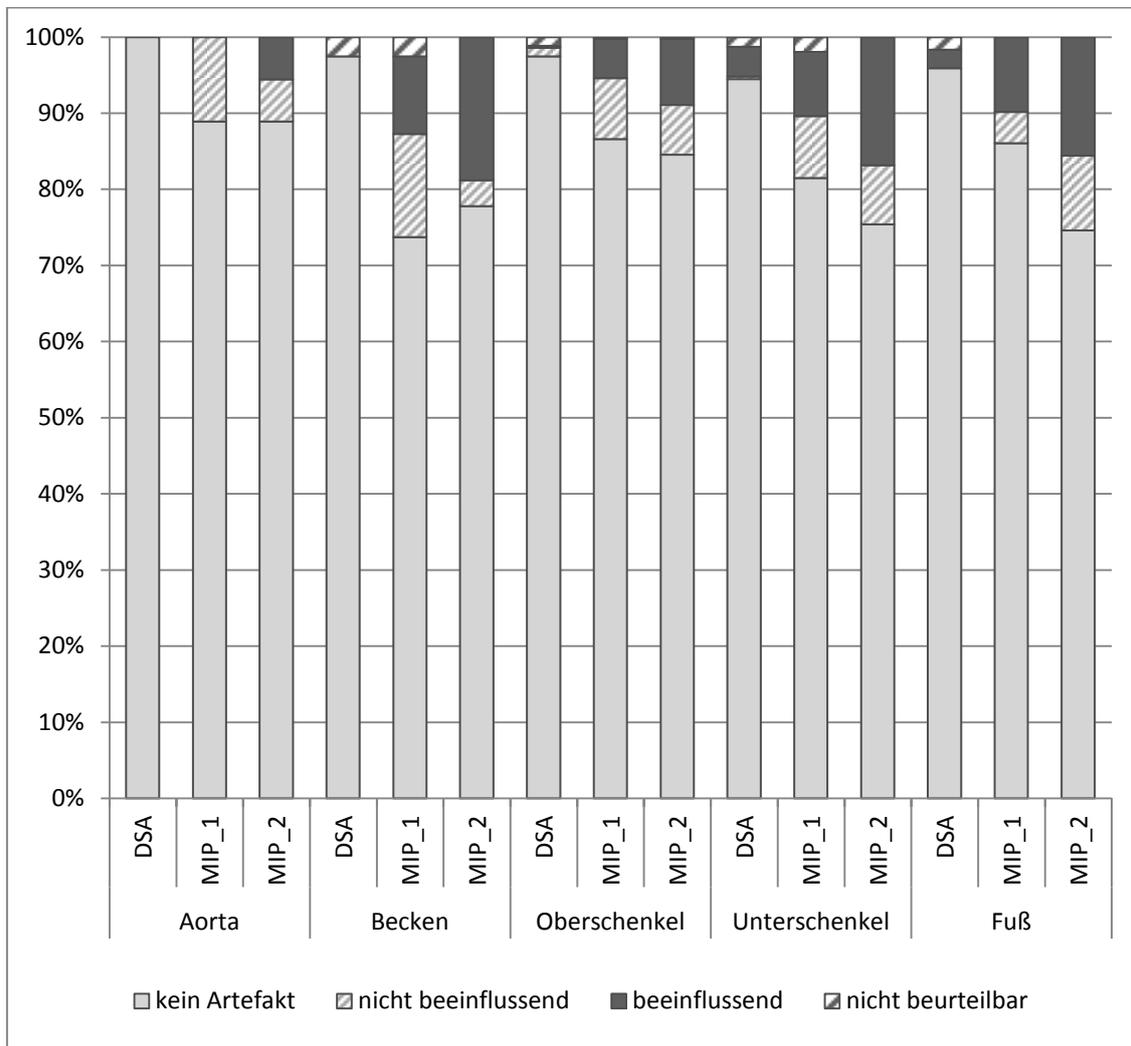
| Artefakt                   | absolute Häufigkeiten |       |                    |     |
|----------------------------|-----------------------|-------|--------------------|-----|
|                            | DSA                   | MIP_1 | MIP_2 <sup>2</sup> |     |
| suboptimale Kontrastierung | 22                    | 0     | 8                  | 0   |
| Bewegung                   | 0                     | 1     | 1                  | 0   |
| venöse Kontamination       | 0                     | 79    | 61                 | 6   |
| Verkalkung                 | 0                     | 18    | 88                 | 0   |
| sonstiges                  | 0                     | 54    | 40                 | 0   |
| nicht beurteilbar          | 14                    | 10    | 1                  | 1   |
| kein Artefakt <sup>1</sup> | 944                   | 812   | 776                | 968 |
| Summe                      | 980                   | 974   | 975                |     |

<sup>1</sup>Ein Großteil der Bewertungen entfiel auf kein Artefakt. Dies wird der Vollständigkeit in der Tabelle aufgeführt, in den Abbildungen und im Text nicht weiter berücksichtigt.

<sup>2</sup>Bewerter 2 gab in sechs Fällen zwei Artefakte an. Dies findet sich in der Tabelle und in den entsprechenden Regionen berücksichtigt

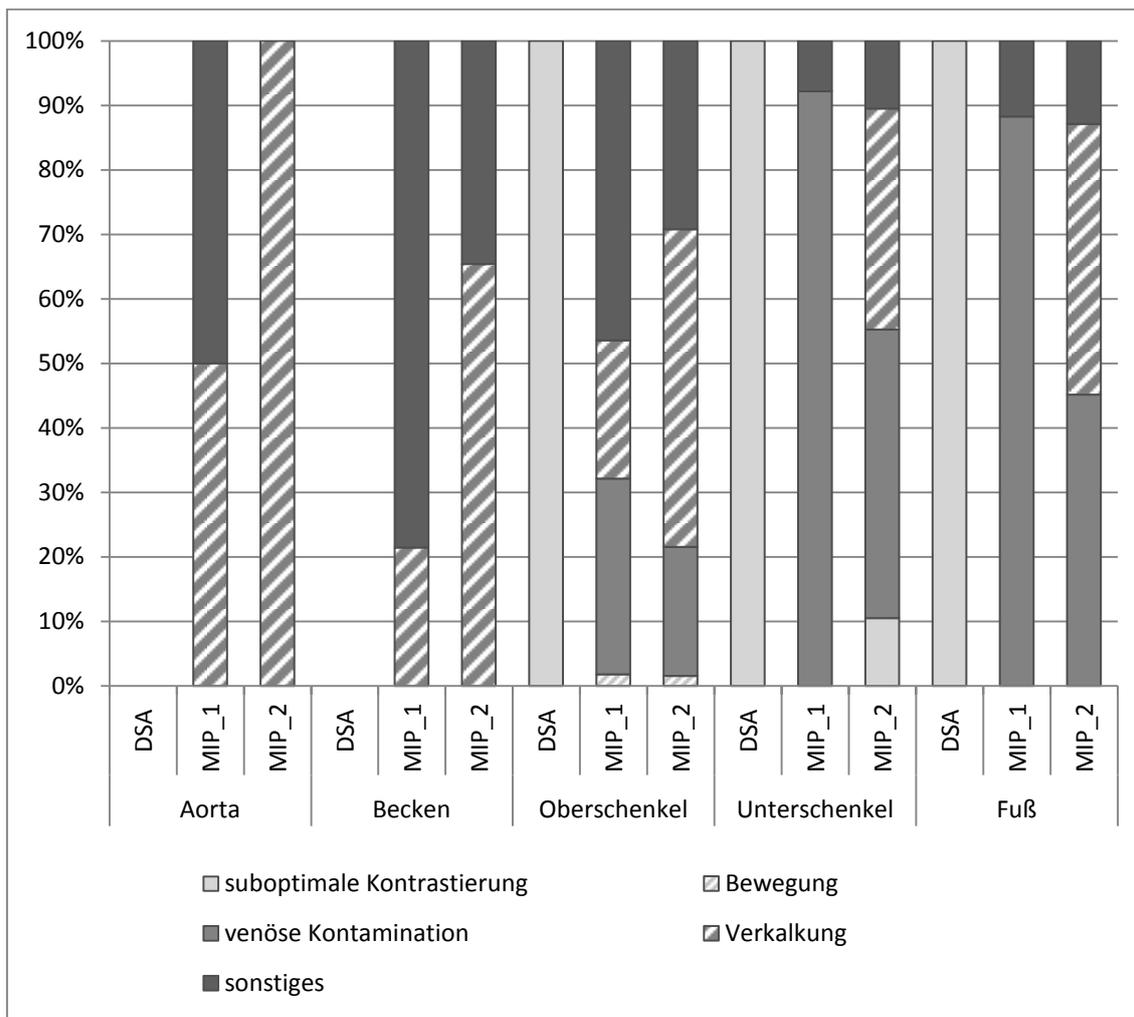
### 3.1.3.2 Häufigkeit der Artefakte für die einzelnen Regionen

In Abbildungen 3.7 und 3.8 sind die Häufigkeiten der Artefakte aufgeteilt auf die fünf Regionen dargestellt.



**Abbildung 3.7: Verteilung der Artefakte aufgeteilt auf die Regionen.** Beantwortung der Frage nach dem Vorliegen eines Artefaktes.

Im Bereich der **Aorta** blieben 18 Bilder zur Beurteilung übrig. Die DSA-Bilder enthielten kein Artefakt. Beurteiler 1 sah in den MIPs zwei beeinflussende Artefakte, von denen eines durch Verkalkung verursacht wurde. Das andere fiel in die Kategorie sonstiges Artefakt. Beurteiler 2 fielen in den MIPs zwei Artefakte aufgrund von Verkalkung auf. Einmal beurteilte er es als nicht beeinflussendes und einmal als beeinflussendes Artefakt. Siehe Abbildung 3.7 und 3.8.



**Abbildung 3.8: Verteilung der Artefaktursachen aufgeteilt auf die Regionen.** Beantwortung der Frage nach der Ursache des Artefaktes, Einteilung in die fünf Kategorien.

Im Bereich des **Beckens** wurden 118 (DSA, MIP\_1) bzw. 117 (MIP\_2) Gefäße bewertet. Die DSA-Bilder wiesen keine Artefakte auf. Drei Bilder waren nicht beurteilbar.

Die MIP-Bilder waren größtenteils (74 % bzw. 78 %) artefaktfrei. Beurteiler 1 sah in insgesamt 24 % (absolut 28) der Abbildungen Artefakte; in 14 % der Abbildungen beurteilte er sie als nicht beeinflussend, in 10 % als beeinflussend. 71 % der Artefakte ordnete er in die Kategorie sonstiges ein, die restlichen in die Kategorie Verkalkung.

Beurteiler 2 fielen in insgesamt 22 % (absolut 26) der Bilder Artefakte auf, in 3 % waren sie nicht beeinflussende Artefakte, in 19 % beeinflussende. 65 % der Artefakte führte er auf eine Verkalkung zurück, die restlichen auf sonstige Ursachen. Siehe Abbildung 3.7 und 3.8.

Im Bereich des **Oberschenkels** wurden von dem Bewerter der DSA 431 Gefäße beurteilt, bei den MIPs waren es 426 bzw. 427 dargestellte Gefäße.

97 % der DSA-Bilder (absolut 420) wiesen kein Artefakt auf. In 1 % der Bilder fand sich ein nicht beeinflussendes Artefakt, das durch eine suboptimale Kontrastierung verursacht wurde.

Auch bei den MIPs war der Großteil der Bilder artefaktfrei (87 % bzw. 85 %). Beurteiler 1 sah in 8 % der Abbildungen (absolut 34) nicht beeinflussende und in 5 % (absolut 22) beeinflussende Artefakte. 46 % der Artefakte fielen in die Kategorie sonstiges Artefakt, 30 % waren eine venöse Kontamination und 21 % wurden durch Verkalkung verursacht. Eine Abbildung zeigte ein Bewegungsartefakt

Bewerter 2 fielen in 7 % der Bilder (absolut 28) nicht beeinflussende und in 9 % (absolut 37) beeinflussende Artefakte auf. 48 % der Artefakte beruhten auf Verkalkung, 29 % beurteilte er als sonstiges Artefakt und 20 % als venöse Kontamination. Wie Beurteiler 1 sah er eine Abbildung, die ein Bewegungsartefakt aufwies. Siehe Abbildung 3.7 und 3.8.

Im Bereich des **Unterschenkels** wurden 309 (DSA) bzw. 308 (MIPs) Gefäße bewertet.

In der DSA waren 94 % aller Darstellungen artefaktfrei. Von 13 Bildern mit Artefakten wiesen 12 (insg. 4 %) beeinflussende Artefakte auf. Alle waren durch eine suboptimale Kontrastierung verursacht.

Beurteiler 1 bewertete 81 % der MIP-Bilder als artefaktfrei. Bei 16 % der Bilder (absolut 51) sah er ein Artefakt, 25 davon (insg. 8 %) waren nicht beeinflussend. 82 % der Artefakte wertete er als eine venöse Kontamination, die restlichen als sonstiges Artefakt.

Beurteiler 2 bewertete 75 % der Bilder als artefaktfrei. Bei 17 % der Bilder (absolut 52) fielen ihm beeinflussende, bei 8 % (absolut 24) nicht beeinflussende Artefakte auf. In 45 % der Fälle wertete er die Artefakte als durch venöse Kontamination verursacht. In 34% der Bilder beeinträchtigte Verkalkung die Bewertung. Bei jeweils 11 % der Bilder lagen eine suboptimale Kontrastierung oder ein sonstiges Artefakt vor. Weiterhin notierte Bewerter 2 im Bereich des Unterschenkels viermal ein zweites Artefakt, dies war in allen Fällen eine suboptimale Kontrastierung. Siehe Abbildung 3.7 und 3.8.

Im Bereich des **Fußes** wurden 122 Bilder bewertet. Bei der DSA wies der überwiegende Anteil (96 %) der Bilder kein Artefakt auf. Lediglich in 3 Fällen (2 %) lag ein beeinflussendes Artefakt vor, das durch suboptimale Kontrastierung verursacht war.

In den MIP-Bildern lagen häufiger Artefakte vor. Beurteiler 1 sah in 14 % der Bilder (absolut 17) Artefakte, beeinflussend waren sie in insgesamt 10 % der Fälle. 88 % der Artefakte wurde durch venöse Kontamination verursacht.

Beurteiler 2 bewertete 26 % der Abbildungen (absolut 31) mit einem Artefakt, bei insg. 16 % der Abbildungen war die Beurteilung durch Artefakte beeinflusst. Bei 45 % der Artefakte lag eine venöse Kontamination und bei 42 % eine Verkalkung vor.

Außerdem gab er in zwei Fällen ein 2. Artefakt an, welches beide Male eine venöse Kontamination war.

### **3.1.3.3 Zusammenfassung für die Häufigkeit der Artefakte**

Insgesamt wiesen die DSA-Bilder weniger Artefakte auf als die MIP-Bilder. Bewerter 2 sah bei den MIPs häufiger beeinflussende Artefakte als Bewerter 1, während Bewerter 1 die Mehrzahl der vorhandenen Artefakte (Ausnahme im Fußbereich) als nicht beeinflussend wertete.

Bei den DSA Bildern war eine suboptimale Kontrastierung das einzig aufgetretene Artefakt. Die Bewerter der MIPs beurteilten die Artefaktursache häufig unterschiedlich. Bewerter 1 sah meistens venöse Kontamination und sonstige Artefakte, während Bewerter 2 eher eine Verkalkung oder eine venöse Kontamination für die Ursache hielt.

## **3.2 Diagnostische Güte der Computertomographie – Vergleich zwischen MIPs und DSA**

Um die Qualität der CTA-MIPs im Vergleich zu dem Referenzstandard DSA in der Darstellung von Stenosen beurteilen zu können, wurden verschiedene Marker für die diagnostische Güte berechnet. Diese umfassten Sensitivität, Spezifität, positiver prädiktiver Wert, negativer prädiktiver Wert, positiver Likelihood-Quotient und negativer Likelihood-Quotient.

Bei der Auswertung wurde die Aorta bei den kollektiven Berechnungen entfernt. Sie wurde einzeln berechnet und bei der Region- bzw. der Einzelgefäßdarstellung aufgeführt.

### 3.2.1 Berechnung der diagnostischen Güte bezogen auf eine Extremität (Hauptfragestellung)

Abhängig vom Grad der schlimmsten Stenose jedes Beins wurde das gesamte Bein als gesund (-) oder krank (+) bewertet. Dazu wurden zunächst die nicht dargestellten und nicht beurteilbaren Abschnitte in beiden Untersuchungen und die jeweiligen in der anderen Untersuchungstechnik korrespondierenden Abschnitte entfernt, so dass 111 bzw. 110 „Beine“ pro Bewerter übrig blieben.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgte jeweils in einer Vierfeldertafel, daraus wurden die weiteren Marker errechnet. (Siehe Tabelle 3.12)

**Tabelle 3.12: Vierfeldertafel und Übersicht über Ergebnisse für die Berechnung pro Bein**

|              | Bewerter 1 |       |        | Bewerter 2 |       |        |
|--------------|------------|-------|--------|------------|-------|--------|
|              | DSA +      | DSA - | Gesamt | DSA +      | DSA - | Gesamt |
| CTA +        | 99         | 5     | 104    | 93         | 7     | 100    |
| CTA -        | 0          | 7     | 7      | 5          | 5     | 10     |
| Gesamt       | 99         | 12    | 111    | 98         | 12    | 110    |
| Sensitivität | 100 %      |       |        | 95 %       |       |        |
| Spezifität   | 58 %       |       |        | 42 %       |       |        |
| PPW          | 95 %       |       |        | 93 %       |       |        |
| NPW          | 100 %      |       |        | 50 %       |       |        |
| pos LR       | 2,4        |       |        | 1,63       |       |        |
| neg LR       | 0          |       |        | 0,12       |       |        |

Darstellung der Anzahl der verschiedenen Bewertungen krank (+) oder gesund (-) für jedes Verfahren in einer Vierfeldertafel. Übersicht über die Ergebnisse der Berechnung der diagnostischen Marker.

PPW – positiver prädiktiver Wert

pos LR – positiver Likelihood-Quotient

NPW – negativer prädiktiver Wert

neg LR – negativer Likelihood-Quotient

Bei der Sensitivität ergaben sich bei beiden Bewertern mit jeweils 100 % und 95 % hohe Werte. Dies bedeutet, dass die Methode sicher die Erkrankung erfasst, was für ein Screening-Verfahren eine wesentliche Eigenschaft bedeutet.

Bei beiden Bewertern errechnete sich mit 58 %, bzw. 42 % eine niedrige Spezifität. Dies bedeutet, dass es viele falsch positive Ergebnisse gab und somit ca. die Hälfte der Gesunden als krank eingestuft wurde.

Zu beachten ist bei beiden Werten, jedoch insbesondere bei der Spezifität, dass von den 110 bzw. 111 Fällen nur 12 gesund waren und somit das Verhältnis krank zu gesund ungleichmäßig ausfiel. Dies liegt an dem Kollektiv der untersuchten Probanden, die Patienten und damit nicht repräsentativ für die Allgemeinbevölkerung waren.

Der positive prädiktive Wert fiel mit 95 % und 93 % hoch aus. Dies bedeutet, dass auf dieses Patientengut bezogen die Wahrscheinlichkeit hoch war, dass eine Stenose vorlag, wenn sie durch die MIPs diagnostiziert wurde. Hierbei kommt die hohe Prävalenz der Erkrankung in unserem Patientengut zum Tragen, so dass anhand dieses Wertes keine Aussage über ein anderes Probandenkollektiv oder die Allgemeinbevölkerung möglich ist.

Beim negativen prädiktiven Wert hingegen ergaben sich sehr unterschiedliche Ergebnisse. Bei Bewerter 1 lag er bei 100 %, was bedeutet, dass in diesem Fall für den Patienten die Wahrscheinlichkeit bei einem negativen Ergebnis in den MIP sehr hoch war, auch tatsächlich gesund zu sein. Bewerter 2 erreichte hier den Wert von 50 %, d.h. in der Hälfte der Fälle eines negativen MIP-Ergebnisses war der Patient gleichwohl krank.

Der positive Likelihood-Quotient (LR+) fiel bei beiden Bewertern niedrig aus. Bei Bewerter 1 mit dem Wert 2,4 ergab er eine schwache diagnostische Evidenz, bei Bewerter 2 mit 1,63 eine kaum relevante diagnostische Evidenz (in Anlehnung an Jaeschke, Guyatt und Sackett (Jaeschke et al., 1994)).

Der negative Likelihood-Quotient (LR-) hingegen zeigte bei Bewerter 1 mit dem Wert 0 eine überzeugende diagnostische Evidenz, bei Bewerter 2 mit 0,12 eine hohe diagnostische Evidenz.

### **3.2.2 Erweiterte Berechnung von Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit**

Weiterhin wurden mit Hilfe von Vier-Felder-Tafeln die Marker Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit für alle Gefäße insgesamt, für die einzelnen Regionen und für die Gefäße einzeln berechnet. Dabei wurden die Gefäße, die in der DSA nicht abgebildet oder nicht bewertbar waren, auch bei den MIPs entfernt.

Mit den dann noch verbleibenden Gefäßen, die in den MIPs nicht abgebildet oder bewertbar waren, wurden, wie bereits beschrieben, zwei verschiedene Berechnungsarten gewählt:

In der Version 1 wurden diese Gefäße sowohl in den MIPs als auch die Entsprechungen in der DSA entfernt.

Bei Version 2 wurden diese Gefäße im Sinne einer „*intention-to-treat*“-Analyse so behandelt, als wäre eine von der DSA abweichende Beurteilung erfolgt. Wurde das

entsprechende Gefäß in der DSA als gesund bewertet, so erfolgte für die MIPs nun die Zuordnung krank und entsprechend umgekehrt. Durch diese Annahme eines ungünstigsten Falls soll eine untere Grenze für Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit abgeschätzt werden.

