

Aus der Radiologischen Universitätsklinik Tübingen  
Abteilung Diagnostische und Interventionelle Radiologie

**Analyse der Strahlendosis von Patienten bei diagnostischen  
und interventionellen Angiographien mit dem Siemens Artis  
Zeego und Vergleich mit den Vorgängergeräten**

**Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard Karls Universität  
zu Tübingen**

**vorgelegt von**

**Šakota, Anera Milena**

**2021**

Dekan: Professor Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter: Professor Dr. B. Wiesinger

2. Berichterstatter: Privatdozent Dr. C. Artzner

Tag der Disputation: 16.03.2021

Gewidmet meiner Mutter

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>6</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>8</b>
<b>Formelverzeichnis .....</b>	<b>9</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>9</b>
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>11</b>
1.1.Hintergrund .....	11
1.2. Datenlage .....	16
1.3. Fragestellung .....	18
<b>2. Material und Methoden .....</b>	<b>19</b>
2.1. Datenerhebung .....	19
2.2. Vergleichende Dosismessung .....	25
2.3. Statistische Auswertung .....	27
<b>3. Ergebnisse .....</b>	<b>30</b>
3.1. Klasse 1 - Diagnostische Angiographien .....	30
3.2. Klasse 2 – Interventionen mit PTA .....	38
3.3. Klasse 3 – Interventionen mit Stent .....	46
3.4. Klasse 4 - Lysen .....	54
3.5. Klasse 5 - Embolisationen .....	62
3.6. Klasse 6 - Spezielle Interventionen .....	68
<b>4. Diskussion .....</b>	<b>75</b>
4.1. Allgemeines .....	75
4.2. Klasse 1 - Diagnostische Angiographien .....	76

4.3. Klasse 2 - Interventionen mit PTA .....	78
4.4. Klasse 3 – Interventionen mit Stent .....	81
4.5. Klasse 4 – Lysen .....	84
4.6. Klasse 5 - Embolisationen .....	87
4.7. Klasse 6 - Spezielle Interventionen .....	89
4.8. Gesamtbeurteilung Geräteunterschiede .....	91
4.9. BMI - Abhängigkeit generell.....	96
4.10. Zugangsweg und Cone-beam-CT .....	96
4.11. Fehlerquellen und Limitationen .....	97
<b>5. Zusammenfassung .....</b>	<b>100</b>
<b>6. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>101</b>
<b>7. Erklärung zum Eigenanteil .....</b>	<b>108</b>
<b>Danksagung .....</b>	<b>109</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>110</b>

## Abkürzungsverzeichnis

AA	Axiom Artis
AbdA	abdominelle Angiographie
AG	Angiographie
ANOVA	Analysis of variance
A.p.	Arteria poplitea
AZ	Artis Zeego
BBA	Becken-Bein-Angiographie
BMI	body mass index
BV	Bildverstärker
CBCT	Cone Beam CT (kegelförmige Rotationsangiographie)
CT	Computertomographie
DAP/ DFP	dose area product/ Dosisflächenprodukt
DSA	digitale Subtraktionsangiographie
Embo.	embolization (Embolisation)
EVAR	endovaskuläre Aortenreparatur
FPD A	flat panel detector A (Axiom Artis)
FPD B	flat panel detector B (Artis Zeego)
FT	Fluorospot T.O.P.
II	image intensifier (Bildverstärkersystem)
kV	Kilovolt
I.c.	lysis control (Lysekontrolle)
lysis/ interv.	Lyse, teilweise mit Intervention
mA	Milliampere

MRT	Magnetresonanztomographie
P(1)/ p(2)	Pelvis (ante-/ retrograd) (Becken (ante-/ retrograd))
PA AA	peripheral angiography, arterial access (periphere Angiographie, arterieller Zugang)
p/k	pelvis / kidney (Becken/ Niere)
PTA	perkutane transluminale Angioplastie
OS	Oberschenkel
SLA	single leg angiography
SSA	superselektive Angiographie
TACE	transarterielle Chemoembolisation
TIPSS	transjugulärer portosystemischer Shunt
UL a/r	upper leg antegrade/retrograde (Oberschenkel ante-/retrograd)
U + LL a/r	upper + lower leg ante-/retrograde (Ober- u. Unterschenkel ante-/retrograd)
US / LL	Unterschenkel / lower leg

## Abbildungsverzeichnis

<u>Abb. 1:</u> Gerätevergleich Klasse 1, tatsächliche Dosis .....	31
<u>Abb. 2:</u> Artis Zeego Klasse 1, zeitnormierte Dosis („standard dose“) .....	32
<u>Abb. 3:</u> Gerätevergleich Klasse 1, zeitnormierte Dosis („standard dose“) .....	34
<u>Abb. 4:</u> BMI-Vergleich Klasse 1 mit je II, FPD A und FPD B .....	35
<u>Abb. 5:</u> Artis Zeego Klasse 2, tatsächliche Dosis .....	38
<u>Abb. 6:</u> Gerätevergleich Klasse 2, tatsächliche Dosis .....	40
<u>Abb. 7:</u> Artis Zeego Klasse 2, zeitnormierte Dosis („standard dose“) .....	41
<u>Abb. 8:</u> Gerätevergleich Klasse 2, zeitnormierte Dosis („standard dose“) .....	42
<u>Abb. 9:</u> BMI-Vergleich Klasse 2 mit je II, FPD A und FPD B .....	43
<u>Abb. 10:</u> Artis Zeego Klasse 3, tatsächliche Dosis .....	46
<u>Abb. 11:</u> Gerätevergleich Klasse 3, tatsächliche Dosis .....	47
<u>Abb. 12:</u> Artis Zeego Klasse 3, zeitnormierte Dosis ("standard dose") .....	49
<u>Abb. 13:</u> Gerätevergleich Klasse 3, zeitnormierte Dosis ("standard dose") .....	50
<u>Abb. 14:</u> BMI-Vergleich Klasse 3 mit je II, FPD A und FPD B .....	51
<u>Abb. 15:</u> Artis Zeego Klasse 4, tatsächliche Dosis.....	54
<u>Abb. 16:</u> Gerätevergleich Klasse 4, tatsächliche Dosis .....	55
<u>Abb. 17:</u> Artis Zeego Klasse 4, zeitnormierte Dosis („standard dose“) .....	57
<u>Abb. 18:</u> Gerätevergleich Klasse 4, zeitnormierte Dosis („standard dose“) .....	58
<u>Abb. 19:</u> BMI-Vergleich Klasse 4 mit je II, FPD A und FPD B .....	59
<u>Abb. 20:</u> Artis Zeego Klasse 5, tatsächliche Dosis .....	62
<u>Abb. 21:</u> Gerätevergleich Klasse 5, tatsächliche Dosis .....	63
<u>Abb. 22:</u> Artis Zeego, zeitnormierte Dosis („standard dose“) .....	64
<u>Abb. 23:</u> Gerätevergleich Klasse 5, zeitnormierte Dosis („standard dose“) .....	65
<u>Abb. 24:</u> BMI-Vergleich Klasse 5 mit je II, FPD A und FPD B .....	66
<u>Abb. 25:</u> Artis Zeego Klasse 6, tatsächliche Dosis .....	68
<u>Abb. 26:</u> Gerätevergleich Klasse 6, tatsächliche Dosis .....	69
<u>Abb. 27:</u> Artis Zeego Klasse 6, zeitnormierte Dosis („standard dose“) .....	71
<u>Abb. 28:</u> Gerätevergleich Klasse 6, zeitnormierte Dosis („standard dose“) .....	72



<u>Abb. 29:</u> BMI-Vergleich Klasse 6 mit je II, FPD A und FPD B .....	73
<u>Abb. 30:</u> Gesamtserienanzahl ("Serien") nach Fluoroskopiezeit in Sekunden ("sec gesamt") (n=1017) .....	92
<u>Abb. 31:</u> DSA-Serien Zahl in Abhängigkeit von Fluoroskopiezeit in Sekunden ("sec gesamt") (n=1014) .....	93
<u>Abb. 32:</u> Auszug aus einem Interventionsprotokoll .....	111