### 3.2.2.1 Berechnung für das Gefäßkollektiv

Bei der kollektiven Betrachtung aller Gefäße wurde die Aorta nicht berücksichtigt. Nach dem oben beschriebenen Prozedere flossen bei Version 1 931 (Bewerter 1) bzw. 894 (Bewerter 2) Gefäße in die Berechnung ein, bei Version 2 waren dies 954 bei beiden Bewertern. Siehe Tabellen 3.13 und 3.14:

**Tabelle 3.13: Berechnung der diagnostischen Güte bezogen auf das Gefäßkollektiv (Version 1)**

|              | Bewerter 1 |       |        | Bewerter 2 |       |        |
|--------------|------------|-------|--------|------------|-------|--------|
|              | DSA +      | DSA - | Gesamt | DSA +      | DSA - | Gesamt |
| CTA +        | 296        | 226   | 522    | 272        | 198   | 470    |
| CTA -        | 28         | 381   | 409    | 41         | 383   | 424    |
| Gesamt       | 324        | 607   | 931    | 313        | 581   | 894    |
| Sensitivität | 91 %       |       |        | 87 %       |       |        |
| Spezifität   | 63 %       |       |        | 66 %       |       |        |
| Genauigkeit  | 73 %       |       |        | 73 %       |       |        |

Darstellung der Anzahl der verschiedenen Bewertungen krank (+) oder gesund (-) für jedes Verfahren in einer Vierfeldertafel. Übersicht über die Ergebnisse der Berechnung der diagnostischen Marker.

Bei Version 1 ergaben sich für Bewerter 1 eine Sensitivität von 91 %, eine Spezifität von 63 % und eine Genauigkeit von 73 %. Bewerter 2 bewertete mit der gleichen Genauigkeit bei etwas niedrigerer Sensitivität (87 %) und höherer Spezifität (66 %).

**Tabelle 3.14: Berechnung der diagnostischen Güte bezogen auf das Gefäßkollektiv (Version 2)**

|              | Bewerter 1 |       |        | Bewerter 2 |       |        |
|--------------|------------|-------|--------|------------|-------|--------|
|              | DSA +      | DSA - | Gesamt | DSA +      | DSA - | Gesamt |
| CTA +        | 296        | 236   | 532    | 272        | 219   | 491    |
| CTA -        | 41         | 381   | 422    | 80         | 383   | 463    |
| Gesamt       | 337        | 617   | 954    | 352        | 602   | 954    |
| Sensitivität | 88 %       |       |        | 77 %       |       |        |
| Spezifität   | 62 %       |       |        | 64 %       |       |        |
| Genauigkeit  | 71 %       |       |        | 69 %       |       |        |

Darstellung der Anzahl der verschiedenen Bewertungen krank (+) oder gesund (-) für jedes Verfahren in einer Vierfeldertafel. Übersicht über die Ergebnisse der Berechnung der diagnostischen Marker.

Bei Version 2 reduzierten sich bei beiden Bewertern alle Werte. Der größte Unterschied mit 10 % fand sich bei Bewerter 2 in Bezug auf die Sensitivität, der kleinste bei Bewerter 1 bei der Spezifität (1 %).

### 3.2.2.2 Berechnung pro Region

Zur weiteren Einschätzung erfolgte eine Berechnung der Marker für die einzelnen Regionen (Becken, Oberschenkel, Unterschenkel, Fuß). Die Aorta wurde hierbei weggelassen, da diese bei den einzelnen Gefäßen aufgeführt wird. Die genauen Werte sind in den Tabellen 3.15 und 3.16 aufgeführt. In der vierten Spalte ist jeweils die absolute Anzahl der Gefäße eingetragen, um eine Bezugsgröße für die Prozentangaben bereitzustellen.

**Tabelle 3.15: Berechnung der diagnostischen Güte bezogen auf die einzelnen Regionen (Version 1)**

|        | Bewerter 1 |      |      |     | Bewerter 2 |      |      |     |
|--------|------------|------|------|-----|------------|------|------|-----|
|        | Sens       | Spez | GK   | AG  | Sens       | Spez | GK   | AG  |
| Becken | 69 %       | 64 % | 65 % | 113 | 75 %       | 63 % | 66 % | 102 |
| OS     | 82 %       | 82 % | 82 % | 414 | 83 %       | 80 % | 81 % | 407 |
| US     | 98 %       | 24 % | 67 % | 288 | 94 %       | 34 % | 69 % | 278 |
| Fuß    | 94 %       | 19 % | 60 % | 116 | 75 %       | 45 % | 62 % | 107 |

Darstellung der Ergebnisse der Berechnung der diagnostischen Marker für jede Region.

Sens: Sensitivität

GK: Genauigkeit

OS: Oberschenkel

Spez: Spezifität

AG: Anzahl der Gefäße

US: Unterschenkel

Für Bewerter 1 berechnete sich im Unterschenkelbereich die höchste Sensitivität mit 98 %, auch im Fußbereich lag sie mit 94 % hoch. Allerdings fiel in beiden Regionen die Spezifität mit 24 % und 19 % niedrig aus. Ausgeglichenere zeigten sich die beiden anderen Regionen. Im Oberschenkelbereich lagen beide Werte bei 82 %, so dass hier eine Genauigkeit von ebenfalls 82 % vorlag, während sie sonst zwischen 60 % und 67 % variierte.

Bei Bewerter 2 zeigte sich eine ähnliche Verteilung: die höchste Sensitivität fand sich im Unterschenkel (94 %), dort jedoch auch die niedrigste Spezifität (34 %). Ein Unterschied fiel im Fußbereich auf, dort erzielte er eine deutlich niedrigere Sensitivität (75 %) als Bewerter 1, jedoch auch eine deutlich höhere Spezifität (45 %). Im Oberschenkelbereich errechnete sich die höchste Genauigkeit mit 81 %, dies spiegelt sich auch in den Werten für Sensitivität (83 %) und Spezifität (80 %) wieder.

**Tabelle 3.16: Berechnung der diagnostischen Güte bezogen auf die einzelnen Regionen (Version 2)**

|        | Bewerter 1 |      |      |     | Bewerter 2 |      |      |     |
|--------|------------|------|------|-----|------------|------|------|-----|
|        | Sens       | Spez | GK   | AG  | Sens       | Spez | GK   | AG  |
| Becken | 69 %       | 63 % | 64 % | 115 | 55 %       | 60 % | 58 % | 115 |
| OS     | 74 %       | 81 % | 80 % | 425 | 69 %       | 79 % | 77 % | 425 |
| US     | 94 %       | 24 % | 65 % | 297 | 89 %       | 32 % | 65 % | 297 |
| Fuß    | 94 %       | 19 % | 60 % | 117 | 69 %       | 40 % | 56 % | 117 |

Darstellung der Ergebnisse der Berechnung der diagnostischen Marker für jede Region.

Sens: Sensitivität

GK: Genauigkeit

OS: Oberschenkel

Spez: Spezifität

AG: Anzahl der Gefäße

US: Unterschenkel

In der Version 2 änderte sich bei Bewerter 1 nur die Sensitivität im Oberschenkelbereich deutlich, sie nahm um 8 % auf 74 % ab, die restlichen Werte blieben gleich oder reduzierten um bis zu 4 %.

Bei Bewerter 2 zeigten sich deutliche Unterschiede: alle Werte nahmen ab, der geringste Unterschied lag bei einem Prozentpunkt (Spezifität im Oberschenkel), die höchsten Abweichungen (20 %) fanden sich im Bereich der Sensitivität im Becken und Oberschenkelbereich.

### 3.2.2.3 Berechnung der einzelnen Gefäße

Zur Betrachtung der einzelnen Gefäße wurden die Marker Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit pro Gefäß berechnet. Eine Übersicht ist in den Tabellen 3.17 und 3.18 aufgeführt.

Für Bewerter 1 errechneten sich in den Gefäßen des Oberschenkels, Unterschenkels und Fußes (ab *A. femoralis communis* einschließlich distalwärts) die höchsten Werte im Bereich der Sensitivität mit Werten über 80 % mit Ausnahme der *A. profunda femoralis*. Dabei fanden sich bei der *A. femoralis communis*, der *Femoralisgabel*, der *A. dorsalis pedis*, der *A. tibialis profunda* und der *A. fibularis* die höchsten Werte mit 100 %. Die niedrigsten Werte traten bei der Aorta mit 0 %, die *A. profunda femoralis* mit 40 % und im Beckenbereich auf.

Bei der Spezifität berechnete sich für Bewerter 1 bei der *A. femoralis communis* der höchste Wert mit 100 %, gefolgt von der Aorta mit 88 %, der *Femoralisgabel* mit 86 % und der *A. profunda femoralis* mit 84 %. Im Fuß- und Unterschenkelbereich fanden sich die niedrigsten Ergebnisse zwischen 11 % und 23 %. Die restlichen Ergebnisse wiesen eine weite Streuung mit Werten zwischen 38 % und 78 % auf.

Tabelle 3.17: Berechnung der diagnostischen Güte bezogen auf die einzelnen Gefäße (Version 1)

|     | Bewerter 1 |       |      |    | Bewerter 2 |       |      |    |
|-----|------------|-------|------|----|------------|-------|------|----|
|     | Sens       | Spez  | GK   | AG | Sens       | Spez  | GK   | AG |
| AA  | 0 %        | 88 %  | 83 % | 18 | 0 %        | 100 % | 94 % | 18 |
| AIC | 69 %       | 70 %  | 70 % | 40 | 75 %       | 76 %  | 76 % | 37 |
| AII | 75 %       | 52 %  | 54 % | 35 | 33 %       | 44 %  | 43 % | 30 |
| AIE | 67 %       | 72 %  | 71 % | 38 | 89 %       | 69 %  | 74 % | 35 |
| AFC | 100 %      | 100 % | 84 % | 84 | 100 %      | 86 %  | 86 % | 72 |
| FG  | 100 %      | 86 %  | 87 % | 83 | 100 %      | 87 %  | 88 % | 81 |
| APF | 40 %       | 84 %  | 81 % | 86 | 40 %       | 80 %  | 77 % | 84 |
| AFS | 83 %       | 76 %  | 79 % | 90 | 83 %       | 76 %  | 79 % | 89 |
| AP  | 88 %       | 78 %  | 80 % | 80 | 94 %       | 70 %  | 75 % | 81 |
| TTF | 89 %       | 38 %  | 57 % | 75 | 82 %       | 44 %  | 59 % | 71 |
| ATA | 98 %       | 13 %  | 70 % | 71 | 96 %       | 30 %  | 74 % | 69 |
| ADP | 100 %      | 23 %  | 57 % | 56 | 92 %       | 41 %  | 65 % | 52 |
| ATP | 100 %      | 11 %  | 89 % | 71 | 98 %       | 33 %  | 90 % | 69 |
| APP | 90 %       | 14 %  | 63 % | 60 | 63 %       | 50 %  | 58 % | 55 |
| AF  | 100 %      | 17 %  | 52 % | 71 | 97 %       | 25 %  | 55 % | 69 |

Darstellung der Ergebnisse der Berechnung der diagnostischen Marker für jedes Gefäß.

Sens: Sensitivität

GK: Genauigkeit

Spez: Spezifität

AG: Anzahl der Gefäße

AA: *Aorta abdominalis*

AP: *Arteria poplitea*

AIC: *Arteria iliaca communis*

TTF: *Truncus tibiofibularis*

AII: *Arteria iliaca interna*

ATA: *Arteria tibialis anterior*

AIE: *Arteria iliaca externa*

ADP: *Arteria dorsalis pedis*

AFC: *Arteria femoralis communis*

ATP: *Arteria tibialis posterior*

FG: Femoralisgabel

APP: *Arteria plantaris pedis*

APF: *Arteria profunda femoralis*

AF: *Arteria fibularis*

AFS: *Arteria femoralis superficialis*

Bei Bewerter 2 ergab sich ein inhomogenes Bild bezüglich der Sensitivität. Auch bei ihm errechnete sich ein Wert von 100 % bei der *A. femoralis communis* und der Femoralisgabel. Weitere hohe Sensitivitäten mit Werten über 90 % zeigten sich im Unterschenkel- und Fußbereich: *A. poplitea*, *A. tibialis anterior*, *A. dorsalis pedis*, *A. tibialis posterior* und der *A. fibularis*. Die niedrigsten Werte wurden bei der Aorta (0 %) und *A. iliaca interna* mit 33 % berechnet.

Bei der Spezifität ergab sich ein hoher Wert mit 100 % bei der Aorta, gefolgt von der Femoralisgabel (87 %) und der *A. femoralis communis* (86 %). Die restlichen Werte bewegten sich im Bereich von 25 % (*A. fibularis*) bis 80 % (*A. profunda femoralis*).

Tabelle 3.18: Berechnung der diagnostischen Güte bezogen auf die einzelnen Gefäße (Version 2)

|     | Bewerter 1 |      |      |    | Bewerter 2 |       |      |    |
|-----|------------|------|------|----|------------|-------|------|----|
|     | Sens       | Spez | GK   | AG | Sens       | Spez  | GK   | AG |
| AA  | 0 %        | 88 % | 83 % | 18 | 0 %        | 100 % | 94 % | 18 |
| AIC | 69 %       | 68 % | 68 % | 41 | 64 %       | 70 %  | 68 % | 41 |
| All | 75 %       | 52 % | 54 % | 35 | 14 %       | 43 %  | 37 % | 35 |
| AIE | 67 %       | 70 % | 69 % | 39 | 67 %       | 67 %  | 67 % | 39 |
| AFC | 50 %       | 84 % | 83 % | 76 | 20 %       | 86 %  | 82 % | 76 |
| FG  | 50 %       | 86 % | 85 % | 85 | 33 %       | 87 %  | 84 % | 85 |
| APF | 33 %       | 84 % | 80 % | 87 | 25 %       | 80 %  | 75 % | 87 |
| AFS | 81 %       | 71 % | 76 % | 94 | 80 %       | 70 %  | 74 % | 94 |
| AP  | 79 %       | 77 % | 77 % | 83 | 85 %       | 70 %  | 73 % | 83 |
| TTF | 86 %       | 38 % | 56 % | 77 | 70 %       | 43 %  | 55 % | 77 |
| ATA | 94 %       | 13 % | 68 % | 74 | 92 %       | 27 %  | 69 % | 74 |
| ADP | 100 %      | 22 % | 56 % | 57 | 79 %       | 39 %  | 60 % | 57 |
| ATP | 98 %       | 10 % | 86 % | 73 | 97 %       | 25 %  | 85 % | 73 |
| APP | 90 %       | 14 % | 63 % | 60 | 61 %       | 42 %  | 53 % | 60 |
| AF  | 94 %       | 17 % | 51 % | 73 | 88 %       | 24 %  | 52 % | 73 |

Darstellung der Ergebnisse der Berechnung der diagnostischen Marker für jedes Gefäß.

Sens: Sensitivität

GK: Genauigkeit

Spez: Spezifität

AG: Anzahl der Gefäße

AA: *Aorta abdominalis*

AP: *Arteria poplitea*

AIC: *Arteria iliaca communis*

TTF: *Truncus tibiofibularis*

All: *Arteria iliaca interna*

ATA: *Arteria tibialis anterior*

AIE: *Arteria iliaca externa*

ADP: *Arteria dorsalis pedis*

AFC: *Arteria femoralis communis*

ATP: *Arteria tibialis posterior*

FG: Femoralisgabel

APP: *Arteria plantaris pedis*

APF: *Arteria profunda femoralis*

AF: *Arteria fibularis*

AFS: *Arteria femoralis superficialis*

Der Vergleich der Version 2 zu Version 1 zeigte für Bewerter 1 eine Veränderung der Werte bei mehr als der Hälfte der Gefäße. Die größten Unterschiede fanden sich bei der Sensitivität in der *A. femoralis communis* und Femoralisgabel mit einer Reduktion von 100 % auf 50 %. Auch bei der *A. poplitea* (9 %) und der *A. profunda femoralis* (7 %) zeigten sich noch deutliche Unterschiede. Bei der Spezifität ergab sich lediglich eine deutliche Abnahme von 100 % auf 84 % bei der *A. femoralis communis*. Die restlichen Unterschiede bewegten sich bei beiden Werten zwischen 2 % und 6 %.

Bei Bewerter 2 nahmen insbesondere bei der Sensitivität einige der Werte sehr deutlich ab. Bei der *A. femoralis communis* fiel der Wert von 100 % auf 20 %, auch sonst waren Unterschiede im zweistelligen Bereich zu finden. Die geringsten Veränderungen ergaben sich bei der Aorta (0 %), der *A. tibialis posterior* (1 %), der *A. plantaris pedis* (2 %), der *A. femoralis communis* (3 %) und der *A. tibialis anterior* (4 %).

Bei der Spezifität fielen die Unterschiede weniger deutlich aus. Die größten Abweichungen zeigten sich bei der *A. tibialis posterior* und der *A. plantaris pedis* mit jeweils 8 %. Bei fünf Gefäßen ergaben sich keine Veränderungen der Werte.

### **3.2.3 Einfluss von Qualität, Verkalkungsgrad und Artefakten auf die diagnostische Güte**

Der Einfluss von Qualität, Verkalkungsgrad oder Artefakten auf die Ergebnisse von Sensitivität und Spezifität wurde mit Hilfe des *Fisher's Exakter Test* zweiseitig getestet, das Signifikanzniveau wurde auf  $p < 0,05$  festgelegt.

Die Berechnung erfolgte getrennt für Sensitivität und Spezifität. Für die Sensitivität wurden die Gefäße betrachtet, die von der DSA als krank (DSA+) diagnostiziert worden waren. Es erfolgte eine Aufschlüsselung nach dem Einflussmerkmal (Qualität, Verkalkungsgrad oder Artefakt) und der Bewertung der CTA (krank (CTA+) oder gesund (CTA-)). Für die Spezifität erfolgte die Berechnung analog für die in der DSA als gesund (DSA-) bewerteten Gefäße.

Zunächst wurde der Einfluss der Variablen bezogen auf das gesamte Gefäßkollektiv (exklusive Aorta) berechnet.

#### **3.2.3.1 Einfluss der Qualität bezogen auf das Gefäßkollektiv**

Es wurden insgesamt 899 bzw. 822 Gefäße nach Entfernen der nicht abgebildeten und nicht bewertbaren Gefäße eingeschlossen. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 3.19 und 3.20 aufgeführt.

**Tabelle 3.19: Einfluss der Qualität auf die Ergebnisse von Sensitivität und Spezifität (Bewerter 1)**

| Sensitivität |        |      |       |      | Spezifität |                       |      |       |      |
|--------------|--------|------|-------|------|------------|-----------------------|------|-------|------|
| Bewerter 1   |        | DSA+ |       |      | Bewerter 1 |                       | DSA- |       |      |
| Qualität     | CTA+   | CTA- | Summe | Sens | Qualität   | CTA+                  | CTA- | Summe | Spez |
| verwendbar   | 38     | 7    | 45    | 84 % | verwendbar | 36                    | 30   | 66    | 45 % |
| gut          | 206    | 10   | 216   | 95 % | gut        | 120                   | 113  | 233   | 48 % |
| sehr gut     | 46     | 11   | 57    | 81 % | sehr gut   | 54                    | 228  | 282   | 81 % |
| Summe        | 290    | 28   | 318   | 91 % | Summe      | 210                   | 371  | 581   | 64 % |
| P-Wert:      | 0,0005 |      |       |      | P-Wert:    | $3,2 \times 10^{-16}$ |      |       |      |

Berechnung der Werte für Sensitivität und Spezifität für jede Qualitätskategorie getrennt.

Signifikanztestung der Unterschiede mittels Fisher's Exaktem Test.

DSA+: krank      CTA+: von der CTA als krank bewertet

DSA-: gesund      CTA-: von der CTA als gesund bewertet

Bei Bewerter 1 ergab sich sowohl für die Sensitivität als auch für die Spezifität ein signifikanter Einfluss der Qualität. Bei der Sensitivität wurde der höchste Wert bei guter Qualität erzielt, bei der Spezifität bei sehr guter Qualität.

**Tabelle 3.20: Einfluss der Qualität auf die Ergebnisse von Sensitivität und Spezifität (Bewerter 2)**

| Sensitivität |       |      |       |      | Spezifität |                      |      |       |      |
|--------------|-------|------|-------|------|------------|----------------------|------|-------|------|
| Bewerter 2   |       | DSA+ |       |      | Bewerter 2 |                      | DSA- |       |      |
| Qualität     | CTA+  | CTA- | Summe | Sens | Qualität   | CTA+                 | CTA- | Summe | Spez |
| verwendbar   | 42    | 7    | 49    | 86 % | verwendbar | 44                   | 54   | 98    | 55 % |
| gut          | 217   | 30   | 247   | 88 % | Gut        | 145                  | 261  | 406   | 64 % |
| sehr gut     | 12    | 3    | 15    | 80 % | sehr gut   | 5                    | 60   | 65    | 92 % |
| Summe        | 271   | 40   | 313   | 87 % | Summe      | 194                  | 375  | 569   | 66 % |
| P-Wert       | 0,524 |      |       |      | P-Wert     | $2,9 \times 10^{-7}$ |      |       |      |

Berechnung der Werte für Sensitivität und Spezifität für jede Qualitätskategorie getrennt.

Signifikanztestung der Unterschiede mittels Fisher's Exaktem Test.

DSA+: krank      CTA+: von der CTA als krank bewertet

DSA-: gesund      CTA-: von der CTA als gesund bewertet

Für Bewerter 2 war nur bei der Spezifität ein signifikanter Einfluss nachweisbar, der höchste Wert wurde bei sehr guter Qualität erreicht. Bei der Sensitivität errechnete sich ein nicht signifikanter p-Wert.

### 3.2.3.2 Einfluss des Verkalkungsgrades bezogen auf das Gefäßkollektiv

Zur Beurteilung des Einflusses des Verkalkungsgrades der Gefäße auf die Sensitivität und Spezifität wurden die Einschätzungen bezüglich des Verkalkungsgrades aus dem Datensatz der axialen CT-Schnittbilder verwandt (Wilhelm, 2013). Es wurden insgesamt 930 bzw. 895 Gefäße bewertet, vgl. Tabellen 3.21 und 3.22.

**Tabelle 3.21: Einfluss des Verkalkungsgrades auf die Ergebnisse von Sensitivität und Spezifität (Bewerter 1)**

| Sensitivität    |       |       |       |      | Spezifität      |                        |       |       |      |
|-----------------|-------|-------|-------|------|-----------------|------------------------|-------|-------|------|
| Bewerter 1      |       | DSA + |       |      | Bewerter 1      |                        | DSA - |       |      |
| Verkalkungsgrad | CTA + | CTA - | Summe | Sens | Verkalkungsgrad | CTA +                  | CTA - | Summe | Spez |
| kein            | 111   | 12    | 123   | 90 % | kein            | 82                     | 152   | 234   | 65 % |
| < 1/3           | 13    | 6     | 19    | 68 % | < 1/3           | 25                     | 118   | 143   | 83 % |
| > 1/3 und < 2/3 | 6     | 1     | 7     | 86 % | > 1/3 und < 2/3 | 13                     | 32    | 45    | 71 % |
| > 2/3           | 166   | 9     | 175   | 95 % | > 2/3           | 105                    | 79    | 184   | 43 % |
| Summe           | 296   | 28    | 324   | 91 % | Summe           | 225                    | 381   | 606   | 63 % |
| P-Wert          | 0,003 |       |       |      | P-Wert          | 1,4 x10 <sup>-12</sup> |       |       |      |

Berechnung der Werte für Sensitivität und Spezifität für jeden Verkalkungsgrad getrennt.

Signifikanztestung der Unterschiede mittels Fisher's Exaktem Test.

DSA+: krank                      CTA+: von der CTA als krank bewertet

DSA-: gesund                      CTA-: von der CTA als gesund bewertet

Bei Bewerter 1 hatte der Verkalkungsgrad sowohl Einfluss auf die Sensitivität als auch auf die Spezifität. Die höchste Sensitivität wurde bei einem Verkalkungsgrad von mehr als zwei Drittel des Gefäßumfangs erreicht, der zweithöchste Wert bei Gefäßen ohne Verkalkung.

Die höchste Spezifität fand sich bei Gefäßen mit geringer Verkalkung (weniger als ein Drittel des Gefäßumfangs), die niedrigste bei stark verkalkten Gefäßen (mehr als zwei Drittel des Gefäßumfangs).

**Tabelle 3.22: Einfluss des Verkalkungsgrades auf die Ergebnisse von Sensitivität und Spezifität (Bewerter 2)**

| Sensitivität    |        |       |       |      | Spezifität      |                        |       |       |      |
|-----------------|--------|-------|-------|------|-----------------|------------------------|-------|-------|------|
| Bewerter 2      |        | DSA + |       |      | Bewerter 2      |                        | DSA - |       |      |
| Verkalkungsgrad | CTA +  | CTA - | Summe | Sens | Verkalkungsgrad | CTA +                  | CTA - | Summe | Spez |
| kein            | 104    | 24    | 128   | 81 % | kein            | 69                     | 209   | 278   | 75 % |
| < 1/3           | 26     | 6     | 32    | 81 % | < 1/3           | 27                     | 93    | 120   | 78 % |
| > 1/3 und < 2/3 | 21     | 6     | 27    | 78 % | > 1/3 und < 2/3 | 21                     | 32    | 53    | 60 % |
| > 2/3           | 116    | 4     | 120   | 97 % | > 2/3           | 80                     | 47    | 127   | 37 % |
| Summe           | 267    | 40    | 307   | 87 % | Summe           | 197                    | 381   | 578   | 66 % |
| P-Wert          | 0,0001 |       |       |      | P-Wert          | 9,1 x10 <sup>-14</sup> |       |       |      |

Berechnung der Werte für Sensitivität und Spezifität für jeden Verkalkungsgrad getrennt.

Signifikanztestung der Unterschiede mittels Fisher's Exaktem Test.

DSA+: krank                      CTA+: von der CTA als krank bewertet

DSA-: gesund                      CTA-: von der CTA als gesund bewertet

Auch bei Bewerter 2 beeinflusste der Verkalkungsgrad Sensitivität und Spezifität. Die höchste Sensitivität zeigte sich bei stark verkalkten Gefäßen (mehr als zwei Drittel des Umfangs), an zweiter Stelle fanden sich Gefäße ohne oder mit geringer Verkalkung (weniger als ein Drittel des Umfangs). Die Spezifität wies Parallelen mit Bewerter 1 auf.

Der höchste Wert war bei gering verkalkten Gefäßen (weniger als ein Drittel des Umfangs), der niedrigste bei Gefäßen mit einer Verkalkung von mehr als zwei Drittel des Umfangs.

### 3.2.3.3 Einfluss der Artefakte bezogen auf das Gefäßkollektiv

Zunächst erfolgte zunächst die Berechnung der Frage, ob das Vorhandensein von Artefakten einen Einfluss auf die Sensitivität und Spezifität hatte. Dafür wurden insgesamt 932 bzw. 864 Gefäße ausgewertet. Die Ergebnisse sind in Tabellen 3.23 und 3.24 aufgeführt.

**Tabelle 3.23: Einfluss der Artefakte auf die Ergebnisse von Sensitivität und Spezifität (Bewerter 1)**

| Sensitivität        |       |       |       |      | Spezifität          |        |       |       |      |
|---------------------|-------|-------|-------|------|---------------------|--------|-------|-------|------|
| Bewerter 1          |       | DSA + |       |      | Bewerter 1          |        | DSA - |       |      |
| Artefakte           | CTA + | CTA - | Summe | Sens | Artefakte           | CTA +  | CTA - | Summe | Spez |
| keine               | 263   | 21    | 284   | 93 % | keine               | 174    | 336   | 510   | 66 % |
| nicht beeinflussend | 14    | 4     | 18    | 78 % | nicht beeinflussend | 26     | 30    | 56    | 54 % |
| beeinflussend       | 19    | 3     | 22    | 86 % | beeinflussend       | 25     | 15    | 40    | 38 % |
| Summe               | 296   | 30    | 326   | 91 % | Summe               | 225    | 381   | 606   | 63 % |
| P-Wert              | 0,05  |       |       |      | P-Wert              | 0,0006 |       |       |      |

Berechnung der Werte für Sensitivität und Spezifität für jede Artefaktkategorie getrennt.

Signifikanztestung der Unterschiede mittels Fisher's Exaktem Test.

DSA+: krank                      CTA+: von der CTA als krank bewertet

DSA-: gesund                     CTA-: von der CTA als gesund bewertet

**Tabelle 3.24: Einfluss der Artefakte auf die Ergebnisse von Sensitivität und Spezifität (Bewerter 2)**

| Sensitivität        |       |       |       |      | Spezifität          |       |       |       |      |
|---------------------|-------|-------|-------|------|---------------------|-------|-------|-------|------|
| Bewerter 2          |       | DSA + |       |      | Bewerter 2          |       | DSA - |       |      |
| Artefakte           | CTA + | CTA - | Summe | Sens | Artefakte           | CTA + | CTA - | Summe | Spez |
| keine               | 234   | 33    | 267   | 88 % | keine               | 153   | 332   | 485   | 68 % |
| nicht beeinflussend | 12    | 4     | 16    | 75 % | nicht beeinflussend | 20    | 26    | 46    | 57 % |
| beeinflussend       | 26    | 4     | 30    | 87 % | beeinflussend       | 25    | 25    | 50    | 50 % |
| Summe               | 272   | 41    | 313   | 87 % | Summe               | 198   | 383   | 581   | 66 % |
| P-Wert              | 0,33  |       |       |      | P-Wert              | 0,012 |       |       |      |

Berechnung der Werte für Sensitivität und Spezifität für jede Artefaktkategorie getrennt.

Signifikanztestung der Unterschiede mittels Fisher's Exaktem Test.

DSA+: krank                      CTA+: von der CTA als krank bewertet

DSA-: gesund                     CTA-: von der CTA als gesund bewertet

Sowohl bei Bewerter 1 als auch bei Bewerter 2 ergab sich bei der Sensitivität ein nicht signifikanter p-Wert.

Bei der Spezifität waren die errechneten p-Werte signifikant, wobei die höchste Spezifität in Gefäßen erzielt wurde, die kein Artefakt aufwiesen.

Weiterhin wurde bei beiden Bewertern überprüft, ob die Art des vorhandenen Artefakts einen Einfluss auf die Sensitivität und Spezifität hatte. Bei beiden Bewertern ergaben sich bei der Berechnung keine signifikanten p-Werte.

### 3.2.3.4 Einfluss von Qualität, Verkalkungsgrad und Artefakte auf die einzelnen Regionen

Danach erfolgte die entsprechende Berechnung für die verschiedenen Regionen. Hierbei ergaben sich meist nicht signifikante p-Werte. Die signifikanten p-Werte sind in Tabelle 3.25 aufgeführt.

**Tabelle 3.25: Einfluss der Faktoren auf die Sensitivität und Spezifität für die Regionen**

|               |            | Qualität |          | Verkalkungsgrad |                         | Artefakte |          |
|---------------|------------|----------|----------|-----------------|-------------------------|-----------|----------|
|               |            | Sens.    | Spez.    | Sens.           | Spez.                   | Sens.     | Spez.    |
| Becken        | Bewerter 1 | n.s.     | n.s.     | n.s.            | n.s.                    | p=0,03    | n.s.     |
|               | Bewerter 2 | n.s.     | n.s.     | n.s.            | p=0,002                 | n.s.      | n.s.     |
| Oberschenkel  | Bewerter 1 | n.s.     | p=0,0001 | n.s.            | p=6,7 x10 <sup>-6</sup> | n.s.      | p=0,0002 |
|               | Bewerter 2 | n.s.     | p=0,001  | n.s.            | p=3,8 x10 <sup>-8</sup> | n.s.      | p=0,006  |
| Unterschenkel | Bewerter 1 | n.s.     | n.s.     | n.s.            | p=0,01                  | p=0,009   | n.s.     |
|               | Bewerter 2 | n.s.     | n.s.     | n.s.            | n.s.                    | n.s.      | n.s.     |
| Fuß           | Bewerter 1 | n.s.     | n.s.     | n.s.            | p=0,04                  | n.s.      | n.s.     |
|               | Bewerter 2 | n.s.     | n.s.     | n.s.            | p=0,007                 | n.s.      | n.s.     |

Darstellung der signifikanten p-Werte nach Berechnung des Einflusses von Qualität, Verkalkungsgrad bzw. Artefakten auf die Sensitivität und Spezifität getrennt nach Regionen.

n.s.: nicht signifikant      Sens.: Sensitivität      Spez.: Spezifität

In den Fällen, in denen die Qualität einen signifikanten Einfluss hatte, wurden die höchsten Werte für die Spezifität bei sehr guter Qualität erreicht.

Beim Verkalkungsgrad zeigte sich kein einheitlicher Einfluss. Bei Bewerter 1 errechneten sich die höchsten Spezifitätswerte bei einer geringen (<1/3) Verkalkung, Bewerter 2 bei nicht verkalkten Gefäßen. Bei beiden Bewertern fand sich jedoch der geringste Wert für die Spezifität bei hohen Verkalkungsgraden.

Bis auf eine Ausnahme ergaben sich die höchsten Werte für Sensitivität und Spezifität, wenn kein Artefakt vorhanden war. Im Beckenbereich berechnete sich für Bewerter 1 die höchste Sensitivität, wenn ein nicht beeinflussendes Artefakt vorhanden war.

### **3.2.4 Zusammenfassung der Berechnungen der diagnostischen Güte**

#### **3.2.4.1 Diagnose für das gesamte Bein**

Bei der Entscheidung, ob das gesamte Bein krank war und damit die Indikation für eine DSA gegeben wäre, erreichten die Beurteiler der MIPs eine sehr gute Sensitivität von 100 % bzw. 95 %. Die Spezifität fiel mit 58 % und 42 % gering aus. Der negative Likelihood-Quotient hatte mit 0 bzw. 0,12 eine überzeugende, bzw. hohe diagnostische Evidenz, während der positive Likelihood-Quotient keine hohe Evidenz erreichte.

#### **3.2.4.2 Bewertung des Gefäßkollektivs und der einzelnen Regionen und Gefäße**

Über alle Gefäße gemittelt ergab sich eine relativ hohe Sensitivität von 91 % bzw. 87 %, dabei wurden die höchsten Werte im Bereich des Unterschenkels mit 98 % und 94 % erreicht. Die niedrigsten Werte ergaben sich im Beckenbereich mit 69 % und 75 %. Die Spezifität fiel gering aus, im Mittel lag sie bei 63 % bzw. 66 %. Dabei wurden die höchsten Werte am Oberschenkel mit 82 % und 83 % erreicht. Im Unterschenkel- und Fußbereich fiel sie zum Teil unter 30 %.

#### **3.2.4.3 Einflüsse auf die Sensitivität und Spezifität**

Die Qualität der Bilddarstellung hatte einen signifikanten Einfluss auf die Spezifität, die höchsten Werte für die Spezifität fanden sich bei sehr guter Qualität.

Auch der Verkalkungsgrad des Gefäßes hatte einen signifikanten Einfluss sowohl auf die Sensitivität als auch auf die Spezifität, allerdings war keine eindeutige Richtung der Beeinflussung zu erkennen.

Vorhandene Artefakte hatten ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf die Spezifität, wobei die höchste Spezifität erreicht wurde, wenn keine Artefakte vorhanden waren.

### 3.3 MIP – Interobserververgleich

Die Übereinstimmung zwischen beiden Bewertern der MIPs zur Abschätzung der Interobserver-Variabilität wurde mittels des Kappa-Koeffizienten nach Cohen ermittelt. Die Berechnung erfolgte durch das bereits in Kapitel 2.5.3 beschriebene Verfahren. Die Analyse erfolgte sowohl für das Gefäßkollektiv (exklusive Aorta), für die einzelnen Regionen und zum Teil pro Gefäß.

#### 3.3.1 Übereinstimmung bezüglich der Diagnose krank – gesund

Zunächst wurde die Übereinstimmung bezüglich der Diagnosen krank und gesund ermittelt. Als krank wurde eine hämodynamisch relevante Stenose (>50 %), als gesund eine hämodynamisch nicht relevante Stenose (<50 %) bezeichnet.

Zunächst wurde die Übereinstimmung beider Bewerter bezogen auf das Gefäßkollektiv, in einem zweiten Schritt auf die vier Regionen aufgeteilt betrachtet. In allen Fällen ergab sich jeweils ein signifikanter p-Wert kleiner als 0,001. Zuletzt erfolgte noch eine entsprechende Berechnung für die einzelnen Gefäße.

##### 3.3.1.1 Übereinstimmung bezüglich der Diagnose bezogen auf das Gefäßkollektiv

Bei der Betrachtung aller Gefäße blieben 2530 zur Auswertung übrig.

**Tabelle 3.26: Übereinstimmungen beider Bewerter bezüglich der Diagnose bezogen auf das Gefäßkollektiv**

|            | Bewerter 1 |       |       |                 |
|------------|------------|-------|-------|-----------------|
| Bewerter 2 | gesund     | krank | Summe |                 |
| gesund     | 1129       | 230   | 1359  | Kappa           |
| krank      | 139        | 1032  | 1171  | p-Wert          |
| Summe      | 1268       | 1262  | 2530  | Übereinstimmung |

|                 |         |
|-----------------|---------|
| Kappa           | 0,71    |
| p-Wert          | < 0,001 |
| Übereinstimmung | stark   |

In den grauen Kästchen sind die übereinstimmenden Bewertungen aufgeführt, aus denen sich der Kappa-Wert berechnet.

Hierbei ergibt sich ein Kappa-Wert von 0,71, der nach Landis und Koch (Landis & Koch, 1977) eine starke Übereinstimmung bedeutet.

##### 3.3.1.2 Übereinstimmung bezüglich der Diagnose für die einzelnen Regionen

Der im Bereich des **Beckens** errechnete Kappa-Wert von 0,58 entspricht einer deutlichen Übereinstimmung.

**Tabelle 3.27: Übereinstimmungen beider Bewerter bezüglich der Diagnose bezogen auf das Becken**

|            | Bewerter 1 |       |       |
|------------|------------|-------|-------|
| Bewerter 2 | gesund     | krank | Summe |
| gesund     | 346        | 45    | 391   |
| krank      | 49         | 109   | 158   |
| Summe      | 395        | 154   | 549   |

|                 |          |
|-----------------|----------|
| Kappa           | 0,58     |
| p-Wert          | < 0,001  |
| Übereinstimmung | deutlich |

In den grauen Kästchen sind die übereinstimmenden Bewertungen aufgeführt, aus denen sich der Kappa-Wert berechnet.

Die Übereinstimmung im **Oberschenkelbereich** ist mit einem Kappa-Wert von 0,7 stark.

**Tabelle 3.28: Übereinstimmungen beider Bewerter bezüglich der Diagnose bezogen auf den Oberschenkel**

|            | Bewerter 1 |       |       |
|------------|------------|-------|-------|
| Bewerter 2 | gesund     | krank | Summe |
| gesund     | 616        | 56    | 672   |
| krank      | 61         | 215   | 276   |
| Summe      | 677        | 271   | 948   |

|                 |         |
|-----------------|---------|
| Kappa           | 0,70    |
| p-Wert          | < 0,001 |
| Übereinstimmung | stark   |

In den grauen Kästchen sind die übereinstimmenden Bewertungen aufgeführt, aus denen sich der Kappa-Wert berechnet.

Auch im Bereich des **Unterschenkels** findet sich eine starke Übereinstimmung bei einem Kappa-Wert von 0,67.

**Tabelle 3.29: Übereinstimmungen beider Bewerter bezüglich der Diagnose bezogen auf den Unterschenkel**

|            | Bewerter 1 |       |       |
|------------|------------|-------|-------|
| Bewerter 2 | gesund     | krank | Summe |
| gesund     | 111        | 63    | 174   |
| krank      | 15         | 511   | 526   |
| Summe      | 126        | 574   | 700   |

|                 |         |
|-----------------|---------|
| Kappa           | 0,67    |
| p-Wert          | < 0,001 |
| Übereinstimmung | stark   |

In den grauen Kästchen sind die übereinstimmenden Bewertungen aufgeführt, aus denen sich der Kappa-Wert berechnet.

Im Bereich des **Fußes** ergibt sich die geringste Übereinstimmung der Regionen mit einem Kappa-Wert von 0,43. Dies entspricht immerhin noch einer deutlichen Übereinstimmung.

**Tabelle 3.30: Übereinstimmungen beider Bewerter bezüglich der Diagnose bezogen auf den Fuß**

| Bewerter 2 | Bewerter 1 |       | Summe |
|------------|------------|-------|-------|
|            | gesund     | krank |       |
| gesund     | 56         | 66    | 122   |
| krank      | 14         | 197   | 211   |
| Summe      | 70         | 263   | 333   |

|                 |          |
|-----------------|----------|
| Kappa           | 0,43     |
| p-Wert          | < 0,001  |
| Übereinstimmung | deutlich |

In den grauen Kästchen sind die übereinstimmenden Bewertungen aufgeführt, aus denen sich der Kappa-Wert berechnet.

### 3.3.1.3 Übereinstimmung bezüglich der Diagnose für die einzelnen Gefäße

Die Übereinstimmungen beider Bewerter bei der Beurteilung der einzelnen Gefäße in Bezug auf die Frage, ob bei dem Gefäß eine hämodynamisch relevante oder irrelevante Stenose vorlag, sind in Tabelle 3.31 aufgeführt.

**Tabelle 3.31: Übereinstimmungen beider Bewerter bezüglich der Diagnose bezogen auf die einzelnen Gefäße**

| Gefäß | Kappa | p-Wert  | Übereinstimmung |
|-------|-------|---------|-----------------|
| AA    | 0,71  | < 0,001 | stark           |
| AIC   | 0,62  | < 0,001 | stark           |
| All   | 0,53  | < 0,001 | deutlich        |
| AIE   | 0,53  | < 0,001 | deutlich        |
| AFC   | 0,58  | < 0,001 | deutlich        |
| FG    | 0,67  | < 0,001 | stark           |
| APF   | 0,54  | < 0,001 | deutlich        |
| AFS   | 0,76  | < 0,001 | stark           |
| AP    | 0,67  | < 0,001 | stark           |
| TTF   | 0,67  | < 0,001 | stark           |
| ATA   | 0,61  | < 0,001 | stark           |
| ADP   | 0,39  | < 0,001 | schwach         |
| ATP   | 0,71  | < 0,001 | stark           |
| APP   | 0,43  | < 0,001 | deutlich        |
| AF    | 0,55  | < 0,001 | deutlich        |

Auflistung der Kappa-Werte, die den Grad der Übereinstimmung wiedergeben, bezogen auf die einzelnen Gefäße

AA: *Aorta abdominalis*  
 AIC: *Arteria iliaca communis*  
 All: *Arteria iliaca interna*  
 AIE: *Arteria iliaca externa*  
 AFC: *Arteria femoralis communis*  
 FG: *Femoralisgabel*  
 APF: *Arteria profunda femoralis*  
 AFS: *Arteria femoralis superficialis*

AP: *Arteria poplitea*  
 TTF: *Truncus tibiofibularis*  
 ATA: *Arteria tibialis anterior*  
 ADP: *Arteria dorsalis pedis*  
 ATP: *Arteria tibialis posterior*  
 APP: *Arteria plantaris pedis*  
 AF: *Arteria fibularis*

Achtmal ist die Übereinstimmung stark, die höchste Übereinstimmung wird bei der *A. femoralis superficialis* mit dem Kappa-Wert von 0,76 erzielt. Eine schwache

Übereinstimmung liegt bei der *A. dorsalis pedis* mit dem Kappa-Wert von 0,39 vor. Bei den restlichen sechs Gefäßen kommt es jeweils zu einer deutlichen Übereinstimmung.

### 3.3.2 Übereinstimmung bezüglich der Qualitätsbeurteilung

Als nächstes wurde die Übereinstimmung beider Bewerter in Bezug auf die Beurteilung der Darstellungsqualität der MIPs berechnet.

#### 3.3.2.1 Übereinstimmung bezüglich der Qualität bezogen auf das Gefäßkollektiv

Bei der Berechnung über das gesamte Gefäßkollektiv wurden insgesamt 594 Gefäße eingeschlossen. Da die Beurteilung der Qualität bereits abschnittsweise erfolgt war, liegen hier weniger Werte vor.