## Formelverzeichnis

Formel 1 (S. 24): BMI

$$BMI = \frac{\text{Gewicht (kg)}}{\text{Größe}^2(\text{cm})}$$

Formel 2 (S. 28): Normdosis/ standard dose:

$$DFP [\text{cGy} * \text{cm}^2] * \left( \frac{\text{Normdauer}}{\text{sec gesamt}} \right)$$

## Tabellenverzeichnis

<u>Tabelle 1:</u> Übersicht Klassen Gerätevergleich .....	21
<u>Tabelle 2:</u> Übersicht Klassen Zeego .....	22

<u>Tabelle 3:</u> Zeitstandardisierte Dosisflächenprodukte in Klasse 1, unterteilt nach BMI-Klasse und Gerät mit Fallzahl, geometrischem Mittelwert der Fluoroskopiezeit, Normdosis (= zeitstandardisierte Dosisflächenprodukte) und Verhältnis FPD A bzw. B und II .....	37
<u>Tabelle 4:</u> Zeitstandardisierte Dosisflächenprodukte in Klasse 2, unterteilt nach BMI-Klasse und Gerät mit Fallzahl, geometrischem Mittelwert der Fluoroskopiezeit, Normdosis (= zeitstandardisierte Dosisflächenprodukte) und Verhältnis FPD A bzw. B und II .....	45
<u>Tabelle 5:</u> Zeitstandardisierte Dosisflächenprodukte in Klasse 3, unterteilt nach BMI-Klasse und Gerät mit Fallzahl, geometrischem Mittelwert der Fluoroskopiezeit, Normdosis (= zeitstandardisierte Dosisflächenprodukte) und Verhältnis FPD A bzw. B und II .....	53
<u>Tabelle 6:</u> Zeitstandardisierte Dosisflächenprodukte in Klasse 4, unterteilt nach BMI-Klasse und Gerät mit Fallzahl, geometrischem Mittelwert der Fluoroskopiezeit, Normdosis (= zeitstandardisierte Dosisflächenprodukte) und Verhältnis FPD A bzw. B und II .....	61
<u>Tabelle 7:</u> Zeitstandardisierte Dosisflächenprodukte in Klasse 5, unterteilt nach BMI-Klasse und Gerät mit Fallzahl, geometrischem Mittelwert der Fluoroskopiezeit, Normdosis (= zeitstandardisierte Dosisflächenprodukte) und Verhältnis FPD A bzw. B und II .....	67
<u>Tabelle 8:</u> Zeitstandardisierte Dosisflächenprodukte in Klasse 6, unterteilt nach BMI-Klasse und Gerät mit Fallzahl, geometrischem Mittelwert der Fluoroskopiezeit, Normdosis (= zeitstandardisierte Dosisflächenprodukte) und Verhältnis FPD A bzw. B und II .....	74
<u>Tabelle 9:</u> Zusammenfassung der Geräteunterschiede über alle Klassen .....	93
<u>Tabelle 10:</u> Auszug aus der Excel-Masterfile .....	110

# 1. Einleitung

## 1.1. Hintergrund

### Interventionen allgemein

Mithilfe von Röntgenstrahlen gesteuerte Interventionen, auch außerhalb des weithin bekannten Einsatzgebietes der interventionellen Kardiologie zur Diagnostik und Therapie von Erkrankungen der Herzkrankgefäße, gewinnen zunehmend an Bedeutung und Präsenz in der Medizin (Darling et al., 2017) (Kudo et al., 2006). So wie sich auch viele andere minimalinvasive Techniken in der Medizin, wie z.B. laparoskopische - im Gegensatz zu offen-chirurgischen – Operationsmethoden (Litynski, 1999), stetig weiterentwickeln, gilt das auch für die interventionelle Radiologie (Tepe et al., 2006). Außerdem führt der demographische Wandel, wie in anderen Bereichen der Medizin auch (O'Neill et al., 2015), zu einer erhöhten Prävalenz von Gefäßerkrankungen, die einen hohen Prozentsatz der Indikationen für eine Angiographie, mit oder ohne Intervention, darstellen. Dazu zählen vor allem die periphere arterielle Verschlusskrankheit, oft bedingt durch den Einfluss von kardiovaskulären Risikofaktoren wie Nikotinabusus, arterieller Hypertonie, Dyslipoproteinämie, Diabetes mellitus und Adipositas (Dawber and Thomas, 1968), aber auch Erkrankungen wie Thrombangitis obliterans (Matecki et al., 2009), Vaskulitiden rheumatischer Genese (Barile-Fabris et al., 2014) sowie Gerinnungsstörungen und kardiovaskuläre Erkrankungen können Ursachen für eine notwendige Gefäßintervention sein (Schumann et al., 2007). Im Gegensatz dazu können auch Blutungen, insbesondere solche aus krankhaft veränderten Gefäßen (z.B. arteriovenöse Malformation), interventionell behandelt werden (Hu et al., 2019), indem man bspw. Metallspiralen (=Coils) in die Endarterien des betreffenden Gebietes einbringt. Des Weiteren werden auch Tumorpatienten zunehmend neoadjuvant oder palliativ mit radiologisch gesteuerten (Chemo-) Embolisationen oder anderen endovaskulären Interventionen behandelt. Dabei handelt es sich in erster Linie um Patienten mit primären (Lencioni et al., 2013) oder sekundären (Massmann et al., 2015) Lebertumoren, da diese in der Regel stärker als gesundes Lebergewebe arteriell versorgt sind, was einen Angriffspunkt für lokale

Chemotherapie darstellt. Eine andere Patientengruppe, die mithilfe radiologisch gesteuerter Interventionen behandelt werden, sind z.B. Leberzirrhotiker (Miraglia et al., 2015a), bei denen man mithilfe eines TIPSS (transjugulärer portosystemischer Shunt), einer künstlich geschaffenen Verbindung zwischen portalvenösem und systemischem Kreislauf, den portalvenösen Druck senken kann, indem ein Stent zwischen Pfortadersystem und Hohlvenensystem eingesetzt wird. Die vollständige Darstellung der in dieser Untersuchung erfassten Interventionsarten erfolgt in den nächsten Kapiteln, jedoch waren die neuroradiologischen Eingriffe nicht Thema dieser Arbeit, da diese an der Universitätsklinik Tübingen von einer separaten Abteilung durchgeführt werden.

Bei einer radiologischen Intervention wird eine (in diesem Kontext meist gefäßchirurgische) Operation durch einen intraluminalen Eingriff ersetzt, welcher in der Regel nur an einem kleinen Schnitt oder einer Punktion auf der Hautoberfläche von außen sichtbar ist und meist in Lokalanästhesie durchgeführt werden kann. Diese Eingriffe finden, ähnlich wie im Herzkatheterlabor, in der Angiographieabteilung statt und werden von interventionellen Radiologen durchgeführt. Für die mithilfe von Durchleuchtung gesteuerte Gefäßintervention wird ein arterieller Zugang in der Arteria femoralis communis - oder z.B. auch in der Arteria brachialis oder Arteria radialis - etabliert und darüber unterschiedliche Drähte, Katheter, Ballons, Spiralen (=Coils) oder Stents bis hin zu Gefäßprothesen zum zu behandelnden Ort im Gefäßsystem vorgeschoben. Dies alles erfolgt in der Regel unter Röntgen- Durchleuchtung (=Fluoroskopie). Die Ergebnisse der wichtigsten Schritte und teilweise auch die Ausgangssituation (falls keine aktuelle CT-Angiographie vorliegt) werden normalerweise radiographisch mithilfe der digitalen Subtraktionsangiographie (=DSA) überprüft, d.h. ein Bild des Gefäßes wird einmal ohne und einmal mit intraarteriell appliziertem Kontrastmittel aufgenommen und daraufhin, unter Herausrechnung der Umgebung, nur das Gefäß dargestellt. Stenosen, Thromben, Gefäßverschlüsse, Aneurysmen und Fließgeschwindigkeit des Blutes können so genau erkannt werden.

Durch ein - im Vergleich zu einer offenen Operation - geringeres Gewebetrauma können unter anderem auch Patienten behandelt werden, für die eine offene

Operation, meist in Allgemeinanästhesie, ein relativ oder auch zu hohes Risiko darstellen würde (DGA, 2017). Aber auch ohne stark erhöhtes Narkoserisiko kann ein minimalinvasiver Eingriff für Patienten Vorteile haben, z.B. durch schnellere Rekonvaleszenz und geringere Wahrscheinlichkeit für Wundinfekte (Darling et al., 2017). Laut demselben Autor hat aber die minimalinvasive Vorgehensweise, zumindest was das Kollektiv der erstmals an einer chronischen, die Extremität bedrohenden, Ischämie behandelten Patienten angeht, auch Nachteile gegenüber einer offenen Bypassoperation, wie z.B. eine höhere Restenoserate. Letztlich hat jede der beiden Behandlungsformen ihre Indikation, wobei natürlich individuelle, im Ärzte-Patienten-Konsens entwickelte Entscheidungen (DGA, 2017) und auch Kombinationseingriffe (Lawall et al., 2016) möglich sind.

### Techniken der Durchleuchtungsanlagen

Die interventionelle Radiologie, wie wir sie heute kennen, hat ihren Ursprung in der 1940er Jahren, als die Bildverstärkertechnologie, auf welcher der Fluorospot T.O.P. (Siemens, Erlangen), das erste in vorliegender Untersuchung behandelte Gerät, basiert, erfunden wurde, da durch die mehrfache Verstärkung der Röntgenstrahlen erstmals Durchleuchtungen möglich waren, ohne dass sich der Radiologe zuvor an dunkle Lichtverhältnisse adaptieren müssen (Seibert, 2006). Das Bildverstärkergehäuse ist ein relativ langer Zylinder, länger als die zugehörige Röntgenröhre selbst, und besteht im Inneren aus einem Vakuum, in dem Elektronen beschleunigt und fokussiert werden können, sowie jeweils konvex geformten Eingangsleuchtschirm und Photokathode und planar geformtem Ausgangsleuchtschirm (Balter, 1999). Die Bildverstärkung kommt durch zwei Effekte zustande: die Verstärkung durch Verkleinerung, d.h. die Projektion eines größeren Bildes auf dem Eingangsleuchtschirm auf einen kleineren Ausgangsleuchtschirm, und die elektrische Verstärkung (Balter, 1999) (Seibert, 2006). Letzterer kommt dadurch zustande, dass zunächst die einfallenden Röntgenstrahlen im Eingangsleuchtschirm in Photonen und diese wiederum in der direkt benachbarten Kathode in Elektronen gewandelt werden,

welche, durch eine elektrische Spannung beschleunigt und fokussiert, wiederum beim Eintreffen auf einen weiteren Leuchtschirm in Licht gewandelt und letztlich mithilfe einer Kamera zu einem sichtbaren Bild projiziert werden (Seibert, 2006) (Spahn et al., 2003).

Die Einführung des Flachdetektorsystems in die diagnostische und interventionelle Radiologie als Alternative für das Bildverstärkersystem Ende des letzten Jahrhunderts bedeutete eine völlig neue Art der Bildaufnahme (Seibert, 2006). Die Flachdetektortechnologie basiert auf einem flachen TFT- („thin-film-transistor“) Detektorbildschirm z.B. aus Caesiumjodid und amorphem Silizium, welcher u.a. aus vielen winzigen Transistoren, Kondensatoren und Elektroden besteht; nach Umwandlung der gepulsten Röntgenstrahlen in Photonen (bei indirekter Funktionsweise als Zwischenschritt) und schließlich in Elektronen werden die einzelnen Pixel aktiviert bzw. deaktiviert, um wiederum Signale an die Bildverarbeitung zu senden (Seibert, 2006) (Spahn et al., 2003) (International Commission on Radiological Protection, 2004).

Die Unterschiede zwischen Bildverstärker und Flachbilddetektoren sind mehrfach beschrieben worden und lassen sich z.B. auf die Bildqualität und die Strahlendosis beziehen: durch den Aufbau des Bildverstärkers bedingt, d.h. aufgrund der Projektion der auf den konvex gebogenen Eingangsbildschirm auf dem ebenen Ausgangsbildschirm, resultiert auf dem fertigen Bild immer eine gewisse Verzerrung; außerdem entsteht durch den Weg, den die Photonen und Elektronen auf dem Weg durch die Bildverstärkerröhre nehmen müssen, streuungsbedingte Schleierbildung (Spahn et al., 2003). Des weiteren bilden Flachbilddetektoren einen breiteren Dosisbereich ab und können so differenzierter eine definierte ankommende Dosis einer definierte Helligkeit auf dem Schirm zuordnen (Seibert, 2006). Auch werden Kontrastunterschiede besser übertragen (Spahn et al., 2003) und eine höhere Dynamic Quantum Efficiency (DQE), d.h. ein besserer Quotient aus Signal-Rausch-Verhältnis am Ausgang des Detektors durch Signal-Rasch-Verhältnis am Eingang des Detektors, erreicht (Spahn, 2005), zumindest, was den höheren Dosisbereich z.B. bei der DSA – im Gegensatz zur Fluoroskopie, in deren Dosisbereich der Flachdetektor anfällig für Rauschen ist – angeht (Seibert, 2006). Diese höhere

DQE könnte zugunsten einer Dosisersparung genutzt werden (Cowen et al., 2008). Außerdem ist der Flachdetektor wesentlich handlicher, was besonders im Notfall Vorteile haben kann (Spira et al., 2016).

Moderne Geräte bieten zahlreiche Optionen und Techniken zur Dosisersparung, wie z.B. bei dem hier diskutierten Gerät Artis Zeego (Siemens, Erlangen) das „CARE (Combined applications to reduce exposure) – Paket“. Hierbei gibt es Möglichkeiten, gewisse Schritte der Intervention bzw. die Planung des nächsten Schrittes auch ohne aktive Durchleuchtung vornehmen zu können, indem dafür im geräteinternen Speicher schon existierende Aufnahmen der laufenden Untersuchung (mithilfe LIH - „last image hold“) hinzugezogen werden. Dazu zählt z.B. der „CAREposition“-Modus oder der „fluorofade“-Modus, mithilfe dessen laut Serna Santos eine deutliche Dosisreduktion erreicht werden kann, indem ein fluoroskopisches Bild mit einer sich im Speicher befindlichen DSA – Aufnahme fusioniert wird [(Serna Santos et al., 2020); (Siemens AG, 2014)]. Laufend werden neue Angiographiesysteme, die Dosisersparung für Patienten und Personal versprechen, und neuartige technische Devices wie z.B. durch Medikamentenbeschichtung modifizierte Stents, Ballons und Gefäßprothesen (Tepe et al., 2006), die zu besseren Ergebnissen führen sollen, entwickelt.

### Zielsetzung

Das breite Spektrum an Einsatzmöglichkeiten von radiologisch gesteuerten Gefäßinterventionen auch fernab der Kardiologie lässt dieses Thema zu einem interessanten Feld für wissenschaftliche Untersuchungen werden. In der vorliegenden Arbeit soll es jedoch in erster Linie um die Röntgendosis (Einheit Gray = Gy [J/kg = Energie pro Masse]) in der interventionellen Radiologie gehen. Diese wird in der Praxis, in der die Dosis normalerweise auf eine bestimmten Fläche auftrifft, als Dosisflächenprodukt (DFP) mit der Einheit [cGy\*cm<sup>2</sup>] angegeben, die Dosis über die gesamte bestrahlte Fläche senkrecht zum Strahlengang (Majewska et al., 2011b), weshalb auch in allen Darstellungen in vorliegender Arbeit diese Einheit verwendet wurde. Relevant ist dies, da Röntgenstrahlen den Körper schädigen können, zum einen durch

deterministische, zum anderen durch stochastische Strahlenschäden. Deterministische Strahlenschäden sind solche Schäden, für die es i.d.R. einer bestimmten Dosis an einem Punkt bedarf, um den Schaden zu verursachen. Hierbei handelt es sich in erster Linie um Verbrennungen der Haut (Miller et al., 2003a). Um die Wahrscheinlichkeit einer deterministischen Schädigung zu quantifizieren, misst man die kumulative Röntgendosis in Gray (Balter and Miller, 2014). Hingegen bezeichnen stochastische Strahlenschäden Folgen, die nicht unbedingt infolge der Überschreitung eines aus der Erfahrung heraus angesetzten Dosiswertes entstehen, sondern schlechter vorherzusagen und deren Wahrscheinlichkeit kaum zu berechnen sind. In erster Linie ist hier die Rede von durch Röntgenstrahlung ausgelösten Krebserkrankungen oder Veränderungen im Erbgut (Cousins et al., 2013), für die theoretisch eine einzige durch eine Noxe wie ionisierende Strahlung ausgelöste Mutation ausreichend sein kann. Es wird allgemein anerkannt [(Balter, 2001) und (Faulkner et al., 1999)], dass als Surrogatparameter für die Einschätzung des stochastischen Strahlenrisikos durch Röntgenstrahlen das Dosisflächenprodukt dienen kann. Die Vigilanz für Risiken der Röntgenstrahlung ist heute deutlich höher als in früherer Zeit (Ketteler and Brown, 2011), daher ist eine andauernde Überprüfung älterer und neuerer Techniken in Bezug auf die Anwendung von Röntgenstrahlen von immenser Bedeutung im Strahlenschutz und in der Medizin.