**Tabelle 3.32: Übereinstimmung beider Bewerter bezüglich der Qualität bezogen auf das Gefäßkollektiv**

| Qualität   | Bewerter 2 |     |          |      |      | Summe |
|------------|------------|-----|----------|------|------|-------|
|            | verwendbar | gut | sehr gut | n.a. | n.b. |       |
| Bewerter 1 |            |     |          |      |      |       |
| verwendbar | 17         | 27  | 0        | 2    | 9    | 55    |
| gut        | 43         | 176 | 10       | 0    | 12   | 241   |
| sehr gut   | 25         | 198 | 40       | 1    | 4    | 268   |
| n.a.       | 0          | 0   | 0        | 6    | 0    | 6     |
| n.b.       | 7          | 6   | 0        | 0    | 11   | 24    |
| Summe      | 92         | 407 | 50       | 9    | 36   | 594   |

|                 |         |  |
|-----------------|---------|--|
| Kappa           | 0,13    | In den grauen Kästchen sind die übereinstimmenden Bewertungen aufgeführt, aus denen sich der Kappa-Wert berechnet.<br>n.a.: nicht abgebildet n.b.: nicht beurteilbar |
| p-Wert          | 0,001   |  |
| Übereinstimmung | schwach |  |

Bei der Beurteilung der Qualität stimmten die beiden Bewerter in 17 Fällen bei verwendbarer, in 176 Fällen bei guter und in 40 Fällen bei sehr guter Qualität überein. Auffällig erscheint, dass in 198 Fällen, in denen Bewerter 1 eine sehr gute Qualität angab, Bewerter 2 die Qualität für gut befand.

Sechsmal bewerteten beide ein Gefäß als nicht abgebildet und elfmal als nicht beurteilbar. Insgesamt zeigt sich eine nur schwache Übereinstimmung mit einem Kappa-Wert von 0,13.

#### 3.3.2.2 Übereinstimmung bezüglich der Qualität für die einzelnen Regionen

Bei der Beurteilung der Übereinstimmung für die einzelnen Regionen getrennt wurden einschließlich der Aorta vier Regionen ausgewertet. Unterschenkel und Fuß ergaben

eine Region zusammen, da die Bewertung der Qualität für beide zusammen stattgefunden hatte.

Für die Regionen Aorta, Becken und Oberschenkel kann keine Aussage über eine Übereinstimmung getroffen werden, da sich ein hoher p-Wert und somit keine Signifikanz ergab. (Siehe Tabelle 3.33)

**Tabelle 3.33: Übereinstimmung beider Bewerter bezüglich der Qualität für die einzelnen Regionen**

|              | Kappa  | p-Wert  | Übereinstimmung |
|--------------|--------|---------|-----------------|
| Aorta        | -0,004 | 0,97    | -               |
| Becken       | 0,04   | 0,64    | -               |
| OS           | 0,06   | 0,53    | -               |
| US inkl. Fuß | 0,29   | < 0,001 | schwach         |

OS: Oberschenkel                      US: Unterschenkel

Es sind die Kappa- und p-Werte der einzelnen Regionen aufgeführt. Nur für den Unterschenkel- und Fußbereich ergab sich ein signifikantes Ergebnis

Im Bereich des Unterschenkels und Fußes zeigt sich eine schwache Übereinstimmung, die statistisch signifikant ist.

### 3.3.3 Übereinstimmung bezüglich der Artefaktbeurteilung

Hierbei wurde zunächst die Übereinstimmung in der Beurteilung, ob Artefakte vorhanden sind, und wenn ja, ob sie beeinflussend sind, überprüft. Danach wurde die Übereinstimmung bezüglich der Art der Artefakte betrachtet. War ein Artefakt vorhanden, so musste angegeben werden, welcher Art es war. Dabei konnten die Bewerter aus fünf Kategorien (suboptimale Kontrastierung, Bewegung, venöse Kontamination, Verkalkung und sonstiges Artefakt) wählen.

Nach Betrachtung des Gefäßkollektivs erfolgte die Betrachtung der Übereinstimmung aufgeteilt auf die fünf Regionen (Aorta, Becken, Oberschenkel, Unterschenkel und Fuß).

#### 3.3.3.1 Übereinstimmung bezüglich der Artefakte für das Gefäßkollektiv

Es wurden alle Gefäße außer der Aorta eingeschlossen, so dass die Berechnung mit 2772 Gefäßen erfolgen konnte.

**Tabelle 3.34: Übereinstimmung beider Bewerter bezüglich der Artefakte für das Gefäßkollektiv**

| Artefakte   | Bewerter 2 |             |          |      |      | Summe |
|-------------|------------|-------------|----------|------|------|-------|
|             | k. Artef.  | n. beeinfl. | beeinfl. | n.a. | n.b. |       |
| k. Artef.   | 1980       | 128         | 192      | 2    | 3    | 2305  |
| n. beeinfl. | 156        | 26          | 43       | 0    | 0    | 225   |
| beeinfl.    | 66         | 14          | 94       | 1    | 1    | 176   |
| n.a.        | 3          | 0           | 1        | 38   | 0    | 42    |
| n.b.        | 17         | 0           | 1        | 6    | 0    | 24    |
| Summe       | 2222       | 168         | 331      | 47   | 4    | 2772  |

k. Artef.: kein Artefakt      n. beeinfl.: nicht beeinflussend      beeinfl.: beeinflussend  
n.a.: nicht abgebildet      n.b.: nicht beurteilbar

|                 |         |
|-----------------|---------|
| Kappa           | 0,29    |
| p-Wert          | < 0,001 |
| Übereinstimmung | schwach |

In den grauen Kästchen sind die übereinstimmenden Bewertungen aufgeführt, aus denen sich der Kappa-Wert berechnet. Es wurde beurteilt, ob ein Artefakt vorlag, und falls ja, ob es die weitere Beurteilung beeinflusste oder nicht.

Bei der Beurteilung bezüglich des Vorhandenseins von Artefakten stimmen die Bewerter in 1980 Fällen darin überein, dass kein Artefakt vorlag. 26-mal befanden beide ein Artefakt für nicht beeinflussend, 94-mal für beeinflussend. Die Übereinstimmung zwischen beiden Bewertern ist mit einem Kappa-Wert von 0,29 schwach. Siehe Tabelle 3.34.

**Tabelle 3.35: Übereinstimmung beider Bewerter bezüglich der Artefaktart für das Gefäßkollektiv**

| Artefakte   | Bewerter 2  |            |       |       |      |      |      | Summe |
|-------------|-------------|------------|-------|-------|------|------|------|-------|
|             | sub. Kontr. | ven. Kont. |       | s. A. | n.a. | k.A. | n.b. |       |
|             |             | Bew.       | Verk. |       |      |      |      |       |
| sub. Kontr. | 0           | 0          | 0     | 0     |      | 9    | 0    | 9     |
| Bew.        | 0           | 1          | 0     | 0     |      | 4    | 0    | 5     |
| ven. Kont.  | 0           | 0          | 98    | 9     | 0    | 0    | 98   | 205   |
| Verk.       | 0           | 0          | 0     | 15    | 3    | 0    | 31   | 49    |
| s.A.        | 0           | 0          | 1     | 9     | 41   | 1    | 80   | 133   |
| n.a.        |             | 0          | 0     | 0     | 1    | 38   | 3    | 42    |
| k.A.        | 12          | 0          | 44    | 234   | 30   | 2    | 1980 | 2305  |
| n.b.        | 0           | 0          | 1     | 0     | 0    | 6    | 17   | 24    |
| Summe       | 12          | 1          | 144   | 267   | 75   | 47   | 2222 | 2772  |

sub. Kontr.: suboptimale Kontrastierung      ven. Kont.: venöse Kontamination  
Bew.: Bewegung      Verk.: Verkalkung  
s.A.: sonstiges Artefakt      n.a.: nicht abgebildet  
k.A.: kein Artefakt      n.b.: nicht beurteilbar

|                 |         |
|-----------------|---------|
| Kappa           | 0,34    |
| p-Wert          | <0,001  |
| Übereinstimmung | schwach |

In den grauen Kästchen sind die übereinstimmenden Bewertungen aufgeführt, aus denen sich der Kappa-Wert berechnet. Es wurde die Art des Artefaktes beurteilt.

Die meisten Übereinstimmungen (98 Fälle) fanden sich bei dem Artefakt venöse Kontamination, die wenigsten (keine Übereinstimmung) bei dem Artefakt suboptimale

Kontrastierung. Einmal stimmten beide Bewerter bei dem Artefakt Bewegungsartefakt überein, 15-mal bei dem Merkmal Verkalkungsartefakt. Sonstige Artefakte wurden in 41 Fällen von beiden Bewertern beschrieben.

Die restlichen Merkmale „nicht abgebildetes Gefäß“, „kein Artefakt“ und „nicht beurteilbares Gefäß“ wurden bereits erläutert.

Aus diesen Übereinstimmungen errechnet sich ein Kappa-Wert von 0,34, was einer schwachen Übereinstimmung entspricht. Siehe Tabelle 3.35.

### 3.3.3.2 Übereinstimmung bezüglich der Artefakte für die einzelnen Regionen

Bei der Übereinstimmung bezüglich der Frage nach dem Vorhandensein von Artefakten entsprechen die Kappa-Werte für Aorta, Ober- und Unterschenkel einer schwachen Übereinstimmung. Die meisten Übereinstimmungen liegen jeweils bei der Bewertung kein Artefakt vor.

Für den Beckenbereich kann keine Aussage getroffen werden, da der p-Wert nicht signifikant ist.

**Tabelle 3.36: Übereinstimmung beider Bewertern bezüglich der Artefakte für die einzelnen Regionen**

|        | Kappa | p-Wert | Übereinstimmung |
|--------|-------|--------|-----------------|
| Aorta  | 0,16  | 0,04   | schwach         |
| Becken | 0,05  | 0,17   | -               |
| OS     | 0,25  | <0,001 | schwach         |
| US     | 0,39  | <0,001 | schwach         |
| Fuß    | 0,43  | <0,001 | deutlich        |

Es sind die Kappa- und p-Werte der einzelnen Regionen aufgeführt. Beurteilt wurden das Vorhandensein von Artefakten und ihre Beeinflussung auf die Beurteilung der Bilder. Bis auf den Beckenbereich errechneten sich signifikante p-Werte.

Im Fußbereich zeigt sich eine deutliche Übereinstimmung zwischen beiden Bewertern mit einem Kappa-Wert von 0,43. Auch hier findet sich die höchste Übereinstimmung bei dem Merkmal kein Artefakt. Siehe Tabelle 3.36.

Bei den Bewertungen der Artefaktart lässt sich für die Aorta keine Aussage über übereinstimmende Bewertungen treffen, da der p-Wert nicht signifikant ist. Im Beckenbereich zeigt sich keine Übereinstimmung in der Bewertung der Art der Artefakte.

**Tabelle 3.37: Übereinstimmung beider Bewertern bezüglich der Artefaktarten für die einzelnen Regionen**

|        | Kappa | p-Wert | Übereinstimmung |
|--------|-------|--------|-----------------|
| Aorta  | 0,16  | 0,05   | -               |
| Becken | 0,09  | 0,03   | keine           |
| OS     | 0,29  | <0,001 | schwach         |
| US     | 0,45  | <0,001 | deutlich        |
| Fuß    | 0,46  | <0,001 | deutlich        |

Es sind die Kappa- und p-Werte der einzelnen Regionen aufgeführt. Beurteilt wurde die Artefaktart. Bis auf die Aorta errechneten sich signifikante p-Werte.

Im Oberschenkelbereich ergibt sich eine schwache Übereinstimmung beider Bewerter. In insgesamt 28 Fällen stimmten beide Bewerter überein, davon 15-mal bei dem Merkmal sonstiges Artefakt.

Bei den Gefäßen des Unterschenkels und des Fußes zeigt sich eine deutliche Übereinstimmung beider Bewerter. Die meisten Übereinstimmungen finden sich bei den Artefakten venöse Kontamination und sonstiges Artefakt. Siehe Tabelle 3.37.

### 3.3.4 Zusammenfassung des Interobserververgleichs

#### 3.3.4.1 Übereinstimmung bei der Hauptdiagnose

Über das Gefäßkollektiv berechnet ergibt sich eine starke Übereinstimmung bei der Frage krank versus gesund. Die höchste Übereinstimmung (stark) findet sich im Oberschenkelbereich mit  $\kappa = 0,7$ , die niedrigste, immerhin noch deutlich, im Fußbereich mit  $\kappa = 0,43$ . Bei den einzelnen Gefäßen treten die niedrigsten Werte bei den Fußarterien, die höchsten in den Arterien des Ober- und Unterschenkels auf.

#### 3.3.4.2 Qualität

Über das Gefäßkollektiv errechnet sich eine schwache Übereinstimmung bezüglich der Beurteilung der Qualität. Nach Aufteilung auf die einzelnen Regionen ist eine signifikante Aussage lediglich für den Unterschenkel- und Fußbereich möglich. Dort findet sich eine schwache Übereinstimmung. Auffallend ist die Verschiebung der Bewertungen von guter und sehr guter Qualität zwischen beiden Bewertern der MIPs, wie es sich bereits im deskriptiven Teil dargestellt hat.

#### 3.3.4.3 Artefakte

Bei der Frage nach Artefakten, sowohl bezüglich des Auftretens als auch ihrer Art, zeigt sich über alle Gefäße gemittelt eine schwache Übereinstimmung. Auch bei den

einzelnen Regionen ist diese, sofern überhaupt beurteilbar, schwach. Diese Ergebnisse deuten sich bereits in der deskriptiven Darstellung an. Ausnahmen finden sich im Fußbereich mit einer deutlichen Übereinstimmung für beide Artefaktberechnungen und im Unterschenkelbereich. Dort zeigt sich bei der Artefaktart ebenfalls eine deutliche Übereinstimmung.

# 4 Diskussion

---

## 4.1 Einführung/Hintergrund

Für die Darstellung arterieller Gefäße bieten sich verschiedene Verfahren an. Hierbei gilt die DSA als der Goldstandard in der Diagnostik der pAVK. Mit ihr lassen sich in einer Sitzung sowohl eine gute Darstellung der Stenosen und Verschlüsse als auch eine therapeutische Intervention erzielen. Dem stehen jedoch auch Nachteile der DSA gegenüber, die Anlass geben, die Güte anderer Methoden zu prüfen. So ist die DSA ein relativ aufwendiges und zeitintensives Verfahren, zu deren Durchführung ein erfahrener Arzt zur Verfügung stehen muss und die eine stationäre Aufnahme des Patienten erfordert. Das Komplikationsrisiko durch die Invasivität, das jodhaltige Kontrastmittel und die hohe Strahlenbelastung sind weitere Nachteile. Als Alternativen kommen nicht-invasive Verfahren wie die Duplexsonographie, die MR-Angiographie und die CT-Angiographie in Frage.

Die Duplexsonographie ist einfach und ungefährlich. Ohne Strahlenbelastung gewährleistet sie eine gute Darstellung der Gefäße. Sie ist allerdings ein zeitaufwändiges Verfahren, dessen Güte wesentlich vom Untersucher abhängt. Bei adipösen Patienten, verkalkten Gefäßen und multisegmentalen Stenosen gerät es an seine Grenzen (Hirsch et al., 2006). Je nach Studie werden Sensitivitäten von 80 % - 95 % und Spezifitäten von 90 % - 96 % berichtet (Hirsch et al., 2006; Koelemay et al., 1996; Norgren et al., 2007; Olin et al., 2004).

Bei der MR-Angiographie kommt es, wie bei der Duplexsonographie, weder zu einer Strahlenbelastung noch zur Gabe eines jodhaltigen Kontrastmittels. Weitere Vorzüge dieser Untersuchungsmethode sind eine gute Darstellungsqualität verkalkter Gefäße und die Möglichkeit der digitalen Nachbearbeitung dreidimensionaler Bilder. Eine Beurteilung der Gefäßwände ist hingegen nicht möglich. Außerdem ist sie sehr anfällig für Metallartefakte. Hinzu kommen die relativ hohen Kosten der Untersuchung, eine

geringe lokale Verfügbarkeit und Kontraindikationen bei Herzschrittmachern und Klaustrophobie (Chan et al., 2010; Ersoy & Rybicki, 2008; Leibecke et al., 2006).

Die diagnostische Güte ist jedoch mit Sensitivitäten und Spezifitäten von über 93 % bemerkenswert hoch (Menke & Larsen, 2010; Norgren et al., 2007).

Seit Einführung der Multidetektorgeräte spielt die CT-Angiographie für Gefäßdarstellungen eine immer größere Rolle. Kurze Untersuchungszeiten und eine breite lokale Verfügbarkeit sind prinzipielle Vorzüge. Wie bei der MRA werden Datensätze erstellt, die eine digitale Nachbearbeitung und dreidimensionale Darstellung erlauben. Zusätzlich wird durch die hohe Auflösung eine Beurteilung der Gefäßwände ermöglicht. Nachteile der herkömmlichen Single-Energy-Geräte sind neben der Notwendigkeit jodhaltiger Kontrastmittel und der Strahlenbelastung die Anfälligkeit für verkalkungsbedingte Artefakte. Für die CTA werden – abhängig von Studie und Geräteeigenschaften – Sensitivitäten und Spezifitäten von jeweils 91 % bis 99 % angegeben.

Die Entwicklung der Dual-Energy-Technik ermöglicht eine automatische Differenzierung von Kalk (Kalzium) und Kontrastmittel. Kalziumhaltige Strukturen wie Knochen und Verkalkungen lassen sich automatisiert aus den Datensätzen entfernen, womit die Anfälligkeit für durch Verkalkungen bedingte Artefakte sinkt. Besonders bei den nachbearbeiteten Darstellungen wie den MIPs hat dies eine Verkürzung der Nachberechnungszeit und eine bessere Bildqualität zur Folge. Erste Studien evaluierten bereits die diagnostische Güte. Dabei ergaben sich je nach Studie gute bis moderate Ergebnisse mit einer Sensitivität von 97,2 %, einer Spezifität von 94,1 % und einer Genauigkeit von 94,7 % (Brockmann et al., 2009) bzw. 84 %, 67 % und 75 % (Kau et al., 2011). Diese beiden Studien bedienten sich ausschließlich bzw. überwiegend der MIP-Bilder zur Gefäßbeurteilung. Sie werden im Folgenden als Hauptreferenzen zum Vergleich herangezogen.

## **4.2 Studienbeschreibung**

In der vorliegenden Studie wurden 94 Patienten, die die akuten oder chronischen Symptome einer pAVK aufwiesen, mittels DE-CTA untersucht. Innerhalb der nächsten 30 Tage wurde meist zur therapeutischen Intervention eine DSA durchgeführt.

Retrospektiv betrachteten und bewerteten drei Fachärzte der Radiologie die Bilder aus beiden Untersuchungen. Für die Auswertung der CTA-Bilder standen sowohl die nachbearbeiteten MIPs als auch die axialen Schnittbilder zu Verfügung. Die vorliegende Arbeit untersuchte die Bewertungen anhand der MIP-Bilder. Die Auswertung der Schnittbilder erfolgte in einer parallelen Arbeit (Wilhelm, 2013).

Zunächst wurden der Stenosegrad der Gefäße, die Qualität der Bilder und eventuell vorhandene Artefakte, anhand der Schnittbilder zusätzlich der Verkalkungsgrad der Gefäße beurteilt. In einem zweiten Schritt schloss sich in der vorliegenden Arbeit ein Vergleich der Bewertungen anhand der MIPs mit denen anhand der DSA an. Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurde die diagnostische Güte der MIP-Bilder berechnet. Da die MIP-Bilder im klinischen Alltag eine zügige Begutachtung der Gefäßsituation erlauben, ist die Beantwortung der Frage nach der diagnostischen Güte der MIPs von hoher Relevanz für den klinischen Alltag. Um hier zu aussagefähigen Ergebnissen zu kommen, wurde erstmals eine große Patientenzahl untersucht. Ferner ist ein direkter Vergleich mit den Resultaten der Schnittbilderauswertung der Parallelstudie (Wilhelm, 2013) möglich.

Schließlich erlaubte die Studie, die Auswertungsergebnisse der MIP-Bilder hinsichtlich ihrer Übereinstimmung zwischen den beiden Bewertern zu vergleichen.

## **4.3 Diskussion der Ergebnisse**

### **4.3.1 Vergleich CTA – DSA**

#### **4.3.1.1 Diskussion der Hauptfragestellung**

Die zentrale Fragestellung betraf die Güte der DE-CTA und MIPs im Rahmen der Diagnostik einer pAVK im klinischen Alltag. Hierzu wurden alle Gefäße eines Beines zusammengefasst und anschließend das Bein als Gesamtes betrachtet. Es sollte entschieden werden, ob das jeweilige Bein als krank oder gesund einzuordnen war. Ein Bein war als krank zu betrachten, sobald ein Gefäß eine hämodynamisch relevante (> 50 % des Gefäßlumens) Stenose aufwies. Ein Bein war gesund, wenn alle Gefäße stenosefrei waren oder hämodynamisch irrelevante (< 50 % des Gefäßlumens) Stenosen aufwiesen. Auf dieser Grundlage erfolgte die Berechnung der Marker für die

diagnostische Güte wie Sensitivität, Spezifität, positiver / negativer prädiktiver Wert und positiver / negativer Likelihood-Quotient.

Im klinischen Alltag reicht zur Indikationsstellung für eine DSA, bei der das gesamte Bein untersucht wird, die Diagnose einer hämodynamisch relevanten Stenose bei entsprechender Beschwerdesymptomatik. Somit ist lediglich relevant, ob ein Bein als krank erkannt wurde. Dagegen muss im Vorfeld nicht das exakte Gefäß identifiziert werden. Es ist also in diesem Zusammenhang wichtig, das entsprechende Bein zu identifizieren, um die Indikation für eine DSA zu stellen. Gleichzeitig ist eine Detektion der gesunden Beine ebenso wesentlich, um unnötige Untersuchungen zu vermeiden.

Diese Art der Fragestellung stellt das Besondere unserer Studie dar. Sie wurde in dieser Form in noch keiner anderen veröffentlichten Studie durchgeführt, weshalb ein Vergleich der Ergebnisse mit anderen Studien nicht möglich ist. Hingegen lassen sich die Ergebnisse mit denen der Parallelstudie (Wilhelm, 2013), die die Bewertungen anhand der axialen Schnittbilder berechnete, vergleichen.

Auf Grundlage der oben beschriebenen Auswertung wurden für die Sensitivität Werte von 100 % / 95 % (Bewerter 1 / Bewerter 2) errechnet. Die hohen Werte bedeuten, dass alle bzw. fast alle erkrankten Personen identifiziert wurden. Es gab keine bzw. sehr wenige erkrankte Personen, die nicht als solche erkannt wurden. Ähnliche hohe Werte mit 98 % (Bewerter 1) und 94 % (Bewerter 2) ergaben sich in der Auswertung der axialen Schnittbilder (Wilhelm, 2013).