## 1.2. Datenlage

Ziel der Vorgängerarbeit der vorliegenden Arbeit, der im selben Institut durchgeführten Dissertation von Dr. med. dent. Sebastian Kirchner (Kirchner, 2015), war es gewesen, zu untersuchen, inwiefern die Einführung des moderneren Flachdetektorsystems (im UKT das Axiom Artis- Gerät von Siemens, Erlangen) in der interventionellen Radiologie, verglichen mit dem Gerät mit der älteren Technik des Bildverstärkers (im UKT das Fluorospot T.O.P. von Siemens, Erlangen), tatsächlich zur erhofften (Spahn, 2005) Strahlendosisreduktion geführt hat [(Spira et al., 2016), (Wiesinger et al., 2013) und (Kirchner, 2015)]. Hierbei zeigten sich jedoch nicht unerhebliche Unterschiede zwischen



Bildverstärker und Flachdetektor; sowohl im Bereich der therapeutischen (Spira et al., 2016), als auch im Bereich der diagnostischen Angiographien (Wiesinger et al., 2013) wurden für den Flachdetektor höhere Dosisflächenprodukte verzeichnet. Eine der Weiterentwicklungen des damals neuen Gerätes Siemens Axiom Artis ist das nun primär untersuchte Siemens Artis Zeego- Gerät (Siemens, Erlangen). Es war zum Zeitpunkt der Datenerhebung zu der vorliegenden Studie (2014-2015) ein modernes Gerät, wenngleich 2016 das Nachfolgermodell von Siemens vorgestellt wurde (Etienne Szivo: Siemens Healthcare GmbHMarketing, 2016). Es ist das erste System, das auf einer Industrierobotertechnik basiert, welche eine neuartige Rotationsfähigkeit um den Patienten inklusive Möglichkeit zur Schichtaufnahme bietet und über eine Steuerungsmöglichkeit direkt an der Patientenliege durch den interventionellen Radiologen selbst verfügt (Universitätsklinikum Heidelberg, 2010) (Richter and Gebhard, 2013). Der Artis Zeego war als dosissparend gegenüber vorherigen Geräten angekündigt worden (Universitätsklinikum Heidelberg, 2010) (Richter and Gebhard, 2013), jedoch gibt es nach Kenntnis der Autorin keine Studien, die den Artis Zeego direkt mit anderen Geräten in der täglichen Routine der peripheren angiografischen Interventionen vergleichen. Beispielsweise gibt es eine Untersuchung von (Boland et al., 2016), in der der Artis Zeego unter anderem in der perkutanen Koronarangiografie mit einem älteren Philipps Allura X-PER FD20 Flachdetektor verglichen wird und hierbei ein geringeres DFP als Letzterer aufweisen kann. Eine andere Arbeit wiederum, (Honarmand et al., 2016), verglich am Artis Zee – welches zur gleichen Familie wie der Zeego gehört (Siemens AG, 2008) - eine niedrigere Dosis pro Bild mit einer höheren und konnte durch erstere Einstellung 61,24 % des DFP einsparen. So zeigt sich, dass ein Artis Zeego nicht wie der andere ist, und individuelle Einstellungen bzw. Konfigurationen sehr bedeutsam sind. (Andres et al., 2017) wiederum untersuchten das Strahlungsverhalten des Artis Zeego sehr detailliert, wobei sie z.B. herausfanden, dass das DFP durchschnittlich zu 68% von der Radiographie und daher zu geringerem Teil von der Fluoroskopie herrührt, haben jedoch keine durchschnittlichen DFP-Werte für einzelne Untersuchungsarten berichtet. Es wurde in der Literaturrecherche also keine systematische, breitgefächerte

Untersuchung der Strahlendosis des Artis Zeego für den Bereich der nicht-kardiologischen angiografischen Interventionen gefunden.

### 1.3. Fragestellung

Nachdem in der Vorgängerarbeit besagte Unterschiede zwischen dem Fluorospot T.O.P. und dem Siemens Axiom Artis festgestellt worden waren (Kirchner, 2015), ging es nun also darum, herauszufinden, ob das Siemens Flachdetektor-Nachfolgermodell Artis Zeego sich, was die Strahlendosis bzw. das Dosisflächenprodukt betrifft, ähnlich zum Axiom Artis verhält, oder ob möglicherweise eine weitere Dosisreduktion gegenüber diesem erreicht werden konnte. Um auch einen neuen Aspekt in der vorliegenden Arbeit zu beleuchten, wurde versucht, herauszufinden, ob bei Interventionen an der unteren Extremität an der Uniklinik Tübingen der Ort des arteriellen inguinalen Zugangs, d.h. ob der Zugang ante- oder retrograd zu der Stelle der Intervention (Stenose, Verschluss etc.) gelegt wurde, einen Einfluss auf die Strahlendosis hat. Außerdem flossen im neuen Untersuchungskollektiv auch einige komplexe Interventionen mit ein, die mithilfe der 3D-Rotationsangiographie (Cone Beam CT) angefertigt wurden, welche ebenso mit den entsprechenden Interventionen ohne Cone Beam CT verglichen wurden. Bei der Cone Beam CT Aufnahme rotiert das Angiografiegerät in einer Serie um den Patienten herum und erzeugt so mit seinem kegelförmigen Strahl ein CT – artiges Bild (Schulz et al., 2012). Des Weiteren wurde, ähnlich wie in der Vorgängerarbeit, der Einfluss des BMIs auf das DFP beleuchtet. Schließlich sollen die Ergebnisse in einen Kontext mit anderen Studien über diese und ähnliche Geräte gestellt werden und die vorliegenden Ergebnisse in ihrer Wertigkeit eingeordnet werden.

## 2. Material und Methoden

### 2.1. Datenerhebung

Mithilfe des Radiologie Informationssystems (RIS, RadCentre, i-SOLUTIONS Health GmbH, Mannheim, Deutschland) und des Bildarchivierungssystems (Picture Archiving and Communication System - PACS, Centricity Enterprise Web 3.0, GE Medical Systems, Chicago, USA) der Radiologischen Universitätsklinik Tübingen, teilweise aus dem Laborbuch, in dem handschriftlich die Interventionen durch die MitarbeiterInnen der Angiografieabteilung der Uniklinik Tübingen festgehalten wurden, wurden Datensätze – bestehend aus Patienten-ID, Interventionsart, Datum der Untersuchung, Gesamtdosisflächenprodukt, Durchleuchtungsdauer und Serienanzahl - zu den mit dem Siemens Artis Zeego durchgeführten Interventionen erhoben. Bei der vorliegenden Untersuchung wurde anhand der digital archivierten Interventionsaufnahmen und Interventionsprotokolle, in welchen jede DSA- bzw. CBCT-Serie jeweils u.a. mit DFP, kumulativer Dosis, Dauer der Serie, Anzahl der Frames (Aufnahmen) pro Sekunde und insgesamt, Einstrahlwinkel, Tubenspannung, Filter und „field of view“ (Bildausschnitt) beschrieben ist, ähnlich abgelaufene Eingriffe zu Gruppen, im Folgenden Klassen bzw. Unterklassen genannt, zusammengefasst. Fälle mit einer zu kleinen Fallzahl oder mit teilweise fehlenden Messgrößen (außer einigen Fällen mit fehlender Größe bzw. fehlendem Gewicht) wurden nicht berücksichtigt. Größe und Gewicht der Patientinnen und Patienten wurden, sofern vorhanden, aus dem Programm der radiologischen Untersuchungen Centricity Enterprise Web übernommen und bzw. oder unter Zuhilfenahme des allgemeinen klinikinternen Informationssystems SAP NetWeaver (SAP SE, Walldorf, Deutschland) unter Berücksichtigung von Dokumenten wie Entlassbriefen, Prämedikations-/Narkoseprotokollen oder Anamneseprotokollen ermittelt. Da diese Angaben oftmals in verschiedenen aktuellen Dokumenten zu dem Patienten nicht identisch waren, wurden die unterschiedlichen Werte gemittelt, mitunter auch unter Herausrechnung von Ausreißern. Die vielfältigen, in der allgemeinen interventionellen Radiologie am Universitätsklinikum Tübingen durchgeführten,

peripheren und abdominellen, das heißt nicht-kardiologischen und nicht-neuroradiologischen Interventionen, wurden in eine „Masterfile-Tabelle“ (Excel/Office, Microsoft, Redmond, USA) zusammengetragen und wie in der oben genannten Vorgängerdissertation zu sechs verschiedenen Interventionsklassen mit je drei bis sieben Unterklassen erfasst. Dabei wurden die Klassen und Unterklassen in einer Zusammenschau der für die Einteilung zur Verfügung stehenden Quellen (händisch geführtes Angiographiebuch, Codierungen und deren Beschreibungen im klinikinternen System bzw. dem OP-Bericht und eigene Betrachtung der im RIS zu der Intervention gespeicherten Bildern) in einigen Punkten auf leicht veränderte Art und Weise als in der Vorgängerarbeit zusammengestellt, jedoch für den anschließenden Vergleich der drei Geräte, wo notwendig, wieder in ihrer Zugehörigkeit umgestellt, um den bestmöglichen Vergleich unter allen Geräten und Klassen zu gewährleisten. Diese Klassen sind zu einer ersten Übersicht nachfolgend in Tabellen dargestellt und im darauffolgenden Text weiter beschrieben.

Tabelle 1: Übersicht Klassen Gerätevergleich

Klasse Nr.	Klasse Bezeichnung	Unterkategorie Nr.	Unterkategorie Bezeichnung	II (n=)	FPDA (n=)	FPDB (n=)	alle Geräte (n=)
<b>1</b>	diagnostische Angiographie			255	204	63	522
		1a	arterielle Beckenbeinangiographie	197	158	24	379
		1b	Feinnadelangiographie	22	22	21	65
<b>2</b>	Intervention mit PTA	1c	abdominale Angiographie	36	24	18	78
				<b>85</b>	<b>126</b>	<b>280</b>	<b>491</b>
		2a	Oberschenkel	60	85	101	246
		2b	Ober- und Unterschenkel	6	8	110	124
		2c	Unterschenkel	19	33	69	121
<b>3</b>	Intervention mit Stent			<b>94</b>	<b>125</b>	<b>231</b>	<b>450</b>
		3a	Becken	30	32	79	141
		3b	Oberschenkel	35	57	122	214
		3c	Ober- und Unterschenkel	17	21	14	52
		3d	Unterschenkel	12	15	16	43
<b>4</b>	Lyse			<b>111</b>	<b>165</b>	<b>200</b>	<b>476</b>
		4a	Lyse, teilweise mit Intervention	78	127	116	321
		4b	Lysekontrolle	33	38	84	155
<b>5</b>	Embolisation						
			Leberembolisation	64	33	11	108
<b>6</b>	Spezielle Embolisation			<b>14</b>	<b>26</b>	<b>32</b>	<b>72</b>
		6a	transjugulärer portosystemischer Shunt	14	11	17	42
		6b	Aortenprothese	0	15	15	30

Tabelle 2: Übersicht Klassen Zeego

Klasse Nr.	Klasse Bezeichnung	Unterklasse Nr.	Unterklasse Bezeichnung	FPDB (n=)
<b>1</b>	diagnostische Angiographie			<b>63</b>
		1a	arterielle Beckenbeinangiographie	24
		1b	Femoralangiographie	21
<b>2</b>	Intervention mit PTA	1c	abdominale Angiographie	18
				<b>295</b>
		2a	Becken/ Niere	15
		2b.1	Oberschenkel, antegrader Zugang	53
		2b.2	Oberschenkel, retrograder Zugang	38
		2c	Arteria poplitea	44
		2d.1	Ober- und Unterschenkel, antegrader Zugang	50
		2d.2	Ober- und Unterschenkel, retrograder Zugang	29
		2e	Unterschenkel	66
<b>3</b>	Intervention mit Stent			<b>231</b>
		3a.1	Becken, eine Seite	56
		3a.2	Becken, beide Seiten	23
		3b.1	Oberschenkel, antegrader Zugang	66
		3b.2	Oberschenkel, retrograder Zugang	46
		3c	Arteria poplitea	24
		3d	Unterschenkel	16
<b>4</b>	Lyse			<b>208</b>
		4a.1	Lyse, antegrader Zugang	19
		4a.2	Lyse, retrograder Zugang	25
		4b	Lysekontrolle	84
		4c.1	Lysekontrolle + Intervention Becken/ Oberschenkel, antegrader Zugang	36
		4c.2	Lysekontrolle + Intervention Becken/ Oberschenkel, retrograder Zugang	23
		4d	Lysekontrolle + Intervention Unterschenkel	21
<b>5</b>	Embolisation			<b>139</b>
		5a.1	Leberembolisation mit 3D-Angiographie	89
		5a.2	Leberembolisation	11
		5b	viszerale Embolisation	10
		5c	Beckenembolisation	21
		5d	Pfortaderembolisation	8
<b>6</b>	Spezielle Embolisation			<b>81</b>
		6a.1	TIPSS/ Pfortaderintervention	23
		6a.2	TIPSS/ Pfortaderintervention mit 3D- Angiographie	7
		6b	Aortenstent	17
		6c.1	viszerale Revaskularisation	18
		6c.2	PTA + Stent viszeral	16

Die erste Klasse wird von den - in den letzten Jahren zunehmend aufgrund alternativer nichtinvasiver Verfahren wie z.B. die kontrastmittelverstärkte MRT (Lawall et al., 2016) in den Hintergrund tretenden - diagnostischen Angiografien, hier Becken-Bein-Angiografie, Angiografie eines Beines und Angiografie von abdominalen Gefäßen, gebildet. Bei den Klassen zwei und drei handelt es sich um jeweils ähnlich aufgeteilte Klassen: Interventionen an den unteren Extremitäten, in Klasse zwei mit Durchführen von mindestens einer PTA, also dem Aufdehnen einer Engstelle im Gefäßsystem mithilfe eines Ballons, in Klasse drei mit Einbringen von mindestens einem Stent, einer Gefäßstütze. Hierbei wurde versucht, unter Berücksichtigung der bei den jeweiligen Interventionsarten vorkommenden Fallzahlen, sinnvolle Untergruppen zu bilden. Bei der PTA-Klasse sind dies: Haupteingriff mindestens („Haupt-“ im Sinne des am weitesten proximal behandelten Körperteils) an Becken bzw. Niere (nur bei Gerät Artis Zeego), an Oberschenkel (Artis Zeego: jeweils antegrader und retrograder Zugang), Arteria poplitea (nur bei Artis Zeego), Oberschenkel und Unterschenkel (Artis Zeego: jeweils antegrader und retrograder Zugang) und Unterschenkel. Die Stent-Klasse wurde unterteilt in: Stenteinlage mindestens, d.h. die Position des Stents ist maßgeblich für die Einordnung in die Gruppe, unabhängig von teilweise darüber hinaus gegangenen Eingriffen an der Extremität (in der Regel eine PTA) in: Becken (Artis Zeego: jeweils uni- und bilateral), Oberschenkel (Artis Zeego: jeweils antegrader und retrograder Zugang), Arteria poplitea (nur bei Artis Zeego) und Unterschenkel (nicht weiter aufgeteilt bei geringer Fallzahl). In Klasse vier befinden sich die sogenannten Lysen, mit deren Hilfe Gerinnsel in den Beinarterien aufgelöst werden. Dazu wird über eine Schleuse in der Leiste ein Lysekatheter, ähnlich wie bei den anderen Interventionen auch, eingebracht und bei einer Lysetherapie in der Regel über Nacht liegen gelassen, um die Lysemedikamente über Nacht wirken lassen zu können oder in den folgenden Tagen ggf. weitere Lysemedikamente darüber applizieren, den Befund im Gefäß kontrollieren oder andere erforderliche Interventionen wie PTA- und Stentapplikation über die bereits liegende Schleuse durchführen zu können. Nachdem es in den Klassen zwei bis vier zu den oben genannten genaueren Aufteilungen der schon in der Vorgängerarbeit etablierten Interventionsgruppen

kam, wurde in den Auswertungen und Grafiken für den Gerätevergleich diese wieder aufgehoben. Bei Klasse fünf handelt es sich um interventionelle Embolisationen, dem künstlichen Verschließen von Gefäßen, die z.B. bei akuter Blutung, oder, wie im Falle der TACE, bei hypervaskularisierten Tumoren durchgeführt werden. Zuletzt wurden in Gruppe sechs speziellere und weniger häufig durchgeführte, jedoch relativ komplizierte und i.d.R. strahlenintensive Interventionen zusammengefasst: Pfortaderintervention, Aortenstent und verschiedene viszerale Revaskularisationen (ohne und mit Stentplatzierung).