Bezüglich der Spezifität errechneten sich Werte von 58% / 42 % (B1 / B2). Es wurde also nur circa die Hälfte der Gesunden korrekt identifiziert, während die übrigen Gesunden fälschlich als krank erkannt wurden. Unter Einbeziehung der axialen Schnittbilder ergaben sich mit 75 % (B1) und 67 % (B2) höhere und damit bessere Werte für die Spezifität (Wilhelm, 2013).

Der positive prädiktive Wert (PPW) fiel mit 95 % / 93 % (B1 / B2) hoch aus. Die aus den Bewertungen der axialen Schnittbilder berechneten Werte waren ähnlich hoch: 97 % / 96 % (B1 / B2).

Allerdings ist dabei zu beachten, dass in unserem Patientengut eine Prävalenz der Erkrankung von 89 % vorlag, da von 111 Beinen 99 krank und nur 12 gesund waren.

Diese Prävalenz, die gleichzeitig die Prä-Test-Wahrscheinlichkeit angibt, unterscheidet sich nur geringfügig von dem PPW, auch als Post-Test-Wahrscheinlichkeit bezeichnet.

Beim negativen prädiktiven Wert ergaben sich deutlich unterschiedliche Werte zwischen beiden Bewertern: 100 % / 50 % (B1 / B2). Bewerter 1 erreichte mit 100 % einen sehr guten Wert. Alle von ihm als gesund identifizierten Patienten waren tatsächlich gesund. Bei Bewerter 2 traf dies nur auf die Hälfte der Fälle zu. Anhand der axialen Schnittbilder fanden sich ähnlich divergierende Werte von 82 % / 57 % (B1 / B2) (Wilhelm, 2013).

Weiterhin wurden der positive (LR+) und negative (LR-) Likelihood-Quotient ermittelt. Für Bewerter 1 zeigte der LR+ mit 2,4 eine schwache diagnostische Evidenz, der LR- mit 0 eine überzeugende Evidenz. Bei Bewerter 2 fielen die Werte etwas schlechter aus, der LR+ erreichte mit 1,63 eine kaum relevante diagnostische Evidenz, der LR- 0,12 eine hohe diagnostische Evidenz. Anhand der axialen Schnittbilder zeigten sich für den LR+ eine schwache (3,92 / 2,82), für den LR- (0,03 / 0,09) eine überzeugende diagnostische Evidenz (Wilhelm, 2013).

Insgesamt fand sich bei der Beurteilung anhand der MIPs eine sehr hohe Sensitivität, wie es für ein Screeningverfahren notwendig ist. Aufgrund des sehr guten Erkennens von mindestens einer hämodynamisch relevanten Stenose im gesamten Gefäßbaums des Beins wurden kaum erkrankte Personen übersehen. Dem stehen allerdings viele falsch positive Ergebnisse gegenüber. Daher lässt sich für den klinischen Alltag die Empfehlung ableiten, dass sich bei positivem Ergebnis in gewissen Fällen ein Blick in die Schnittbilder empfiehlt, da dort bessere Ergebnisse für die Spezifität vorliegen.

#### **4.3.1.2 Ergebnisse bezogen auf das Gefäßkollektiv**

Um eine Vergleichbarkeit mit anderen Studien zu ermöglichen, wurden zusätzlich alle abgebildeten Gefäße zusammen betrachtet und mit der DSA verglichen. Hierbei gingen von den 99 Datensätzen insgesamt 931 (Bewerter 1) bzw. 894 (Bewerter 2) Gefäßsegmente in die Bewertung ein. Es wurden Sensitivitäten von 91 % / 87 % (B1/B2), Spezifitäten von 63 % / 66 % (B1/B2) und Genauigkeiten von 73 % / 73 % (B1/B2) errechnet. Bei der Paralleluntersuchung der axialen Schnittbilder wurden bei gleicher Datensatzanzahl 981 (B1) bzw. 957 (B2) Gefäßsegmente in die Berechnung

einbezogen. Dabei ergaben sich folgende Werte für Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit: 85 % / 74 % (B1/B2), 69 % / 78 % (B1/B2) und 75 % / 77 % (B1/B2) (Wilhelm, 2013). Erneut lagen die Sensitivitäten der MIPs leicht über denen der Schnittbilder, während anhand der Schnittbilder bessere Werte für die Spezifität erreicht wurden.

Die Ergebnisse der im Jahr 2011 veröffentlichten Studie (Kau et al., 2011), bei der 58 Patienten (742 Gefäßsegmente) untersucht wurden, decken sich in Bezug auf die Sensitivität (84 %), die Spezifität (67 %) und die Genauigkeit (75 %) gut mit unseren Werten. In dieser Studie wurden hauptsächlich die MIP-Bilder zur Bewertung benutzt, bei Unsicherheiten durften jedoch auch die axialen Schnittbilder herangezogen werden. Wie in unserer Studie wurden die pedalen Gefäße ebenfalls mit eingeschlossen, eine Neuheit, die bis dato nicht üblich war.

So schloss eine Studie aus dem Jahr 2008 (Brockmann et al., 2009), bei der 20 Patienten (359 Gefäßsegmente) untersucht worden waren, die pedalen Gefäße aus. Es ergaben sich für die Sensitivität mit 95,8 %, für die Spezifität mit 90,5 % und für die Genauigkeit mit 91,9 % höhere Werte, was auf die geringe Patientenzahl und die Gefäßauswahl zurückzuführen sein dürfte. Hierbei wurden ausschließlich die MIP-Bilder zu Beurteilung verwandt.

Weitere Studien, die Angiographien mit Dual-Energy-Geräten evaluierten, existieren nicht. Daher wurde zur besseren Einordnung unserer Studie noch auf Untersuchungen, die 64-Zeilen-CT-Geräte ohne Dual-Energy benutzten, zurückgegriffen. Eine Studie aus dem Jahr 2011 (Fotiadis et al., 2011) erreichte unter Benutzung von MIPs und axialen Bildern eine Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit von 99 %, 98 % und 98 %. Dieselben Ergebnisse fand Shareghi im Jahr 2010 (Shareghi et al., 2010), ebenfalls anhand von nachberechneten und axialen Bildern. Hierbei fehlen allerdings Angaben darüber, ob pedale Gefäße eingeschlossen wurden.

Beide Studien wiesen mit 41 bzw. 28 Patienten ein relativ kleines Patientenkollektiv auf. Eine weitere Untersuchung mit 107 Patienten (Fine et al., 2006) zeigte eine Sensitivität von 88 % und eine Spezifität von 96 %, wiederum unter Ausschluss der pedalen Gefäße.

Die Unterschiede in den Werten der Spezifität zu unserer Studie lassen sich am ehesten durch die Einbeziehung der pedalen Gefäße erklären, bei denen wir relativ

schlechte Ergebnisse erreichten. Durch die anatomische Nähe der Gefäße zu Knochenstrukturen und den geringen Gefäßkaliber kann es schnell zu einer Überschätzung des Stenosegrades kommen.

Andererseits zeigten sich in unserer Studie insgesamt gute Werte für die Sensitivität, auch im Vergleich zu anderen Studien. Die Spezifität fiel wie bei Kau et al moderat aus, bessere Werte ergaben sich bei der Auswertung mit axialen Schnittbildern. Das Hinzuziehen der Schnittbilder zu den MIPs erscheint deshalb in einigen Fällen – wie schon erwähnt – sinnvoll.

#### **4.3.1.3 Ergebnisse bezogen auf die Beckenregion**

In der Beckenregion wurden anhand der DSA 75 % der Gefäße als gesund und 25 % als krank beurteilt. Mittels der MIPs wurden 54 % / 47 % (B1 / B2) als gesund und 43 % als krank bewertet. Dies zeigt, dass die beiden MIP-Bewerter in diesem Abschnitt eher zu einer Überschätzung des Stenosegrades neigten.

In der statistischen Auswertung spiegelt sich dieser Eindruck wider. Mit 69 % / 75 % (B1 / B2) errechneten sich für die Sensitivität die schlechtesten Werte aller Regionen. Die Spezifität war mit 64 % / 63 % (B1 / B2) ebenfalls nur moderat. Ähnliche Tendenzen zeigten sich anhand der Auswertung der Schnittbilder. Hier fanden sich ebenfalls die schlechtesten Werte für die Sensitivität mit 73% / 83% (B1 / B2). Die Spezifität fiel mit 70 % und 80 % (B1 / B2) relativ besser aus. Insgesamt waren die Werte der Schnittbilder besser als der MIPs, besonders bei Bewerter 2 lag der Unterschied bei über 10 % (Wilhelm, 2013).

In den beiden Vergleichsstudien wurden deutlich bessere Werte angegeben. Bei Kau et al lagen Sensitivität und Spezifität bei 89 % und 88 %. Hier wurde jedoch auch die Aorta in die Berechnung einbezogen (Kau et al., 2011). Brockmann et al errechnete Werte von 81,8 % und 95,4 % für die Sensitivität und Spezifität. Allerdings sind diese Werte nur eingeschränkt vergleichbar, da in diesem Fall ein anderer Stenosegrad (>70 %) als Cutoff-Wert für die Unterscheidung in gesund und krank verwendet wurde. Analog zu unserer Studie war der Wert für die Sensitivität der schlechteste aller Regionen.

Dieses Ergebnis erscheint überraschend, da für die CTA und die MIPs bislang in der Literatur eine gute Performance für den Beckenbereich angegeben wurde. Zudem

wurden von beiden Bewerten der MIPs nur wenige beeinflussende Artefakte im Beckenbereich identifiziert.

Möglicherweise kam es zu einer Unterschätzung der Beeinflussung durch die Artefakte, da die Beckenregion einerseits anfällig für Artefakte durch Hüft-Prothesen ist und andererseits anhand der Schnittbilder eine relativ starke Verkalkung der Gefäße bemerkt wurde (Wilhelm, 2013). Diese starke Verkalkung der Gefäßwände in Verbindung mit dem Partialvolumeneffekt<sup>1</sup> – insbesondere in Knochennähe – erschwert die Gewebdifferenzierung des Bone-Removal-Algorithmus (Brockmann et al., 2009). Eine weitere mögliche Erklärung ist ein suboptimaler Kontrastmittelbolus, der von Brockmann et al nachgewiesen wurde. Eine objektive Messung der Kontrastmittelanflutung fand in unserer Studie nicht statt. Dies wäre eine Aufgabe für Folgestudien.

#### **4.3.1.4 Ergebnisse bezogen auf die Oberschenkelregion**

Im Bereich des Oberschenkels wurden anhand der DSA 83 % der Gefäße als gesund und 16 % als krank bewertet, 1 % war nicht beurteilbar. Mittels der MIPs wurden 70 % / 67 % (B1 / B2) als gesund und 28 % / 30 % (B1 / B2) als krank identifiziert. Hier zeigt sich im Vergleich zur Beckenregion eine Annäherung der MIP-Bewertungen an die der DSA, obgleich weiterhin bei den MIPs die Tendenz zu beobachten ist, die Stenosegrade zu überschätzen.

In der statistischen Auswertung fand sich eine Steigerung der Werte auf 82 % / 83 % (B1 / B2) für die Sensitivität und auf 82 % / 80 % (B1 / B2) für die Spezifität. Im Vergleich zu den anderen Regionen wurde hier die beste Spezifität erreicht. Bei der Betrachtung der einzelnen Gefäße fiel die *A. profunda femoris* auf, hier wurden Sensitivitätswerte von 40 % errechnet, während diese sonst zwischen 80 % und 100 % lagen.

Ein Vergleich mit den Bewertungen der axialen Schnittbilder zeigt dort höhere Werte für die Sensitivität (90 % / 86 % (B1 / B2)) und ähnliche Werte für die Spezifität (79 % / 84 % (B1 / B2)).

---

<sup>1</sup> Partial- oder Teilvolumeneffekt tritt auf, wenn nicht nur die interessierenden Objekte, sondern auch die Umgebung innerhalb eines Voxels erfasst werden. Es wird dann die über das Voxel gemittelte Schichtdicke angezeigt. Somit ist eine Differenzierung verschiedener Gewebe nicht mehr möglich.

Die beiden Vergleichsstudien von Kau et al und Brockmann et al lassen sehr unterschiedliche Werte erkennen. Bei Kau et al fiel die Sensitivität auf ihren schlechtesten Wert, während die Spezifität hoch blieb und mit unseren Werten vergleichbar war (Kau et al., 2011).

Brockmann et al beschrieb wie in unserer Studie einen Anstieg der Werte.

Insgesamt erreichten wir im Oberschenkelbereich gute Werte für Sensitivität und Spezifität. Ein einheitlicher Trend unter Einbezug der anderen Studienergebnisse lässt sich jedoch nicht feststellen.

#### **4.3.1.5 Ergebnisse bezogen auf die Unterschenkelregion**

In der veröffentlichten Literatur werden die Unterschenkel- und die Fußregion als die größte Herausforderung für die CTA dargestellt. Hier fanden sich mittels der DSA 40 % gesunde und 60 % kranke Gefäße. Im Vergleich dazu zeigte sich erneut, dass die Bewerter der MIPs die Stenosegrade eher überschätzten. So wurden mittels der MIPs 11 % / 16 % (B1 / B2) der Gefäße als gesund und 87 % / 79 % (B1 / B2) als krank bewertet.

In der statistischen Analyse errechneten sich für diese Region die höchsten Werte für die Sensitivität mit 98 % / 94 % (B1 / B2). Die Spezifität fiel jedoch auf 24 % / 34 % (B1 / B2) und erreichte das schlechteste Ergebnis bei Bewerter 2.

In der Parallelstudie zur Bewertung der axialen Schnittbilder fand sich eine ähnliche Tendenz. Die Sensitivität lag mit 89 % / 84 % hoch, jedoch circa 10 % unter den Werten der MIPs. Die Spezifität fiel auf 46 % / 59 % ab, blieb aber circa 20 % über den Ergebnissen der MIPs (Wilhelm, 2013).

In der Studie von Kau et al ergab sich eine ähnliche Verteilung von hoher Sensitivität und moderater Spezifität (Kau et al., 2011), während sich bei Brockmann et al unverändert hohe Werte errechneten (Brockmann et al., 2009).

Dieses Ergebnis war überraschend, da bislang mittels CTA die besten Werte im Beckenbereich und nicht im Unterschenkel gefunden wurden. Zumindest zum Ausschluss von hämodynamisch relevanten Stenosen scheint die Dual-Energy-Methode und die Nachberechnung der MIPs ein geeignetes Verfahren zu sein. Aufgrund der schlechten Spezifitätswerte empfiehlt sich jedoch eine Nachkontrolle der

als erkrankt identifizierten Gefäße mittels der axialen Schnittbilder, da hier die Spezifität besser war.

#### **4.3.1.6 Ergebnisse bezogen auf die Fußregion**

Im Fußbereich wurden anhand der DSA 43 % gesunde und 53 % kranke Gefäße ermittelt, 4 % der Gefäße waren nicht beurteilbar. Mittels der MIPs ergab sich bei den beiden Bewertern ein unterschiedliches Bild. Bewerter 1 identifizierte 10 % gesunde und 90 % kranke Gefäße. Hier wird wiederum deutlich, dass der Stenosegrad häufig überschätzt wurde. Bewerter 2 beurteilte 30 % der Gefäße als gesund, 60 % als krank und 10 % als nicht beurteilbar. Damit lag seine Bewertung der Verteilung der DSA deutlich näher.

In der statistischen Analyse spiegelt sich dies wider. Bewerter 1 erreichte eine sehr gute Sensitivität von 94 % bei einer schlechten Spezifität von 19 %. Dieser Spezifitätswert ist der schlechteste aller Regionen. Bei Bewerter 2 errechnete sich eine ordentliche Sensitivität von 75 % (neben dem Beckenbereich seine schlechteste) und eine moderate Spezifität von 45 %.

Bei der Auswertung der Schnittbilder divergierten die Werte zwischen den beiden Bewertern auf ähnliche Weise. Bewerter 1 erreichte Sensitivitäts- und Spezifitätswerte von 77 % und 54 %, Bewerter 2 von 32 % und 81 % (Wilhelm, 2013). In der Studie von Kau et al fanden sich ebenfalls eine hohe Sensitivität und eine niedrige Spezifität (Kau et al., 2011).

Aufgrund der niedrigen Interobserverübereinstimmung lässt sich keine klare Aussage über die Wertigkeit der CTA im Fußbereich treffen. Die ermittelten Werte scheinen eher von der Beurteilung des jeweiligen Untersuchers als von der Untersuchungsmethode abzuhängen.

Insgesamt ist ein Trend zur Überschätzung der Stenosegrade anhand der MIPs zu beobachten. So wurden von Bewerter 1 23 % (absolut 226) und von Bewerter 2 20 % (absolut 198) der Gefäßsegmente als hämodynamisch verschlossen eingeschätzt, obwohl sie mittels der DSA als gesund bewertet wurden. Als häufigste Ursache einer solchen Überschätzung stellt sich eine Verkalkung des Gefäßes dar, weil es hierbei zu

---

einem Blooming-Effekt<sup>2</sup> des Kalziums kommen kann. Auch wenn die Dual-Energy-Methode eine Verbesserung bezüglich der Qualität der Beurteilung verkalkter Gefäßen mit sich bringt, bleibt ein Einfluss der Verkalkung auf die Beurteilung bestehen.

Zugleich fanden sich einige Fälle der Unterschätzung des Stenosegrades. Bewerter 1 identifizierte 4 % (absolut 38) und Bewerter 2 6 % (absolut 59) der Gefäßsegmente als hämodynamisch offen, während sie anhand der DSA als krank eingestuft wurden. Diese können eventuell aufgrund einer falschen Klassifizierung durch die DSA entstanden sein, da die Beurteilung einer distalen Stenose nach einem proximalen Verschluss anhand der DSA schwierig bis unmöglich ist.

### **4.3.2 Einfluss der Faktoren Verkalkungsgrad, Qualität und Artefakte**

Neben der Berechnung der Güte der DE-CTA sollte die Studie auch Aufschluss darüber geben, wie sich verschiedene äußere Faktoren, die erfahrungsgemäß Einfluss auf die Bildbeurteilung haben, bei den unterschiedlichen Untersuchungsverfahren ausgewirkt haben. Hierzu wurde der Einfluss der drei in der Praxis relevantesten (Stör-)Faktoren (Verkalkungsgrad, Bildqualität und Artefakte) untersucht.

#### **4.3.2.1 Verkalkungsgrad**

Eine starke Verkalkung der Gefäßwände stellt eine bekannte Einschränkung der CT-Angiographie dar. Besonders die Qualität der MIPs der Single-Energy-Geräte wird durch eine Verkalkung erheblich negativ beeinflusst. Mit der neuen Dual-Energy-Technik hofft man, auf diesem Feld eine Verbesserung zu erreichen. Daher wurde in dieser Studie untersucht, inwieweit sich die Gefäßwandverkalkung auf die Beurteilung der MIPs auswirkt.

Die Beurteilung des Verkalkungsgrades erfolgte anhand der axialen Schnittbilder. Das Ausmaß der Gefäßwandverkalkung ist in vorliegendem Fall durch eine Einteilung in vier Grade bestimmt: Grad 1 bedeutet keine Verkalkung, Grad 2 eine schwache Verkalkung von bis zu 1/3 des Kreisumfangs, Grad 3 eine moderate Verkalkung von 1/3 – 2/3 des Kreisumfangs und Grad 4 eine starke Verkalkung von mehr als 2/3 des Kreisumfangs (Wilhelm, 2013).

---

<sup>2</sup> Blooming-Effekt bezeichnet das Phänomen, dass röntgendichte Strukturen wie z.B. Verkalkungen durch Überstrahlung im CT-Bild größer erscheinen als sie es wirklich sind

Es zeigte sich, dass die Verkalkung über alle Gefäße gemittelt einen signifikanten Einfluss auf die Sensitivität und insbesondere auf die Spezifität bei beiden Bewertern hat. Hinsichtlich der Sensitivität ist die Tendenz nicht eindeutig. Die höchsten Werte von 95 % / 97 % (B1 / B2) fanden sich bei dem stärksten Verkalkungsgrad. Die Spezifität ist hingegen eindeutig negativ durch eine Verkalkung beeinflusst, sie fiel bei starker Verkalkung auf 43 % / 37 % (B1 / B2). Grund dieses Ergebnisses ist vermutlich auch hier eine Überschätzung der Stenosen durch starke Verkalkungen.

Die Bewertung der Schnittbilder erbrachte vergleichbare Ergebnisse. Stärke und Art des Einflusses waren auf ähnlichem Niveau. Überraschenderweise schnitten die MIPs nicht schlechter ab als die Schnittbilder.

Auf die einzelnen Regionen bezogen zeigte die Verkalkung nur Einfluss auf die Spezifität. Vor allem bei starker Verkalkung fiel diese deutlich ab. Einen Unterschied zwischen den einzelnen Regionen fand sich dabei nicht.

Eine Studie aus dem Jahr 2009 (Meyer et al., 2010), die die Bilder eines herkömmlichen 16-Zeilen CT Gerätes untersuchte, berichtet über ähnliche Ergebnisse. Vor allem starke Verkalkung hatte einen negativen Einfluss auf die Spezifität, bei Gefäßen unterhalb des Knies auch auf die Sensitivität. Als Prädiktoren für eine starke Gefäßwandverkalkung wurden schwere pAVK, Diabetes mellitus und Niereninsuffizienz identifiziert.

Die Studie von Brockmann untersuchte diese Frage ebenfalls und fand einen negativen Einfluss von starker Verkalkung auf Sensitivität und Spezifität. Allerdings stellte sie eine definitive Verbesserung durch die Dual-Energy-Bone-Removal-Methode im Vergleich zur herkömmlichen Methode fest.

Insgesamt stellt eine starke Verkalkung der Gefäßwände immer noch eine Herausforderung für die CTA dar, dies betrifft sowohl die axialen Schnittbilder als auch die nachberechneten MIPs. Mit leichteren Verkalkungen kommt die neue Technik jedoch gut zurecht. Es scheint sinnvoll, Patienten mit bekannt starker Gefäßwandverkalkung und/oder entsprechend hohem Risiko, wenn möglich, primär mit einer anderen Methode wie der MR-Angiographie zu untersuchen.

### 4.3.2.2 Bildqualität

Die Beurteilung der Qualität wurde vorgenommen, um einen möglichen Einfluss auf die Bewertung der Bilder zu evaluieren. Die Bilder wurden in Bezug auf ihre Qualität in „sehr gut“, „gut“, „verwendbar“ und „nicht beurteilbar“ kategorisiert.

Die DSA Abbildungen waren überwiegend von sehr guter Qualität. Die Qualität der MIPs wurde nicht durchgängig als sehr gut beurteilt. Bewerter 1 hielt sie zu etwa gleichen Teilen für gut und sehr gut. Bewerter 2 beurteilte die Qualität zum größeren Teil als gut und zu einem geringeren Anteil nur als verwendbar. Vor allem im Becken- und Oberschenkelbereich wurden die MIPs unterschiedlich bewertet, während sie im Unterschenkel- und Fußbereich ähnlich häufig die Beurteilung gut erhielten.

Die subjektiven Qualitätsmaßstäbe der Bewerter machen allerdings einen Vergleich schwierig. Festzustellen ist, dass die Qualität der DSA-Abbildungen bis in den Fußbereich auf hohem Niveau blieb, während die Qualität der MIP-Bilder distal abnahm.

In Hinblick darauf wären Maßnahmen im Vorfeld zur Vereinheitlichung der Qualitätsmaßstäbe sinnvoll gewesen.

Ein signifikanter Einfluss der Qualität zeigte sich vor allem bei der Spezifität. Bei sehr guter Bildqualität ergaben sich auch sehr gute Werte für die Spezifität (81 % / 92 %), bei verwendbarer Qualität dagegen eher mittelmäßige Werte (45 % / 55 %).

Die Sensitivität wurde nur bei Bewerter 1 durch die Qualität signifikant beeinflusst. Ihr bester Wert wurde bei guter Qualität, ihr schlechtester bei sehr guter Qualität erzielt. Über die Gründe für dieses überraschende Ergebnis kann auf dieser Datengrundlage nur spekuliert werden.

Bis auf die Parallelstudie, die die axialen Schnittbilder untersuchte, fanden sich keine weiteren Vergleichsstudien. Bei der Bewertung der Schnittbilder wirkte sich der Einfluss der Qualität signifikant nur auf die Spezifität aus, und zwar mit uneinheitlichen Ergebnissen (Wilhelm, 2013).

Aufgrund der variierenden Ergebnisse ist eine abschließende Beurteilung des Einflusses der Qualität auf Sensitivität und Spezifität des Verfahrens nicht möglich.

### 4.3.2.3 Artefakte

Bei der Beurteilung der Artefakte sollte zunächst Stellung genommen werden, ob überhaupt ein solches vorhanden war. Dabei gab es die Kategorien „kein Artefakt“, „nicht beeinflussendes Artefakt“ und „beeinflussendes Artefakt“. Bei einem vorhandenen Artefakt wurde nach dessen Art gefragt.

Die Abbildungen der DSA waren fast alle (96 %) artefaktfrei; traten Artefakte auf, so war es immer eine suboptimale Kontrastierung. Bei den MIPs lagen in 15 % / 20 % (B1/B2) der Fälle Artefakte vor. Sie wurden hauptsächlich in die Kategorien venöse Kontamination, Verkalkung und sonstiges Artefakt eingeordnet.

Welche Artefaktart vorherrschte, hing sowohl von der Region als auch vom Bewerter ab. Über alle Gefäße betrachtet entschied sich Bewerter 1 am häufigsten für venöse Kontamination, während Bewerter 2 am häufigsten Verkalkung nannte.

Im Beckenbereich differierten die Beurteilungen der beiden Bewerter deutlich. Bewerter 1 fand dort am häufigsten sonstige Artefakte, die oftmals durch Hüftprothesen verursacht wurden, Bewerter 2 sah dagegen hauptsächlich Verkalkungen. Im Oberschenkelbereich wurde die Bewertung gestört durch Verkalkung, venöse Kontamination und sonstige Artefakte. Im Unterschenkel- und Fußbereich sah Bewerter 1 eine venöse Kontamination als häufigste Störursache, Bewerter 2 führte auch hier wie im Beckenbereich die Ursache auf Verkalkung zurück.

Wie auch beim Faktor Qualität macht die unterschiedliche Bewertung der Artefakte durch die Untersucher einen direkten Vergleich schwierig. Immerhin ist festzuhalten, dass die MIPs artefaktanfälliger zu sein scheinen als die Untersuchung mit der DSA.

Einen signifikanten Einfluss hatten die Artefakte auf die Spezifität. Sie fiel dort am höchsten aus, wo keine Artefakte vorhanden waren. Bei beeinflussenden Artefakten sank sie auf 38 % bzw. 50 %. Die Sensitivität wurde nicht beeinflusst. Auch die Art des Artefaktes hat keinen Einfluss auf die diagnostische Güte.

Insgesamt ließen die sehr subjektiven Einschätzungen zur Qualität der Bilder und zu den verschiedenen Artefakten keine allgemeingültigen Aussagen über Art und Ausmaß ihres Einflusses auf die diagnostische Güte zu. Solche Aussagen waren allerdings auch

nicht primäres Ziel dieser Studie. Hierzu bedarf es weiterer, am besten prospektiver Studien, bei denen vorab eine gemeinsame Grundlage zur Beurteilung der Qualität und Artefakte festzulegen wäre.

### **4.3.3 CTA-Interobserververgleich**

Um eine Aussage über die Interobservervariabilität des Verfahrens machen zu können, wurde das Ausmaß der Übereinstimmungen der Beurteilungen beider MIP-Bewerter untersucht. Denn nicht nur die diagnostische Güte ist für die Beurteilung eines Verfahrens relevant, sondern auch die Reproduzierbarkeit seiner Ergebnisse durch unterschiedliche Untersucher.

#### **4.3.3.1 Übereinstimmung bei der Diagnose**

Es wurden 2530 Gefäßsegmente hinsichtlich ihrer Einteilung der Stenose (hämodynamisch irrelevant vs. relevant) miteinander verglichen. Für die Gesamtheit der Gefäße wurde eine starke Übereinstimmung (Kappa = 0,71) erreicht. Aufgeschlüsselt für die einzelnen Regionen ergaben sich ebenfalls eine starke Übereinstimmung im Oberschenkel- (Kappa = 0,7) und Unterschenkelbereich (Kappa = 0,67). Im Becken- und Fußbereich war die Übereinstimmung geringer, aber immerhin noch deutlich (Kappa = 0,58 und Kappa = 0,43). Im Vergleich der einzelnen Gefäße fiel die Kongruenz bei der Aorta und der *A. tibialis posterior* mit Kappa-Werten von 0,71 am höchsten aus.

Ähnliche Ergebnisse wurden auch in der Parallelstudie errechnet. Bei der Beurteilung der Schnittbilder war die Übereinstimmung über alle Gefäße ebenfalls stark (Kappa = 0,623), ebenso zeigte sich die gleiche Verteilung für die einzelnen Regionen mit dem schlechtesten Wert in der Fußregion (Kappa = 0,362). Insgesamt lagen alle Werte jedoch etwas niedriger als bei den MIPs. Auch bei der Studie von Kau et al wurden ähnliche Übereinstimmungen beschrieben, der schlechteste Wert wurde ebenfalls im Fußbereich ermittelt.

#### **4.3.3.2 Qualität**

Bei der Beurteilung der Bildqualität zeigten beide Bewerter, wie schon erwähnt, deutliche Unterschiede. Über alle Abschnitte hinweg – mit Ausnahme des

Fußbereiches – stuft Bewerber 1 die Qualität um eine Stufe besser ein als Bewerber 2. Die schwache Übereinstimmung ( $Kappa = 0,13$ ) ist deshalb keine Überraschung.

Um solche divergierenden Bewertungen zu vermeiden und eine tragfähige Auswertung der Qualitätsbeurteilung oder des Qualitätseinflusses zu ermöglichen, wäre es sinnvoll gewesen, im Vorfeld beispielweise beiden Bewertern vorbereitete Beispiele für die verschiedenen Qualitätskategorien an die Hand zu geben, um auf diese Weise den Einfluss subjektiven Empfindens auf die Beurteilung der Qualität zu reduzieren.

#### **4.3.3.3 Artefakte**

Bei der Frage nach Artefakten, sowohl bezüglich ihres Auftretens als auch ihrer Art, zeigte sich bei den beiden Bewertern über alle Gefäße gemittelt nur eine schwache Übereinstimmung mit einem Kappa von 0,29 bzw. 0,34. Auf die einzelnen Regionen bezogen gab es im Fußbereich für beide Artefaktberechnungen eine deutliche Übereinstimmung, im Unterschenkel bei der Bewertung der Artefaktart. Auffallend war, dass sich die Bewerber häufig uneins über das Vorliegen eines Artefaktes waren.

Wie bei der Frage nach der Qualität zeigte sich auch hier, dass die Frage nach Artefakten sehr subjektiv beantwortet wurde. Ebenfalls subjektiv und damit unterschiedlich fiel die Beurteilung dazu aus, ob ein Artefakt beeinflussend war. Wie bei dem Qualitätsstandard wäre auch zu dieser Frage ein Austausch zwischen den Bewertern im Vorfeld sinnvoll gewesen, um eine gemeinsame Bewertungsgrundlage zu schaffen. Für weitere Studien ist es somit empfehlenswert, im Vorfeld Bewertungsstandards zu definieren und entsprechende Beispiele an die Hand zu geben, um dadurch allgemeingültigere Aussagen ableiten zu können.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass eine sehr gute Übereinstimmung für die Beantwortung der Hauptfragestellung nach gesund oder krank vorliegt. Die Interobservervariabilität ist hier gering, so dass eine gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse gegeben ist.

Für die Frage nach der Qualität und nach Artefakte ist dies nicht der Fall. Eine Absprache im Vorfeld erscheint notwendig, um eine gemeinsame Bewertungsgrundlage zu schaffen.

---

## 4.4 Limitationen

Das Ergebnis der Studie ist unter einigen Limitationen zu sehen:

1. Die Patientenauswahl erfolgte aus dem klinischen Alltag heraus. Daraus ergab sich ein vorselektiertes Patientenkollektiv, welches weder repräsentativ für die Allgemeinbevölkerung noch für die Gruppe der beschwerdefreien Risikopatienten ist. Zudem unterscheidet es sich in der Zusammensetzung auch im Vergleich zu anderen Studien. Die Schwere der pAVK, Nebenerkrankungen und demographische Besonderheiten wurden im Vorfeld nicht festgelegt. Unsere Patienten war eher schwer betroffene Patienten mit einem pAVK Stadium 2b oder höher oder einer akuten Ischämie. Jedoch spiegelt unser Patientengut den klinischen Alltag wider, was wiederum eine hohe Relevanz für die Praxis bedeutet.

2. Die DSA-Untersuchung wurde meist nur für die betroffene Extremität durchgeführt, sodass nur circa 1/3 der bewerteten CTA-Gefäßsegmente mit denen der DSA verglichen werden konnten.

3. Beim Interobserververgleich wurden auch die gesunden Extremitäten verglichen. Das kann eventuell zu einer Überschätzung der Übereinstimmung zwischen beiden Bewertern führen.

4. Wie bereits diskutiert, wäre es sinnvoll gewesen, im Vorfeld eine gemeinsame Grundlage zur Bewertung der Bildqualität und der Artefakte zu schaffen, um eine objektive Auswertung vornehmen zu können. So spiegeln die Ergebnisse eher den klinischen Alltag wider, in dem die befundenden Ärzte meist ihre eigenen und daher leicht unterschiedlichen Maßstäbe verwenden.

5. Generell bedeutet die retrospektive Natur der Studie eine Limitation.

## 4.5 Empfehlung / Ausblick

Aus den Ergebnissen dieser Arbeit lassen sich einige Empfehlungen für den klinischen Alltag ableiten. Aus den verschiedenen Stärken und Schwächen der Beurteilung mithilfe der MIPs bzw. Schnittbilder ergibt sich, dass ein mehrstufiges Vorgehen, das

---

die beiden Verfahren kombiniert, sinnvoll wäre. Im Folgenden werde ich ein solches Vorgehen grob skizzieren.

Nach erfolgter Untersuchung des Patienten erfolgt zunächst die Durchsicht der MIPs. Bei einem negativen Befund des gesamten Beins ist dies generell aufgrund der hohen Sensitivität ausreichend und es ist zunächst keine weitere Diagnostik nötig. Wird aufgrund der Symptome des Patienten eine Stenose im Bereich des Oberschenkels vermutet, können, um sicher zu gehen, die Schnittbilder hinzugezogen werden, da diese in dieser Region höhere Werte für die Sensitivität aufwiesen.

Bei einem positiven Befund sollten immer die Schnittbilder für die jeweilige Lokalisation konsultiert werden, da die Werte für die Spezifität bei den Schnittbildern in der Vergleichsarbeit meist höher lagen. Dies gilt insbesondere im Bereich des Unterschenkels und des Fußes.

Wird eine starke Gefäßwandverkalkung vermutet oder ist gar bekannt, so sollte im Vorfeld über ein anderes diagnostisches Verfahren nachgedacht werden. Dies gilt vor allem dann, wenn ein Verdacht auf eine Stenose im Beckenbereich vorliegt.

Als nächstes wäre eine Evaluierung der Kombination von MIPs und Schnittbildern, insbesondere des eben geschilderten, mehrstufigen Verfahrens wünschenswert. Interessant ist in diesem Zusammenhang, durch welche Vorgehensweise man die besten Ergebnisse bei geringstem zeitlichem/personellem/finanziellen Aufwand erhält und inwiefern das Wissen und die Erfahrung der Beurteiler das Ergebnis beeinflusst. Ziel einer solchen Studie wäre die Erstellung eines erfahrungsangepassten Protokolls zur Beurteilung der CTA-Bilder.

Desweiteren wäre es interessant, die anderen Nachbearbeitungsverfahren zu evaluieren. Eine Studie, die mehrere Nachbearbeitungsverfahren und eine Kombination aus diesen vergleicht, wäre ein vielversprechender nächster Schritt. Generell immer relevant bei der CTA ist die Betrachtung der Kontrastmitteldosis und des Timings der Kontrastmittelgabe. Wie man die Kontrastmittelanflutung optimal mit der Bildakquise abstimmt und wie das Timing der Kontrastmittelanflutung die Genauigkeit der Detektion von Stenosen beeinflusst sind zwei wichtige Fragen in diesem Zusammenhang (Brockmann et al., 2009; Meyer et al., 2008).

Schließlich stellt sich die Frage nach dem optimalen Einsatz jedes bildgebenden Verfahrens. Neben den offensichtlichen Vor- und Nachteilen von CTA und MRA gibt es patientenabhängige Stärken und Schwächen für beide Verfahren. Daher wäre eine auf den Patienten angepasste prädiagnostische Einschätzung, welche die geeignetste Bildgebung ist, äußerst wertvoll. Dazu bedarf es geeigneter Marker zur Abschätzung von z.B. starker Gefäßwandverkalkung (Meyer et al., 2008; Meyer et al., 2010; Ouwendijk et al., 2006).

Für die Zukunft sind weitere Verbesserungen sowohl bei der Datenerhebung durch Erweiterung der Detektorenanzahl, Reduktion der Schichtdicke, Strahlendosisreduktion und eine beschleunigte Datenakquisition, als auch bei der Bildnachbearbeitung zu erwarten. Diese Entwicklungen werden die Bildqualität weiter steigern, wovon v. a. die Darstellung im Unterschenkel- und Fußbereich profitieren dürfte. All dies wird die Diagnostik mittels CTA weiter verbessern und vorantreiben.

# 5 Zusammenfassung

---

Die Dual-Energy-CT-Angiographie (DE-CTA) hat aufgrund ihrer guten Darstellungsmöglichkeiten von Gefäßen inklusive Gefäßwandverkalkungen, Stents und multisegmentaler Stenosen mittlerweile einen hohen Stellenwert in der Gefäßdiagnostik erreicht. Sie erlaubt durch die Erstellung dreidimensionaler Datensätze eine Nachbearbeitung der Bilder mit einer Reihe von Algorithmen, zum Beispiel die Berechnung von Maximum-Intensity-Projektionen (MIPs).

In dieser Arbeit wurde die Genauigkeit der Detektion hämodynamisch relevanter Stenosen anhand der MIPs einer 64-Zeilen-Dual-Energy-CT-Angiographie evaluiert. Als Konsequenz einer Detektion ergibt sich im klinischen Alltag die Indikation einer digitalen Subtraktionsangiographie (DSA). Diese diente in der Studie als Goldstandard. Es wurde eine getrennte Beurteilung der MIPs und der axialen Schnittbilder derselben Datensätze in einem großen Patientenkollektiv durchgeführt. Somit ist unter anderem ein direkter Vergleich der Ergebnisse der MIPs und axialen Schnittbilder möglich.

Es wurden 94 Patienten (5 Patienten wurden zweimal eingeschlossen), die die Symptome einer pAVK aufwiesen und innerhalb von 30 Tagen sowohl mittels DE-CTA als auch DSA untersucht worden waren, in die Untersuchung eingeschlossen. Daraus ergaben sich Datensätze aus 99 Untersuchungen (entsprechend 198 Extremitäten). Die auf dieser Grundlage berechneten MIPs wurden mit den DSA-Bildern verglichen. Es erfolgte jeweils eine Beurteilung des Stenosegrades der Gefäße, der Qualität der Bilder und eventuell vorhandener Artefakte.

Für die Hauptfragestellung, nämlich die Detektion mindestens einer hämodynamisch relevanten Stenose im gesamten Bein, die dann eine Indikation zur weiteren Untersuchung mittels DSA darstellt, wurde in unserer Studie eine sehr gute diagnostische Genauigkeit der 64-Zeilen-DE-CTA nachgewiesen. Die Werte für die Sensitivität lagen beurteilerabhängig (zwei Beurteiler) bei 95% und 100%, die der Spezifität deutlich niedriger bei 58% und 42%. Eine hohe Sensitivität ist für die Verlässlichkeit eines Screeningverfahrens wie die DE-CTA erwünscht, da vermieden

werden muss, erkrankte Personen fälschlicherweise als gesund zu klassifizieren. Umgekehrt mussten wir jedoch feststellen, dass die Spezifität eher gering war. Für den klinischen Alltag empfiehlt sich daher ein mehrstufiges Vorgehen mit Durchsicht der MIP-Bilder, mit eventuellem Rückgriff auf die Schnittbilder und anschließender Indikationsstellung und Durchführung der DSA.

Weiterhin wurden die Sensitivität und Spezifität sowohl aller Gefäße als auch nach Regionen aufgeteilt berechnet. Hierbei fand sich eine gute Korrelation mit anderen, bereits veröffentlichten Studien. In vielen Fällen erwiesen sich die MIPs der DE-CTA als Methode ausreichend in der präinterventionellen Diagnostik.

Die Genauigkeit der MIPs hing unter anderem von der Region und dem Verkalkungsgrad ab. Beispielsweise ergab sich in der Beckenregion eine eingeschränkte Aussagekraft, was auf eine starke Gefäßwandverkalkung und Artefakte durch Hüft-TEPs zurückzuführen ist. Im Oberschenkelbereich fanden sich hingegen hohe Werte für Sensitivität und Spezifität. Im Unterschenkel- und Fußbereich wiederum wurde eine sehr hohe Sensitivität erzielt, während die Spezifität dort eher niedrig ausfiel. Gerade in dieser Region lohnt sich bei positiven Befunden ein Blick in die Schnittbilder, bei denen höhere Werte für die Spezifität errechnet wurden. Ebenso sind die Schnittbilder wichtig zur Beurteilung von Stents sowie des Verkalkungsgrades. Bei Patienten mit starker Gefäßwandverkalkung, insbesondere im Beckenbereich, sollte eine alternative Bildgebung wie die MRA in Betracht gezogen werden.

Im Interobserververgleich fand sich bei der Beurteilung des Stenosegrades eine starke Übereinstimmung zwischen den beiden Beurteilern der MIPs (max. kappa = 0,71). Die Beurteilung der Bildqualität und der Artefakte war jedoch stark bewerterabhängig, die Übereinstimmung dementsprechend niedrig. Bei zukünftigen Studien ist eine vorherige Absprache zwischen den Bewertern, verbunden mit einer Festlegung auf gemeinsame, objektive Beurteilungskriterien zu empfehlen, um die Vergleichbarkeit zu erhöhen.

Für die Zukunft sind weitere Verbesserungen bei der Datenerhebung und Bildqualität durch Reduktion der Schichtdicke, Strahlendosisreduktion und eine beschleunigte Datenakquisition zu erwarten. Diese Entwicklung wird die Diagnostik mittels CTA weiter vorantreiben.

Als Konklusion unserer Studie lässt sich festhalten, dass die DE-CTA mit seiner hohen Sensitivität, geringen Invasivität und vergleichsweise geringen Kosten als diagnostisches Screeningverfahren für den klinischen Alltag geeignet ist.

## 5.1 Summary

The purpose of this study was to evaluate the diagnostic accuracy of dual-energy 64-row computed tomography angiography (CTA) in patients with symptomatic lower extremity peripheral arterial occlusive disease or critical limb ischemia, compared with conventional digital subtraction angiography (DSA) serving as the reference standard.

DSA and CTA were consecutively performed in 94 patients (representing 99 examinations and 198 cases). Classification of stenosis (normal, mild, moderate, severe, occluded), extent of calcification, image quality and artifacts were visually observed in maximum intensity projections (MIPs) and cross-sectional images by two radiologists and in DSA images by a third radiologist. For this dissertation only the MIP scores were used and compared to the DSA scores. Accuracy, sensitivity and specificity were calculated per extremity, per region and for all arteries. Agreement between CTA scorers was evaluated by a Cohen kappa statistic.

Of 198 cases 111 were assessable on both DSA and CTA. Sensitivity and specificity of CTA were 100 % / 95 % (two scorers) and 58 % / 42 % detecting significant stenosis per leg. The agreement between both CTA readers was good. Calcification levels and the localisation of the stenosis showed a significant effect on detecting the correct grade of stenosis.