Für den BMI-Vergleich wurden die Interventionen in allen Klassen unterklassen- und teilweise geräteübergreifend nach BMI-Klassen unterteilt und analysiert - ausgenommen Interventionen mit fehlenden Größen- und Gewichtsangaben und sehr kleine BMI-Gruppen mit zu wenigen Fallzahlen. Bspw. wurden so in Klasse 1 sechs Fälle für die BMI – Tabelle ausgeschlossen: n=516 statt n=522).

Hierbei gilt (WHO Expert Consultation, 2004):

$$BMI = \frac{\text{Gewicht (kg)}}{\text{Größe}^2(\text{cm})}$$

BMI < 18 kg/cm<sup>2</sup> = Untergewicht

BMI >= 18 kg/cm<sup>2</sup> und < 25 kg/cm<sup>2</sup> = Normalgewicht

BMI >= 25 kg/cm<sup>2</sup> und < 30 kg/cm<sup>2</sup> = Übergewicht

BMI >= 30 kg/cm<sup>2</sup> und < 35 kg/cm<sup>2</sup> = Adipositas I

BMI >= 35 kg/cm<sup>2</sup> und < 40 kg/cm<sup>2</sup> = Adipositas II

BMI >= 40 kg/cm<sup>2</sup> = Adipositas III



## 2.2. Vergleichende Dosismessung

### Der Artis Zeego

Hauptsächlicher Gegenstand der Untersuchung ist das mit digitalem Flachdetektor ausgestattete Angiographie System Artis Zeego von Siemens (Erlangen, Deutschland). Dies ist eine multiplanare Durchleuchtungsanlage mit einem Flachdetektor mit 30x40 cm Bildschirmausmaßen. Am Artis Zeego können vor jeder Untersuchung Einstellungen am Röntgengenerator vorgenommen werden, wobei es in erster Linie um die Röhrenspannung geht, die so hoch wie möglich sein sollte, um wenig niederenergetische, nicht bildgebende, vom Patienten nur absorbierte, Strahlung zu erzeugen. Die ideale Röhrenspannung für Jodkontrastmittel, wie es bei der Angiographie in der Regel verwendet wird, liegt bei ca. 63kV. Jedoch registriert das Gerät die Patiententransparenz und erhöht z.B. die Spannung, Röhrenstrom und Pulsbreite automatisch bei hoher Dichte weiter. Bei geringeren Patientendichten, also bei niedrigeren nötigen kV-Werten, wird dagegen ein umso dickerer Kupferfilter, der wiederum die niederenergetische Röntgenstrahlung abfängt, in den Strahlengang gefahren, wobei man den oberen kV-Grenzwert, ab dem kein Filter mehr verwendet wird, ebenfalls einstellen kann. Da diese Kupferfilter, die die Reduzierung der Hautdosis bewirken, den Kontrast verschlechtern, wird wiederum die Spannung ein wenig reduziert. Ebenso kann die maximale Länge eines Durchleuchtungspulses, das heißt die Pulsbreite, gewählt werden, jedoch wird sie vom Gerät auch in Abhängigkeit der Patientendichte verändert oder auch, um keine zu hohe Röhrenspannung aufgrund hoher Patientendichte zu haben, vergrößert. Dabei kann das Produkt aus Strom und Pulsbreite (mAs) als Äquivalent zur Strahlendosis angesehen werden (Wiesinger et al., 2013). Die Röntgenstrahlung tritt nach Erzeugung an der Anode, anschließend also aufgehärtet durch diese verschieden dicken Kupferfilter, die in Abhängigkeit von den aktuellen kV- und mA-Werten, der Pulsbreite in Millisekunden und der Dichte des Patienten, in den Strahlengang gefahren werden können, sowie 2,5mm Mindestaluminiumvorfilterung, aus einem unterschiedlich großen Fokus oder Brennfleck (micro, small, large). Dieser ist verantwortlich für die Schärfe der

Bilder, jedoch belastet ein kleiner Brennfleck auch die Röhre, die dann eher die Röhrenspannung bei hoher Patientendichte erhöht. Wenn aber ein höherer Kontrast erforderlich ist, wird automatisch ab einem eingestellten kV-Wert auf einen größeren Fokus umgestellt. Darauf trifft die Strahlung erst den Untersuchungstisch und dann den Patienten, bevor sie, den unterschiedlichen Röntgendichten der durchstrahlten Materie entsprechend, auf den digitalen Flachdetektor trifft. Die Modifikationen der austretenden Strahlung nimmt das Gerät automatisiert vor, insbesondere Strom und Pulsbreite, auch während einer Serie. Des Weiteren können Einstellungen in der Größe und Position des Dosismessfeldes gewählt werden. Die angezeigte Dosis pro Bild ist auf bestimmte Einstellungen (kV, Kupferfilter und Eingangsfeld) genormt, z.B. erhöht sich aber die Dosis bei geringerem Eingangsfeld, was aber dennoch zu einem kleineren DFP führt. Zur Dosisreduktion bei sehr hoher Patientendichte kann eine Funktion eingestellt werden, die die kV-Erhöhung über ca. 102 kV verhindert, da sonst der Bildkontrast zu schlecht würde. Faktoren, die der Untersucher beeinflussen kann, sind die Länge einer Aufnahme oder Serie sowie Frequenz, mit der die Strahlenpulse in den Aufnahmen und Durchleuchtungen gesendet werden. Beispielsweise werden für eine DSA-Serie im Becken- und Beinbereich 1-2 Pulse pro Sekunde verwendet, bei der 3D DSA im Abdomen 30 oder 60 Pulse pro Sekunde. Hier wird auch noch eingestellt, um wieviel Grad pro Bild der C-Bogen pro Bild rotieren soll und welche Dauer der gesamte Vorgang hat. Bei der Durchleuchtung/ Fluoroskopie sind eher Pulsfrequenzen von 10-30 pro Sekunde üblich, können aber je nach Fragestellung variieren. Hier kann auch zusätzlich der Röhrenstrom maximiert werden, um den Kontrast zu erhöhen.

#### Ergebnis der Vergleichsmessung

Für die vorliegende Studie wurde am Artis Zeego – Angiografiegerät eine Vergleichsmessung durch einen Physiker der Universitätsklinik Tübingen mit einem Vergleichsdosimeter (Ionisationskammer DIADOS von PTW, Freiburg) vorgenommen, um die geräteinternen DFP – Messungen, die für die Studie verwendet wurden, einordnen zu können. Dabei wurde eine 6 Sekunden

dauernde DSA- Aufnahme mit folgenden Einstellungen simuliert: 6 Bilder pro Sekunde, 68 kV Röhrenspannung, 0,2 mm Cu- Filter und 283,9 cm<sup>2</sup> Feldgröße. Dabei zeigte sich der mit dem Dosimeter in mGy ermittelte und mithilfe der Feldgröße als Dosisflächenprodukt ausgerechnete Dosiswert als um 6,4% größer als der dabei intern durch den Artis Zeego berechnete Wert. Im Vergleich dazu geht aus den durch denselben Physiker, der auch bei der Dissertation von Dr. Kirchner diese Messungen durchgeführt hat, zur Verfügung gestellten Aufzeichnungen hervor, dass die Geräte Fluorospot T.O.P. und Axiom Artis das DFP intern höher als mit dem Dosimeter ermittelt anzeigen (ca. 15,9% und 10,9% höher). Einschränkend muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass das bei beiden Messungen verwendete Dosimeter in den Jahren zwischen den Messungen geeicht worden ist, woraus eine gewisse Ungenauigkeit resultieren kann und nicht genau dieselbe Kupferfilterung verwendet werden konnte.