In the pelvic region, the high degree of calcifications lead to difficulties in the evaluation. In the crural and pedal region, the proximity between calcified vessels and bony structures caused suboptimal results for the specificity.

In conclusion the MIPs of the 64-row dual-energy CTA are reliable for classification of significant stenosis in patients with suspected peripheral arterial occlusive disease.

Considering the good results of this study, future developments, such as high-pitch-acquisition-modus and dynamic-CTA, promise excellent results.

# 6 Anhang

Strahlendiagnostik: Becken-Bein-DSA:: <http://info/index.php?id=9111>



## Klinikum der Philipps-Universität Marburg

### Strahlendiagnostik intern



Arbeitsplätze > Intervention > F - Intervention-OP > Durchführung > Medizinische Informationen > Arbeitsanweisungen > Becken-Bein-DSA

Suche:

Terminkalender

Forum

Startseite

News

Ziele

Rahmenbedingungen

Organisation

Personal

Finanzen

Gebäude

**Arbeitsplätze**

Diagnostik

**Intervention**

Kinderradiologie

Senologie

Serviceeinrichtungen

Forschungslabor

Karl-von-Frisch-Straße

Osteodensitometrie

Material (Verbrauch, Mobilien)

Information

Produktlinien

Prozesse

Ergebnisse

Kunden

Lieferanten

Order Entry

Result Report

Externe Links

Index von A-Z

Fragen / Anregungen

Intranet

WWW-Homepage

Upload

### Becken-Bein-DSA

|  |   |   |
|--|---|---|
| <p><b>Indikationen:</b></p> <p>pAVK II B - IV, Kontraindikationen zu MRT-Angio</p>   | <p><b>Vorbereitung:</b></p> <p>Aufklärung (am Vortag), HI-IQ-Bogen<br/>                 Klärung der Risikofaktoren<br/>                 Allergianamnese, ggf. Vorbereitung nach Lasser-Schema<br/>                 Metformin 3 Tage vor der Untersuchung absetzen<br/>                 Gerinnungsblutwerte (Quick ab 40, Marcumar absetzen)<br/>                 Nierenfunktion (Krea. 1,4-2 mmol/L - Vorwässern sonst CO<sub>2</sub>-DSA, bzw. Gadoliniumheiate, was ext aufzuklären ist)<br/>                 Schilddrüsenanamnese und Blutwerte, ggf. Irena<br/>                 Rasur der Punktionsstelle<br/>                 Venöser Zugang</p> | <p><b>Ablauf:</b></p> <p>Steriles Abdecken<br/>                 Zugang retrograd femoral (kontralateral der Läsik bzw. brachial)<br/>                 Etagedarstellung überlappend, Becken AP, RA 30 und LAO 30.<br/>                 Aufnahmeprogramm: Abdomen 2 B/sec, Szenenlaufzeit 20 sec für die Darstellung der infrarenalen Aorta und der Beckenetaie<br/>                 Aufnahmeprogramm: Extremitäten 1 B/sec, Szenenlaufzeit bis zu 60 sec für die Darstellung i Beine und der Füße .<br/>                 Die Länge der Szene wird individuell verkürzt.<br/>                 Es wird mit 15P/sec durchleuchtet.<br/>                 Einstellung der Druckspritze:<br/>                 Becken Flow von 15 ml/sec und Volumen von 15 ml; Röntgenverzögerung ist auf 0 sec und die Injektionsverzögerung auf 2 sec eingestellt.<br/>                 Ab den Knien abwärts wird das Volumen an der Druckspritze auf 25 ml erhöht, der Flow bleibt weiterhin auf 15 ml/sec, die Röntgenverzögerung wird individuell erhöht; die Injektionsverzögerung wird auf 0 sec reduziert.<br/>                 Ggf. selektive DSA kontralateral in Cross-over, homolateral über die Schleuse<br/>                 Abdrücken, Druckverband</p> |
| <p><b>Material:</b></p> <p>Steriler Tisch<br/>                 Kochsalz mit Heparin<br/>                 KM<br/>                 Punktionsnadel (18G)<br/>                 Bei transbrachialem Zugang: Micropuncture Set, und den Ultraschall mit sterilem Bezug und sterilem Sonogel bereitstellen<br/>                 Schleuse<br/>                 Führungsdraht Terumo gebogen<br/>                 Pigtailkatheter 65 cm lang, bei transbrachialer<br/>                 Punktion Pigtailkatheter 90 cm lang<br/>                 für die Crossover-Technik einen Renaliskatheter und einen Sidewinder 2 bereit legen</p> | <p><b>Dokumentation:</b></p> <p>Kurzbefund, HI-IQ-Bogen, DFP, DL</p>  | <p><b>Patientenvorbereitung:</b></p> <p>Fragestellungsabhängige Verwendung der Gonadenschutzmaterialien<br/>                 Umschließende Hodenkapselfen bei Männern</p>   |

Stand: 21.03.2

1 von 2 16.01.2012 17:23

Abbildung 6.1: DSA Protokoll der Klinik für Strahlendiagnostik des UKGM

## Lagerung BBA-CT

Stand 13.02.2009

- |                               |  |
|-------------------------------|--|
| Vorbereitung                  | <ul style="list-style-type: none"><li>· Aufrufen und Begrüßen des Patienten /der Patientin</li><li>· Wenn nicht vorhanden und falls benötigt: Legen einer Nadel im Vorbereitungsraum (mindestens grüne Braunüle).</li><li>· Patient in Kabine holen und soweit wie möglich entkleiden lassen, ggfs. Anlegen eines Flügelhemdchens.</li><li>· Erklären des weiteren Vorgehens. Kurze Kontrollanamnese durch MTRA bezüglich Allergien, Schilddrüsenerkrankungen, Metformineinnahme und Kontrolle, ob der richtige Patient aufgerufen wurde.</li><li>· Metallteile und Fremdkörper im Untersuchungsvolumen entfernen lassen</li><li>· Kontrastmittelspritze füllen (KM- und Kochsalzkolben), Anschließen eines Verlängerungsschlauchs („Schweineschwänzchen“) und Entlüftung des Schlauchsystems.</li></ul> |
| Lagerung                      | <ul style="list-style-type: none"><li>· Falls noch nicht geschehen: Legen eines Zugangs (mindestens grüne Braunüle, wenn Highflow-ZVK liegt, kann auch der verwendet werden).</li><li>· Je nach Untersuchung: Zentrale Lagerung auf dem Tisch in Rückenlage, Knie möglichst eng beieinander, nötigenfalls Fixierung der Beine mit Gurt.</li><li>· Falls benötigt: i.v.-Medikamentengabe (Fenistil, Ranitic)</li><li>· Anschließen des Kontrastmittels</li><li>· Einstellen der Tischhöhe</li><li>· Arme über dem Kopf lagern</li><li>· Patient die Augen schließen lassen</li><li>· Einstellen des Laserkreuzes auf das obere Ende des zu untersuchenden Volumens und seitlich in Kniehöhe</li></ul>   |
| Durchführung der Untersuchung |  |

**Abbildung 6.2: Lagerungsprotokoll für die Bein-Becken-Angiographie im CT**

Untitled Document <http://info.med.uni-marburg.de/fileadmin/strahlendiagnostik/Arbeitspl...>

**Kontrastmittelprotokoll DE BBA**  
Stand: 01.11.2008

**Notwendiger Zugang:** Grüne Brauntüle (18 G)

**Verwendetes Kontrastmittel:** Imeron 370, vorgewärmt

**Technische Parameter :**

|             | Phase 1 | Phase 2             | Phase 3        |
|-------------|---------|---------------------|----------------|
| Substanz    | KM      | 50% KM<br>+50% NaCl | Kochsalzlösung |
| Volumen     | 80      | 80                  | 50             |
| Flow [ml/s] | 4,0     | 4,0                 | 4,0            |

1 von 1 16.01.2012 17:16

**Abbildung 6.3: Kontrastmittelprotokoll der Dual-Energy-Becken-Bein-Angiographie im CT**

Laufende-Bogen-Nr.:  
PID:  
Beurteilungs-Datum:

Geb.-datum

Datum DSA

Datum DECTA

Beurteiler

0  nur MIP  plus Schnittbilder  0  
1  nur MIP  plus Schnittbilder  0

DSA  
1. DECTA  
2. DECTA

Links

Rechts

|                            | Stenose | Verkalkungsgrad | Qualität | Artef I | Artef II |
|----------------------------|---------|-----------------|----------|---------|----------|
| A. abdominalis             |         |                 |          |         |          |
| A. iliaca communis         |         |                 |          |         |          |
| A. iliaca interna          |         |                 |          |         |          |
| A. iliaca externa          |         |                 |          |         |          |
| A. femoralis communis      |         |                 |          |         |          |
| Femoralsigabul             |         |                 |          |         |          |
| A. profunda femoris        |         |                 |          |         |          |
| A. femoralis superficialis |         |                 |          |         |          |
| A. poplitea                |         |                 |          |         |          |
| T. Tibiofibularis          |         |                 |          |         |          |
| A. tibialis anterior       |         |                 |          |         |          |
| A. dorsalis pedis          |         |                 |          |         |          |
| A. tibialis posterior      |         |                 |          |         |          |
| A. plantaris pedis         |         |                 |          |         |          |
| A. fibularis               |         |                 |          |         |          |

Legende:

|                  | Formular_Eintrag:   |
|------------------|---|
| Stenose          | keine ..... 1<br>55% ..... 2<br>51-70% ..... 3<br>71-99% ..... 4<br>100% ..... 5  |
| Verkalkungs-grad | keine Verkalkung ..... 1<br>< 1/3 des Kreisumfangs / gering ..... 2<br>1/3 und < 2/3 des Kreisumfangs / mittel ..... 3<br>> 2/3 des Kreisumfangs / stark ..... 4<br>sehr gut ..... 4<br>gut ..... 3<br>verwendbar ..... 2<br>nicht beurbar ..... 99 |
| Qualität         | sehr gut ..... 4<br>gut ..... 3<br>verwendbar ..... 2<br>nicht beurbar ..... 99   |

Formular\_Eintrag:

|              | Formular_Eintrag:  |
|--------------|--|
| Artefakte I  | keine ..... 1<br>nicht beeinflusst ..... 2<br>beeinflusst ..... 3  |
| Artefakte II | suboptimale Kontrastierung ..... 1<br>Bewertung ..... 2<br>verbleibende Kontrastierung ..... 3<br>Verkalkung ..... 4<br>Sondierung ..... 5 |
| Beurteiler   | 1. DECTA ..... 1<br>DSA ..... 2<br>2. DECTA ..... 3  |

Bemerkungen:

Abbildung 6.4: Auswertebogen zur Beurteilung der DSA- und CTA-Bilder

Dieses Gefäßsegment wurde nicht abgebildet (z.B. keine DSA, Amputation)

Datenbank\_Codex 77:

Tabelle 6.1: Häufigkeiten der Stenosegrade über alle Gefäße

| Gefäß | ST 1 |             | ST 2 |             | ST 3 |             | ST 4 |             | ST 5 |             | 77  |             | 99   |             | Summe |     |    |     |      |
|-------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|-----|-------------|------|-------------|-------|-----|----|-----|------|
|       | DSA  | MIP_1 MIP_2 | DSA | MIP_1 MIP_2 | DSA  | MIP_1 MIP_2 |       |     |    |     |      |
| AA    | 16   | 67          | 74   | 1           | 23   | 18          | 1    | 6           | 1    | 0           | 1   | 1           | 81   | 1           | 1     | 0   | 1  | 2   | 297  |
| AIC   | 21   | 126         | 94   | 6           | 26   | 42          | 2    | 21          | 31   | 7           | 12  | 2           | 157  | 0           | 0     | 0   | 5  | 14  | 594  |
| AII   | 29   | 98          | 70   | 2           | 5    | 41          | 1    | 12          | 31   | 1           | 58  | 19          | 160  | 1           | 0     | 3   | 4  | 14  | 594  |
| AIE   | 27   | 149         | 118  | 2           | 11   | 27          | 1    | 10          | 12   | 7           | 13  | 11          | 159  | 0           | 1     | 0   | 3  | 11  | 594  |
| AFC   | 73   | 141         | 145  | 2           | 19   | 18          | 0    | 10          | 6    | 1           | 12  | 6           | 121  | 1           | 2     | 1   | 0  | 5   | 594  |
| FG    | 80   | 160         | 155  | 3           | 4    | 8           | 0    | 8           | 5    | 1           | 11  | 8           | 112  | 1           | 2     | 1   | 1  | 4   | 594  |
| APF   | 74   | 158         | 125  | 8           | 5    | 28          | 0    | 1           | 14   | 4           | 21  | 10          | 111  | 1           | 2     | 0   | 0  | 3   | 594  |
| AFS   | 41   | 58          | 46   | 9           | 33   | 42          | 4    | 15          | 26   | 15          | 42  | 27          | 103  | 2           | 3     | 1   | 6  | 6   | 594  |
| AP    | 54   | 86          | 73   | 11          | 20   | 34          | 2    | 19          | 24   | 8           | 36  | 16          | 112  | 7           | 5     | 3   | 5  | 4   | 594  |
| TTF   | 40   | 72          | 68   | 8           | 1    | 7           | 2    | 9           | 15   | 9           | 73  | 41          | 118  | 7           | 12    | 3   | 5  | 14  | 594  |
| ATA   | 22   | 14          | 19   | 3           | 0    | 3           | 1    | 2           | 3    | 9           | 40  | 18          | 121  | 6           | 6     | 3   | 5  | 14  | 594  |
| ADP   | 30   | 29          | 42   | 1           | 0    | 4           | 0    | 0           | 2    | 4           | 13  | 4           | 138  | 7           | 10    | 3   | 9  | 17  | 594  |
| ATP   | 9    | 29          | 34   | 1           | 0    | 3           | 1    | 1           | 3    | 7           | 63  | 31          | 122  | 5           | 6     | 3   | 6  | 14  | 594  |
| APP   | 20   | 46          | 74   | 1           | 0    | 10          | 0    | 1           | 1    | 3           | 41  | 7           | 136  | 7           | 10    | 2   | 10 | 18  | 594  |
| AF    | 39   | 24          | 41   | 4           | 0    | 4           | 3    | 2           | 4    | 9           | 40  | 31          | 122  | 6           | 6     | 3   | 6  | 14  | 594  |
| Summe | 575  | 1257        | 1178 | 62          | 147  | 289         | 18   | 117         | 178  | 85          | 475 | 233         | 1873 | 52          | 66    | 26  | 66 | 154 | 8613 |
|       |      | 3010        |      |             | 498  |             | 313  |             |      | 793         |     |             | 1991 |             |       | 246 |    |     |      |

DSA – digitale Substraktionsangiographie

MIP\_1 – CTA, MIP Bilder, Bewerter 1

MIP\_2 – CTA, MIP Bilder, Bewerter 2

ST 1 – keine Stenose

ST 2 – Stenose &lt; 51%

ST 3 – Stenose 51-70%

ST 4 – Stenose 71-99%

ST 5 – Gefäßsegment verschlossen

77 – Gefäßsegment nicht abgebildet

99 – Gefäßsegment nicht beurteilbar

AA – Aorta abdominalis

AIC – Arteria iliaca communis

AII – Arteria iliaca interna

AIE – Arteria iliaca externa

AFC – Arteria femoralis communis

FG – Femoralisgabel

APF – Arteria profunda femoralis

AFS – Arteria femoralis superficialis

AP – Arteria poplitea

TTF – Truncus tibiofibularis

ATA – Arteria tibialis anterior

ADP – Arteria dorsalis pedis

ATP – Arteria tibialis posterior

APP – Arteria plantaris pedis

AF – Arteria fibularis

Tabelle 6.2: Häufigkeiten der einzelnen Qualitätsbeurteilungen über alle Gefäße

| Gefäß    | Q 2 |               | Q 3 |                | Q 4 |               | 77  |             | 99  |             | Summe |
|----------|-----|---------------|-----|----------------|-----|---------------|-----|-------------|-----|-------------|-------|
|          | DSA | MIP_1 MIP_2   | DSA | MIP_1 MIP_2    | DSA | MIP_1 MIP_2   | DSA | MIP_1 MIP_2 | DSA | MIP_1 MIP_2 |       |
| Aorta    | 0   | 5 21          | 0   | 11 61          | 18  | 81 14         | 81  | 1 1         | 0   | 1 2         | 297   |
| Becken   | 0   | 20 42         | 0   | 45 119         | 42  | 128 21        | 156 | 0 1         | 0   | 5 15        | 594   |
| OS       | 0   | 6 18          | 3   | 58 149         | 95  | 125 24        | 100 | 1 2         | 0   | 8 5         | 594   |
| US + Fuß | 1   | 29 32         | 2   | 138 139        | 72  | 15 5          | 120 | 5 6         | 3   | 11 16       | 594   |
| Summe    | 1   | 60 113<br>174 | 5   | 252 468<br>725 | 227 | 349 64<br>640 | 457 | 7 10<br>474 | 3   | 25 38<br>66 | 2079  |

DSA – digitale Substraktionsangiographie

MIP\_1 – CTA, MIP Bilder, Bewerter 1

MIP\_2 – CTA, MIP Bilder, Bewerter 2

US – Unterschenkel

OS – Oberschenkel

Q 2 – verwendbare Qualität

Q 3 – gute Qualität

Q 4 – sehr gute Qualität

77 – Gefäßsegment nicht abgebildet

99 – Gefäßsegment nicht beurteilbar

Tabelle 6.3: Häufigkeiten von Artefakten über alle Gefäße

| Gefäß  | A 1 |             | A 2 |             | A 3 |             | 77   |             | 99  |             | Summe |
|--------|-----|-------------|-----|-------------|-----|-------------|------|-------------|-----|-------------|-------|
|        | DSA | MIP_1 MIP_2 | DSA | MIP_1 MIP_2 | DSA | MIP_1 MIP_2 | DSA  | MIP_1 MIP_2 | DSA | MIP_1 MIP_2 |       |
| Aorta  | 18  | 90 75       | 0   | 1 8         | 0   | 7 15        | 81   | 1 1         | 0   | 0 0         | 297   |
| Becken | 115 | 505 434     | 0   | 43 46       | 0   | 41 110      | 476  | 1 1         | 3   | 4 3         | 1782  |
| OS     | 420 | 882 865     | 5   | 60 50       | 1   | 36 64       | 559  | 11 10       | 5   | 1 1         | 2970  |
| US     | 292 | 616 618     | 1   | 85 48       | 12  | 61 102      | 483  | 20 24       | 4   | 10 0        | 2376  |
| Fuß    | 117 | 302 305     | 0   | 37 24       | 3   | 38 55       | 274  | 10 12       | 2   | 9 0         | 1188  |
| Summe  | 962 | 2395 2297   | 6   | 226 176     | 16  | 183 346     | 1873 | 43 48       | 14  | 24 4        | 8613  |
|        |     | 5654        |     | 408         |     | 545         |      | 1964        |     | 42          |       |

DSA – digitale Substraktionsangiographie  
MIP\_1 – CT Angio, MIP Bilder, Bewerter 1  
MIP\_2 – CT Angio, MIP Bilder, Bewerter 2  
US – Unterschenkel  
OS – Oberschenkel

A 1 – kein Artefakt  
A 2 – nicht beeinflussendes Artefakt  
A 3 – beeinflussendes Artefakt  
77 – Gefäßsegment nicht abgebildet  
99 – Gefäßsegment nicht beurteilbar

Tabelle 6.4: Häufigkeiten der einzelnen Artefaktarten über alle Gefäße

| Gefäß  | A 1 |       | A 2   |     | A 3   |       | A 4 |       | A 5   |     | 77    |       | 88   |       | 99    |      | Summe |       |       |   |      |
|--------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|---|------|
|        | DSA | MIP_1 | MIP_2 | DSA  | MIP_1 | MIP_2 | DSA  |       | MIP_1 | MIP_2 |   |      |
| Aorta  | 0   | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0   | 4     | 0     | 4   | 3     | 81    | 1    | 1     | 18    | 90   | 75    | 0     | 0     | 0 | 297  |
| Becken | 0   | 3     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0   | 27    | 132   | 0   | 54    | 476   | 1    | 1     | 115   | 505  | 434   | 3     | 4     | 3 | 1782 |
| OS     | 6   | 3     | 0     | 0   | 30    | 20    | 0   | 17    | 66    | 0   | 43    | 559   | 11   | 10    | 420   | 882  | 865   | 5     | 1     | 1 | 2970 |
| US     | 13  | 2     | 8     | 0   | 117   | 80    | 4   | 4     | 46    | 0   | 22    | 483   | 20   | 24    | 292   | 616  | 618   | 4     | 10    | 0 | 2380 |
| Fuß    | 3   | 1     | 4     | 0   | 58    | 44    | 2   | 0     | 1     | 23  | 8     | 274   | 10   | 12    | 117   | 302  | 305   | 2     | 9     | 0 | 1190 |
| Summe  | 22  | 9     | 12    | 0   | 205   | 144   | 6   | 0     | 53    | 287 | 0     | 137   | 43   | 48    | 962   | 2395 | 2297  | 14    | 24    | 4 | 8619 |
|        | 43  |       | 6     |     | 349   |       | 340 |       | 215   |     | 1964  |       | 5654 |       |       |      |       | 42    |       |   |      |

DSA – digitale Substraktionsangiographie  
MIP\_1 – CT Angio, MIP Bilder, Bewerter 1  
MIP\_2 – CT Angio, MIP Bilder, Bewerter 2  
OS – Oberschenkel  
US – Unterschenkel

Die kursiven Zahlen unter A 3 – MIP2 bezeichnen eine zweite Artefaktart, die Bewerter 2 in 6 Fällen zusätzlich angab