### 2.3. Statistische Auswertung

Mithilfe des Statistikprogramms SAS JMP (SAS Institute, Cary, USA, Version 11 bzw. 12) wurde die Excel-Datentabelle („Masterfile“) 1:1 in eine statistisch auswertbare JMP-Datentabelle transferiert. Es erfolgte im weiteren Verlauf sowohl eine separate Auswertung des neueren Gerätes Artis Zeego, als auch eine Gegenüberstellung der neuen Zahlen mit denen der älteren Geräte mithilfe der Excel-Masterfile bzw. JMP-Datentabelle der Vorgängerdoktorarbeit von Sebastian Kirchner (Kirchner, 2015), wozu sowohl von den neuen als auch den alten Untersuchungen bzw. Interventionen einige herausgenommen wurden (Artis Zeego: 200 von 1017 ausgeschlossen; Fluorospot T.O.P bzw. Axiom Artis insgesamt 270 von insgesamt 1573 ausgeschlossen), weil der jeweils andere Untersucher die jeweilige spezielle Gruppe der Untersuchung nicht in seiner Datensammlung aufgenommen hatte. Zunächst wurde für jede Klasse der mit dem Artis Zeego durchgeführten Interventionen eine separate Datentabelle in JMP erstellt und für die Einzelauswertung jeder Unterklasse aus dieser Masterfile die Verteilung der Quantilen der Dosisflächenprodukte und der arithmetische Mittelwert der Fluoroskopiezeiten berechnet. Dasselbe wurde mit den in einer

separaten Vergleichstabelle zusammengefassten Daten der drei verschiedenen Geräte insgesamt (nach Ausschluss einiger Zeilen, s.o.) gemacht. Die daraus resultierenden Quantilen bilden die Grundlagen für die nachfolgenden grafischen Darstellungen der DFPs. Danach wurden beide Datensätze (je für den Artis Zeego und den Gerätevergleich, für jede Unterklasse extra) nicht nur auf Basis der realen Dosisflächenprodukte, sondern auch mithilfe der sogenannten Normdosis, ausgewertet. Hierfür wurde für jede Unterklasse im Einzelnen der geometrische Mittelwerte („Normdauer“) der Fluoroskopiezeiten („sec gesamt“) ermittelt (bei den Gerätevergleichen gemittelt über alle drei Geräte) und mithilfe der Formel „standard dose =  $DFP [cGy * cm^2] * \left(\frac{Normdauer}{sec\ gesamt}\right)$ “ die Normdosis („standard dose“) berechnet, so wie es mit den Daten aus der vorigen Arbeit auch durchgeführt wurde (Wiesinger et al., 2013). Alle Berechnungen zum Dosisvergleich wurden also einmal mit den tatsächlichen Dosen und einmal mit den Normdosen durchgeführt. Aus diesen Dosen bzw. Standarddosen wurden dann mithilfe von JMP die statistischen Kenngrößen der Quantilen bzw. Perzentilen berechnet. Dabei bedeutet bspw. die 50. Quantile -oder auch Median genannt-, dass 50% der untersuchten Werte kleiner als oder gleich groß wie der unter dem Median genannte Wert sind. Anschließend wurden die 10., 25., 50., 75. und 90. Perzentile bzw. Quartile in eine neue, sogenannte Hilfstabelle (für die ganze Klasse und, für die Teile mit dem Gerätevergleich, alle Geräte zusammengefasst in einer Tabelle) eingetragen und somit die Voraussetzungen für die vergleichenden Boxplots (deren Kenngrößen in der Regel die 25., 50., 75. und hier die 10. und 90. Perzentile sind), die zentralen Ergebnisse der vorliegenden Arbeit, geschaffen. Als eine Funktion der Hilfstabelle wurde die Grafik in JMP erstellt, in Microsoft Office PowerPoint kopiert und dort graphisch bearbeitet. Die in der Dissertation enthaltenen Tabellen wurden mit Excel erstellt. Die beiden Punktwolken - Abbildungen sind ebenfalls aus JMP. Die grafisch darstellbaren Dosisunterschiede zwischen den drei Geräten wurden daraufhin mithilfe JMP auf ihre statistische Signifikanz hin untersucht. Zum einen, was die Zusammenhänge zwischen den Geräten unter dem Aspekt der unterschiedlichen BMI-Klassen und Unterklassen betrifft, zum anderen wurden auch in einigen Klassen die Dosisunterschiede bei unterschiedlichen Zugangswegen beim Gerät

Artis Zeego betrachtet. Dazu wurden die vorhandenen (im Falle der unterschiedlichen Zugangswege die neu zusammengeführten und zeitnormierten) Datentabellen, in denen bereits eine Zeitnormierung der DFPs stattgefunden hat, um die 10er Logarithmen ( $\log_{10}$ ) der Dosisflächenprodukte erweitert und die folgenden Berechnungen auf Basis der logarithmierten Werte durchgeführt, da die logarithmierten Daten mehr der Normalverteilung folgen als die Rohwerte. Dabei entsprechen die arithmetischen Mittelwerte der logarithmierten Daten den geometrischen Mittelwerten der Rohdaten. Da also im Zuge der Signifikanzanalyse letztlich die Rangfolge der drei Geräte durch den jeweiligen arithmetischen Mittelwert der logarithmierten Dosen bestimmt wird, kann sich in Einzelfällen durchaus eine Diskrepanz zu der zugehörigen, mit Perzentilen arbeitenden, Grafik ergeben. Mit diesen logarithmierten Dosisflächenprodukten und der Darstellung wiederum als Boxplots wurde dann die Analyse in JMP gestartet, um visuell zu prüfen, ob diese annähernd normalverteilt sind, was annähernd als zutreffend angenommen werden konnte. Dies ist Voraussetzung für den ANOVA-Test (F-Test) (Bender, 2007), der benutzt wurde, um die statistischen Unterschiede in all jenen Fällen, in denen drei Geräte und drei verschiedene BMI-Klassen verglichen wurden, zu untersuchen. In den Fällen, in denen zwei Ausprägungen (Zugangswege und +/- CT-Angiografie) verglichen wurden, wurde der ungepaarte („pooled“) t-Test verwendet (Bender, 2007). Mithilfe des All Pairs, Tukey HSD Tests (SAS Institute Inc.) wurde in den Fällen mit Gerätevergleich genauer untersucht, wie sich die mittleren Dosen der Geräte untereinander unterscheiden. Außerdem erfordern diese statistischen Tests Varianzgleichheit (Bender, 2007). Diese war an einigen Stellen nicht vorhanden, an denen dann der modifizierte Welch-Test (Lohninger, 2012) verwendet wurde, um einen validen p-Wert zu erhalten und die Annahme der statistischen Signifikanz in den Fällen, in denen der Welch-Test kein signifikantes p hervorbrachte, verworfen. Für die statistische Signifikanz der Dosisunterschiede wurde ein Signifikanzniveau von  $p=0,05$  vorausgesetzt und für die Berechnungen nur Gruppen mit mindestens fünf Fällen hinzugezogen. Die Auswertung erfolgte nach der Beratung des biostatistisch-biometrischen Instituts der Universität Tübingen.