A 1 – suboptimale Kontrastierung

A 2 – Bewegung

A 3 – venöse Kontamination

A 4 – Verkalkung

A 5 – sonstiges

77 – Gefäßsegment nicht abgebildet

88 – kein Artefakt

99 – Gefäßsegment nicht beurteilbar

---

## 7 Literaturverzeichnis

---

1. Belch J. J. et al., 2003, Critical issues in peripheral arterial disease detection and management: a call to action. *Arch. Intern. Med.* 163(8):884-92
2. Brockmann C. et al., 2009, Dual-energy CT angiography in peripheral arterial occlusive disease. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.* 32(4):630-7
3. Chan D., Anderson M. E., Dolmatch B. L., 2010, Imaging evaluation of lower extremity infrainguinal disease: role of the noninvasive vascular laboratory, computed tomography angiography, and magnetic resonance angiography. *Tech. Vasc. Interv. Radiol.* 13(1):11-22
4. Collins R. et al., 2007, Duplex ultrasonography, magnetic resonance angiography, and computed tomography angiography for diagnosis and assessment of symptomatic, lower limb peripheral arterial disease: systematic review. *BMJ* 334(7606):1257
5. Ersoy H., Rybicki F. J., 2008, MR angiography of the lower extremities. *AJR Am. J. Roentgenol.* 190(6):1675-84
6. Fine J. J. et al., 2006, 64-slice peripheral computed tomography angiography: a clinical accuracy evaluation. *J. Am. Coll. Cardiol.* 47(7):1495-6
7. Fishman E. K. et al., 2006, Volume rendering versus maximum intensity projection in CT angiography: what works best, when, and why. *Radiographics* 26(3):905-22
8. Fleischmann D., Hallett R. L., Rubin G. D., 2006, CT angiography of peripheral arterial disease. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 17(1):3-26
9. Fotiadis N. et al., 2011, 64-section CT angiography in patients with critical limb ischaemia and severe claudication: comparison with digital subtractive angiography. *Clin. Radiol.* 66(10):945-52
10. Gerok W. 2007. *Die innere Medizin : Referenzwerk für den Facharzt.* Stuttgart; New York: Schattauer. 329-334 pp.
11. Herold G. 2012. *Innere Medizin.* Herold. 781-785 pp.
12. Hirsch A. T. et al., 2001, Peripheral arterial disease detection, awareness, and treatment in primary care. *JAMA* 286(11):1317-24

13. Hirsch A. T. et al., 2006, ACC/AHA 2005 Practice Guidelines for the management of patients with peripheral arterial disease (lower extremity, renal, mesenteric, and abdominal aortic): a collaborative report from the American Association for Vascular Surgery/Society for Vascular Surgery, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society for Vascular Medicine and Biology, Society of Interventional Radiology, and the ACC/AHA Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Develop Guidelines for the Management of Patients With Peripheral Arterial Disease): endorsed by the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation; National Heart, Lung, and Blood Institute; Society for Vascular Nursing; TransAtlantic Inter-Society Consensus; and Vascular Disease Foundation. *Circulation* 113(11):e463-e654
14. Hofer M. 2010. *CT-Kursbuch, ein Arbeitsbuch für den Einstieg in die Computertomographie*. Diamed.
15. Jaeschke R., Guyatt G. H., Sackett D. L., 1994, Users' guides to the medical literature. III. How to use an article about a diagnostic test. B. What are the results and will they help me in caring for my patients? The Evidence-Based Medicine Working Group. *JAMA* 271(9):703-7
16. Johnson T. R. et al., 2007, Material differentiation by dual energy CT: initial experience. *Eur. Radiol.* 17(6):1510-7
17. Kalender W. A., 2006, X-ray computed tomography. *Phys. Med. Biol.* 51(13):R29-R43
18. Kalra M. K. et al., 2004, Multidetector computed tomography technology: current status and emerging developments. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 28 Suppl 1:S2-S6
19. Kannel W. B. et al., 1970, Intermittent claudication. Incidence in the Framingham Study. *Circulation* 41(5):875-83
20. Karcaaltincaba M., Aktas A., 2011, Dual-energy CT revisited with multidetector CT: review of principles and clinical applications. *Diagn. Interv. Radiol.* 17(3):181-94
21. Kau T. et al., 2011, Dual-energy CT angiography in peripheral arterial occlusive disease-accuracy of maximum intensity projections in clinical routine and subgroup analysis. *Eur. Radiol.* 21(8):1677-86
22. Koelemay M. J. et al., 1996, Diagnosis of arterial disease of the lower extremities with duplex ultrasonography. *Br. J. Surg.* 83(3):404-9
23. Krasnicki T. et al., 2012, Novel clinical applications of dual energy computed tomography. *Adv. Clin. Exp. Med.* 21(6):831-41

24. Landis J. R., Koch G. G., 1977, The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33(1):159-74
25. Leibecke T. et al., 2006, [CTA and MRA in peripheral arterial disease--is DSA out?]. *Radiologe* 46(11):941-7
26. Lell M. M. et al., 2006, New techniques in CT angiography. *Radiographics* 26 Suppl 1:S45-S62
27. McDermott M. M. et al., 2001, Leg symptoms in peripheral arterial disease: associated clinical characteristics and functional impairment. *JAMA* 286(13):1599-606
28. McGee S. R., Boyko E. J., 1998, Physical examination and chronic lower-extremity ischemia: a critical review. *Arch. Intern. Med.* 158(12):1357-64
29. Menke J., Larsen J., 2010, Meta-analysis: Accuracy of contrast-enhanced magnetic resonance angiography for assessing steno-occlusions in peripheral arterial disease. *Ann. Intern. Med.* 153(5):325-34
30. Meyer B. C. et al., 2010, Do the cardiovascular risk profile and the degree of arterial wall calcification influence the performance of MDCT angiography of lower extremity arteries? *Eur. Radiol.* 20(2):497-505
31. Meyer B. C. et al., 2008, Dual energy CT of peripheral arteries: effect of automatic bone and plaque removal on image quality and grading of stenoses. *Eur. J. Radiol.* 68(3):414-22
32. Murabito J. M. et al., 1997, Intermittent claudication. A risk profile from The Framingham Heart Study. *Circulation* 96(1):44-9
33. Murabito J. M. et al., 2002, Prevalence and clinical correlates of peripheral arterial disease in the Framingham Offspring Study. *Am. Heart J.* 143(6):961-5
34. Norgren L. et al., 2007, Inter-Society Consensus for the Management of Peripheral Arterial Disease (TASC II). *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 33 Suppl 1:S1-75
35. Olin J. W. et al., 2004, Atherosclerotic Vascular Disease Conference: Writing Group IV: imaging. *Circulation* 109(21):2626-33
36. Ouwendijk R. et al., 2006, Vessel wall calcifications at multi-detector row CT angiography in patients with peripheral arterial disease: effect on clinical utility and clinical predictors. *Radiology* 241(2):603-8

37. Petersilka M. et al., 2008, Technical principles of dual source CT. *Eur. J. Radiol.* 68(3):362-8
  38. Prokop M., 2003, General principles of MDCT. *Eur. J. Radiol.* 45 Suppl 1:S4-10
  39. Reimer P. et al., 2007, [Imaging of aortic disease]. *Radiologe* 47(5):443-60
  40. Schroder F. et al., 2006, A modified calculation of ankle-brachial pressure index is far more sensitive in the detection of peripheral arterial disease. *J. Vasc. Surg.* 44(3):531-6
  41. Selvin E., Erlinger T. P., 2004, Prevalence of and risk factors for peripheral arterial disease in the United States: results from the National Health and Nutrition Examination Survey, 1999-2000. *Circulation* 110(6):738-43
  42. Shareghi S. et al., 2010, Diagnostic accuracy of 64 multidetector computed tomographic angiography in peripheral vascular disease. *Catheter. Cardiovasc. Interv.* 75(1):23-31
  43. Siemens. 2007. *Exzellenz in CT - Somatom Definition*. Siemens AG.
  44. Smith S. C., Jr. et al., 2004, Atherosclerotic Vascular Disease Conference: Writing Group II: risk factors. *Circulation* 109(21):2613-6
  45. Toshiba medical. Aquilion One. <http://www.toshiba-medical.de/computertomographie/aquilion-one> . 2013.
- Ref Type: Electronic Citation
46. Wilhelm T. 2013. Die Bedeutung der 64-Zeilen-Dual-Energy-CT-Angiographie in der Diagnostik von pAVK-Patienten mit kritischer Extremitätenischämie und/oder schweren Claudicatio-Beschwerden: Ein Vergleich der axialen Bilder mit dem Goldstandard der Digitalen Subtraktionsangiographie.

# 8 Abkürzungsverzeichnis

---

|                 |                                   |
|-----------------|-----------------------------------|
| A.              | Arteria                           |
| AA              | Aorta abdominalis                 |
| Abb.            | Abbildung                         |
| ABI             | Ankle-Brachial-Index              |
| ADP             | Arteria dorsalis pedis            |
| AF              | Arteria fibularis                 |
| AFC             | Arteria femoris communis          |
| AFS             | Arteria femoralis superficialis   |
| AIC             | Arteria iliaca communis           |
| AIE             | Arteria iliaca externa            |
| AII             | Arteria iliaca interna            |
| AP              | Arteria poplitea                  |
| APF             | Arteria profunda femoris          |
| APP             | Arteria plantaris pedis           |
| ASS             | Acetylsalicylsäure                |
| ATA             | Arteria tibialis anterior         |
| ATP             | Arteria tibialis posterior        |
| B1 / B2         | Bewerter 1 / Bewerter 2           |
| CO <sub>2</sub> | Kohlenstoffdioxid                 |
| CRP             | C-reaktive Protein                |
| CT              | Computertomographie               |
| CTA             | CT-Angiographie                   |
| d.h.            | dass heißt                        |
| DE-CT           | Dual-Energy-Computertomographie   |
| DE-CTA          | Dual-Energy-CT-Angiographie       |
| DSA             | digitale Subtraktionsangiographie |
| FG              | Femoralisgabel                    |
| GK              | Genauigkeit                       |
| HDL             | High Density Lipoprotein          |
| HE              | Houndsfield Einheit               |
| kV              | Kilovolt                          |
| LAO             | left anterior oblique             |

|         |  |
|---------|--|
| LDL     | Low Density Lipoprotein                    |
| LR+/LR- | positive/negative Likelihood-Ratio         |
| Max.    | maximal                                    |
| MB      | Megabyte                                   |
| MD-CT   | Multidetektor-Computertomographie          |
| MIP     | Maximum-Intensity-Projektionen             |
| MPR     | Multiplanare Reformation                   |
| MRA     | Magnetresonanz-Angiographie                |
| MRT     | Magnetresonanztomographie                  |
| n.a.    | nicht abgebildet                           |
| n.b.    | nicht beurteilbar                          |
| n.s.    | nicht signifikant                          |
| neg LR  | negative Likelihood-Ratio                  |
| NPW     | negativer prädiktiver Wert                 |
| OS      | Oberschenkel                               |
| PA      | posterior anterior                         |
| PACS    | Picture Archiving and Communication System |
| pAVK    | Periphere arterielle Verschlusskrankheit   |
| PID     | Patienten Identifikations Nummer           |
| pos LR  | positive Likelihood-Ratio                  |
| PPW     | positiver prädiktiver Wert                 |
| PTA     | Perkutane Transluminale Angioplastie       |
| RAO     | right anterior oblique                     |
| Sens    | Sensitivität                               |
| Spez    | Spezifität                                 |
| SRT     | Surface-Rendering-Technik                  |
| TEA     | Thrombendarteriektomie                     |
| TTF     | Truncus tibiofibularis                     |
| UKGM    | Universitätsklinikum Gießen Marburg        |
| US      | Unterschenkel                              |
| v.s.    | versus                                     |
| VRT     | Volumen-Rendering-Technik                  |

# 9 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

---

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 1.1: Prinzip des Spiral-CTs (nach Kalender, 2006).....                                | 11 |
| Abbildung 1.2: schematisches Prinzip der DE-CT Technik.....                                     | 13 |
| Abbildung 1.3: unterschiedliche Abschwächung von Jod bei 80kV und 140kV<br>(Siemens, 2007)..... | 14 |
| Abbildung 1.4: MIP Gefäßdarstellung der Beine .....   | 15 |
| Abbildung 3.1: Verteilung der Diagnosen für das Gefäßkollektiv .....                            | 31 |
| Abbildung 3.2: Verteilung der Diagnosen pro Region .....  | 34 |
| Abbildung 3.3: Verteilung der Qualitätsbewertungen über das Gefäßkollektiv.....                 | 42 |
| Abbildung 3.4: Verteilung der Qualitätsbeurteilungen pro Region .....                           | 43 |
| Abbildung 3.5: Verteilung der Artefakte über das Gefäßkollektiv.....                            | 45 |
| Abbildung 3.6: Verteilung der Artefaktursachen über das Gefäßkollektiv .....                    | 46 |
| Abbildung 3.7: Verteilung der Artefakte aufgeteilt auf die Regionen. ....                       | 47 |
| Abbildung 3.8: Verteilung der Artefaktursachen aufgeteilt auf die Regionen. ....                | 48 |
| Abbildung 6.1: DSA Protokoll der Klinik für Strahlendiagnostik des UKGM .....                   | 95 |
| Abbildung 6.2: Lagerungsprotokoll für die Bein-Becken-Angiographie im CT.....                   | 96 |
| Abbildung 6.3: Kontrastmittelprotokoll der Dual-Energy-Becken-Bein-Angiographie<br>im CT.....   | 97 |
| Abbildung 6.4: Auswertebogen zur Beurteilung der DSA- und CTA-Bilder.....                       | 98 |

---

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 1.1: Stadieneinteilung der pAVK nach Fontaine und Rutherford (nach Norgren et al. S1-75).....   | 4  |
| Tabelle 1.2: ABI-Werte zur Abschätzung des Schweregrades der pAVK.....                                  | 5  |
| Tabelle 1.3: CT-Scan-Parameter im Lauf der Entwicklung (nach Kalender, 2006).....                       | 10 |
| Tabelle 2.1: Übersicht der Patientencharakteristika.....  | 19 |
| Tabelle 2.2: Vierfeldertafel zur statistischen Auswertung .....   | 25 |
| Tabelle 2.3: Einteilung des Likelihood-Quotienten nach Jaeschke et al., 1994 .....                      | 27 |
| Tabelle 2.4: Beispielkontingenztafel als Grundlage zur Berechnung des Cohen's Kappa-Koeffizient.....    | 28 |
| Tabelle 2.5: Einteilung des Cohen's Kappa Koeffizienten nach Landis und Koch .....                      | 29 |
| Tabelle 3.1: Verteilung der Häufigkeiten der Stenosegrade für das Gefäßkollektiv (Bewerter 1).....      | 32 |
| Tabelle 3.2: Verteilung der Häufigkeiten der Stenosegrade für das Gefäßkollektiv (Bewerter 2).....      | 32 |
| Tabelle 3.3: Verteilung der Häufigkeiten der Stenosegrade für die Beckenregion (Bewerter 1).....        | 35 |
| Tabelle 3.4: Verteilung der Häufigkeiten der Stenosegrade für die Beckenregion (Bewerter 2).....        | 35 |
| Tabelle 3.5: Verteilung der Häufigkeiten der Stenosegrade für die Oberschenkelregion (Bewerter 1).....  | 36 |
| Tabelle 3.6: Verteilung der Häufigkeiten der Stenosegrade für die Oberschenkelregion (Bewerter 2).....  | 37 |
| Tabelle 3.7: Verteilung der Häufigkeiten der Stenosegrade für die Unterschenkelregion (Bewerter 1)..... | 38 |
| Tabelle 3.8: Verteilung der Häufigkeiten der Stenosegrade für die Unterschenkelregion (Bewerter 2)..... | 39 |
| Tabelle 3.9: Verteilung der Häufigkeiten der Stenosegrade für den Fuß (Bewerter 1).....                 | 40 |
| Tabelle 3.10: Verteilung der Häufigkeiten der Stenosegrade für den Fuß (Bewerter 2).....                | 41 |
| Tabelle 3.11: Verteilung der Artefaktursachen über das Gefäßkollektiv.....                              | 46 |
| Tabelle 3.12: Vierfeldertafel und Übersicht über Ergebnisse für die Berechnung pro Bein .....           | 51 |

---

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 3.13: Berechnung der diagnostischen Güte bezogen auf das Gefäßkollektiv (Version 1).....                  | 53 |
| Tabelle 3.14: Berechnung der diagnostischen Güte bezogen auf das Gefäßkollektiv (Version 2).....                  | 53 |
| Tabelle 3.15: Berechnung der diagnostischen Güte bezogen auf die einzelnen Regionen (Version 1).....              | 54 |
| Tabelle 3.16: Berechnung der diagnostischen Güte bezogen auf die einzelnen Regionen (Version 2).....              | 55 |
| Tabelle 3.17: Berechnung der diagnostischen Güte bezogen auf die einzelnen Gefäße (Version 1).....                | 56 |
| Tabelle 3.18: Berechnung der diagnostischen Güte bezogen auf die einzelnen Gefäße (Version 2).....                | 57 |
| Tabelle 3.19: Einfluss der Qualität auf die Ergebnisse von Sensitivität und Spezifität (Bewerter 1).....          | 59 |
| Tabelle 3.20: Einfluss der Qualität auf die Ergebnisse von Sensitivität und Spezifität (Bewerter 2).....          | 59 |
| Tabelle 3.21: Einfluss des Verkalkungsgrades auf die Ergebnisse von Sensitivität und Spezifität (Bewerter 1)..... | 60 |
| Tabelle 3.22: Einfluss des Verkalkungsgrades auf die Ergebnisse von Sensitivität und Spezifität (Bewerter 2)..... | 60 |
| Tabelle 3.23: Einfluss der Artefakte auf die Ergebnisse von Sensitivität und Spezifität (Bewerter 1).....         | 61 |
| Tabelle 3.24: Einfluss der Artefakte auf die Ergebnisse von Sensitivität und Spezifität (Bewerter 2).....         | 61 |
| Tabelle 3.25: Einfluss der Faktoren auf die Sensitivität und Spezifität für die Regionen.....                     | 62 |
| Tabelle 3.26: Übereinstimmungen beider Bewerter bezüglich der Diagnose bezogen auf das Gefäßkollektiv.....        | 64 |
| Tabelle 3.27: Übereinstimmungen beider Bewerter bezüglich der Diagnose bezogen auf das Becken.....                | 65 |
| Tabelle 3.28: Übereinstimmungen beider Bewerter bezüglich der Diagnose bezogen auf den Oberschenkel.....          | 65 |
| Tabelle 3.29: Übereinstimmungen beider Bewerter bezüglich der Diagnose bezogen auf den Unterschenkel.....         | 65 |

---

|   |     |
|---|-----|
| Tabelle 3.30: Übereinstimmungen beider Bewerter bezüglich der Diagnose bezogen auf den Fuß .....              | 66  |
| Tabelle 3.31: Übereinstimmungen beider Bewerter bezüglich der Diagnose bezogen auf die einzelnen Gefäße ..... | 66  |
| Tabelle 3.32: Übereinstimmung beider Bewerter bezüglich der Qualität bezogen auf das Gefäßkollektiv .....     | 67  |
| Tabelle 3.33: Übereinstimmung beider Bewerter bezüglich der Qualität für die einzelnen Regionen.....          | 68  |
| Tabelle 3.34: Übereinstimmung beider Bewerter bezüglich der Artefakte für das Gefäßkollektiv .....            | 69  |
| Tabelle 3.35: Übereinstimmung beider Bewerter bezüglich der Artefaktart für das Gefäßkollektiv .....          | 69  |
| Tabelle 3.36: Übereinstimmung beider Bewertern bezüglich der Artefakte für die einzelnen Regionen.....        | 70  |
| Tabelle 3.37: Übereinstimmung beider Bewertern bezüglich der Artefaktarten für die einzelnen Regionen.....    | 71  |
| Tabelle 6.1: Häufigkeiten der Stenosegrade über alle Gefäße .....   | 99  |
| Tabelle 6.2: Häufigkeiten der einzelnen Qualitätsbeurteilungen über alle Gefäße ....                          | 100 |
| Tabelle 6.3: Häufigkeiten von Artefakten über alle Gefäße.....  | 101 |
| Tabelle 6.4: Häufigkeiten der einzelnen Artefaktarten über alle Gefäße .....                                  | 102 |

# 10 Verzeichnis der akademischen Lehrer

---

Meine akademischen Lehrer waren die Damen und Herren Professoren

in Marburg:

Adamkiewicz, Arnold, Aumüller, Barth, Basler, Baum, Bien, Boudriot, Cetin, Czubayko, Daut, Donner-Banzhoff, Eilers, Feuser, Fuchs-Winkelmann, Garn, Geks, Gerdes, Görg, Gotzen, Grundmann, Grzeschik, Gudermann, Hamer, Hilt, Hoyer, Hertl, Heverhagen, Höffken, Jungclas, Klenk, Kann, Klose, Knake, Kolb-Niemann, Koolmann, Krieg, Kroll, Kuhlmann, Lang, Lenz, Lill, Liss, Lohhoff, Maier, Maisch, Mandrek, Moll, Moosdorf, Mueller, Mutters, Neubauer, Oertel, Rausch, Remschmidt, Renz, Richter, Röper, Rosenow, Rothmund, Schäfer, Schmidt, Schofer, Schrader, Seifart, Sekundo, Steiniger, Tackenberg, Vogelmeier, Weihe, Weiler, Werner, Westermann, Wündisch, Wulf

in Poitiers:

Magnin, Hankard, Rouffineau

in Kassel:

Faß, Raible

in Toronto:

Bargman, Chan, Moore, Quirt, Trudel

# 11 Curriculum Vitae

---

Die Seite 114 enthält persönliche Daten. Sie ist deshalb nicht Bestandteil der Veröffentlichung.

# 12 Danksagung

---

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei den Menschen bedanken, die mich in der Zeit meiner Dissertation unterstützt haben:

Mein Dank gilt zunächst Herrn Prof. Dr. Dr. Johannes T. Heverhagen für die Möglichkeit der Promotion und die gute Betreuung bei der Durchführung der Arbeit.

Herrn PD Dr. Marc Kalinowski und Dr. Mykhaylo Burbelko danke ich für die kompetente und wertvolle Zusammenarbeit und Unterstützung.

Meiner Mitdotorandin danke ich für die enge Zusammenarbeit, die Unterstützung und die wertvollen Tipps.

Meinen Korrekturlesern\*innen danke ich für die Arbeit und Geduld.

Meiner Familie danke ich für die Ermöglichung des Studiums und der Promotion und für die immerwährende Unterstützung.

Meinen Freund\*innen und Kommiliton\*innen danke ich für viele unvergessliche Stunden während des Studiums.

# 13 Ehrenwörtliche Erklärung

---

Die Seite 116 enthält persönliche Daten. Sie ist deshalb nicht Bestandteil der Veröffentlichung.