## 3. Ergebnisse

### 3.1. Klasse 1 - Diagnostische Angiographien

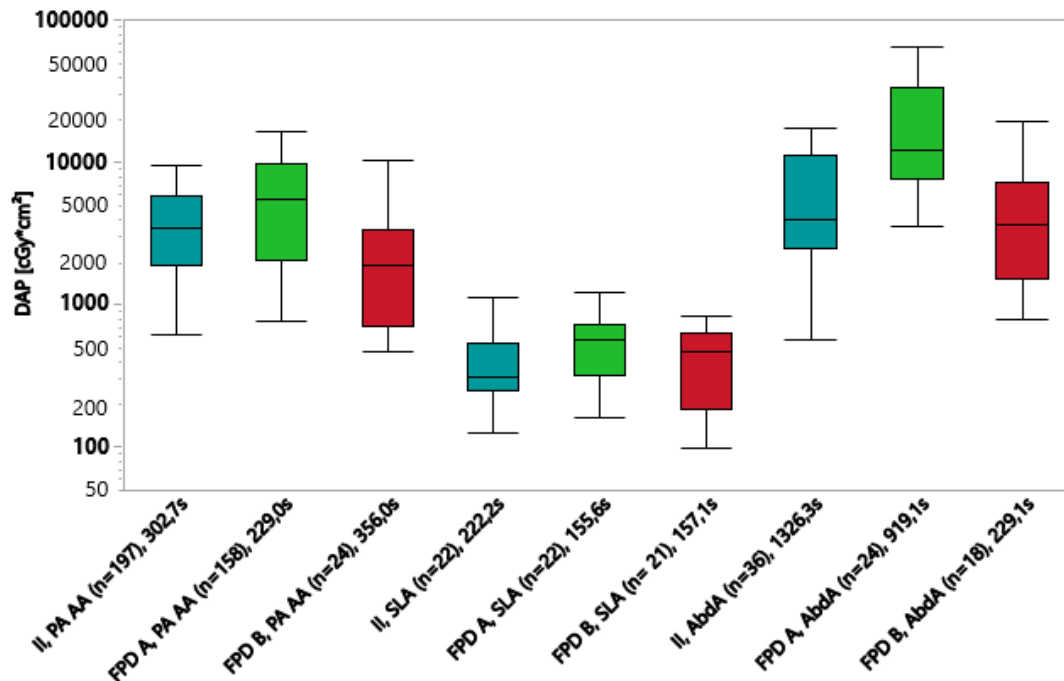
#### I Tatsächliche Werte

##### **Artis Zeego**

Die Werte für den Artis Zeego sind in Klasse eins identisch mit denen aus dem Gerätevergleich, da hier kein Fall für den Gerätevergleich ausgeschlossen wurde, und werden deshalb dort vorgestellt.

##### **Gerätevergleich**

In der bezüglich des Artis Zeego relativ kleinen Klasse der diagnostischen Angiographien wurde, da bei allen Geräten auch dieselben Unterklassen bei allen Geräten gebildet wurden, eine gemeinsame Auswertung, die tatsächliche Dosis betreffend, durchgeführt. Das heißt, in einer Grafik wurden direkt die drei Geräte Bildverstärker/BV (II), Axiom Artis (FPD A) und Artis Zeego (FPD B) nach tatsächlich gemessener Dosis verglichen. Dabei sind die Unterklassen in einer Dreiergruppe nebeneinander und das jeweilige Gerät immer in derselben Farbe dargestellt. Unter dem jeweiligen Boxplot steht das Gerät, die Interventionsart, die Anzahl der analysierten Interventionen und die durchschnittliche Durchleuchtungsdauer (berechnet mithilfe des arithmetischen Mittelwertes). In einem Boxplot sind jeweils die Dosiswerte anhand der 10., 25., 50., 75, und 90. Perzentilen logarithmisch auf der Ordinate dargestellt.



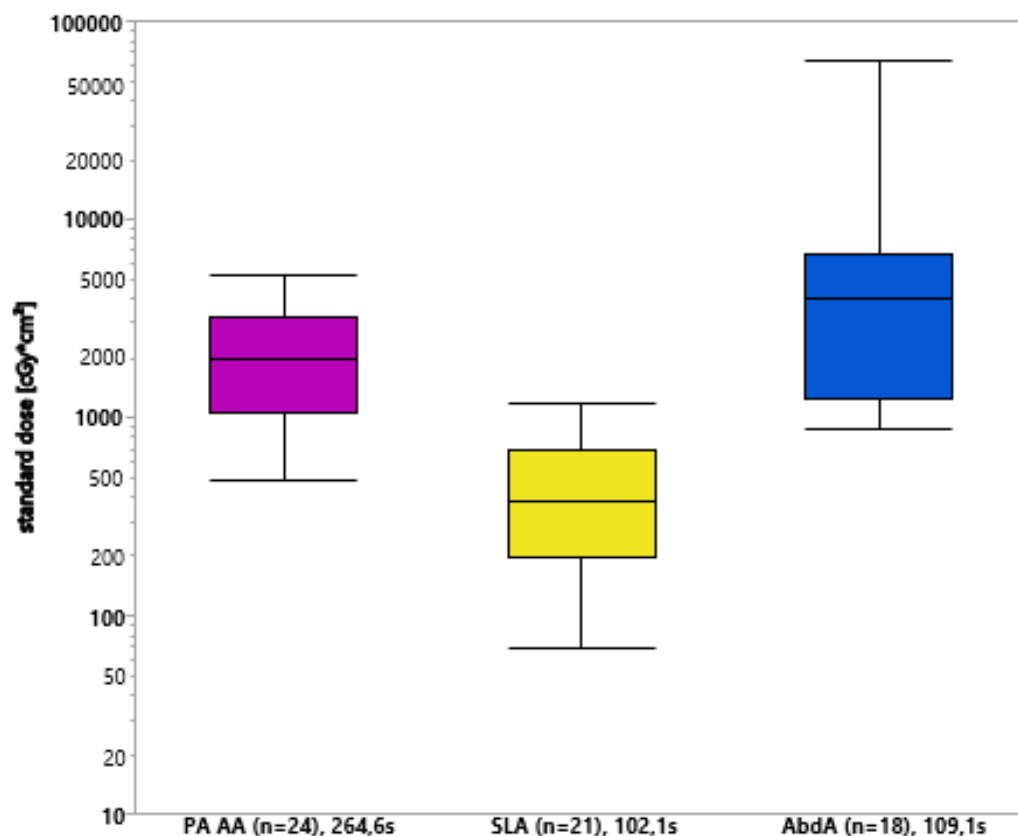
**Abb. 1: Gerätevergleich Klasse 1, tatsächliche Dosis – PA AA = arterielle Beckenbeinangiographie; SLA = Feinnadelangiographie; AbdA abdominelle Angiographie**

Für den BV ergibt sich in der Gruppe arterielle Beckenbeinangiographie somit eine Dosis von im Median  $3537,9 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  (10. und 90. Perzentile  $606,9 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  und  $9564,2 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$ ), während es für den Axiom Artis  $5477,9 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  ( $779,0 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  und  $16.503,3 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$ ) und den Artis Zeego  $1877,5 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  ( $475,5 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  und  $10.393,0 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$ ) sind. Die Feinnadelangiographie schlägt bei dem BV im Median mit  $313,1 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  ( $128,6 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  und  $1154,2 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$ ), bei FPD A mit  $566,7 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  ( $163,5 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  und  $1254,2 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$ ) und bei FPD B mit  $473,0 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  ( $98,4 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  und  $834,4 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$ ) zu Buche. Die abdominelle Angiographie führt bei dem II zu einer Dosis von  $4015,2 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  ( $564,6 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  und  $17.603,3 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$ ), bei FPD A von  $12.275,0 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  ( $3651,9 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  und  $66.014,3 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$ ) und bei FPD B von  $3767,5 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  ( $788,9 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  und  $19.077,5 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$ ).

## II Normierte Dosis

### **Artis Zeego**

Bei der zeitnormierten Analyse der Werte erfolgt die Darstellung der Werte in analoger Weise. Ab dieser Grafik werden die Ergebnisse für den Artis Zeego immer einmal einzeln, und einmal im Kontext mit den beiden Vergleichsgeräten dargestellt. Die Untergruppen bleiben dieselben, nur, dass diesmal bei der Bezeichnung des Boxplots hinter der Bezeichnung der Untergruppe und der Gruppengröße die durchschnittliche, mit dem geometrischen Mittelwert berechnete, Interventionsdauer aufgeführt ist. Zur Berechnung der zeitnormierten Dosis („standard dose“) wurde also jeder Dosiswert auf diese Durchschnittszeit standardisiert und somit aus unterschiedlichen Untersuchungsdauern resultierende Dosisunterschiede versucht, herauszurechnen.



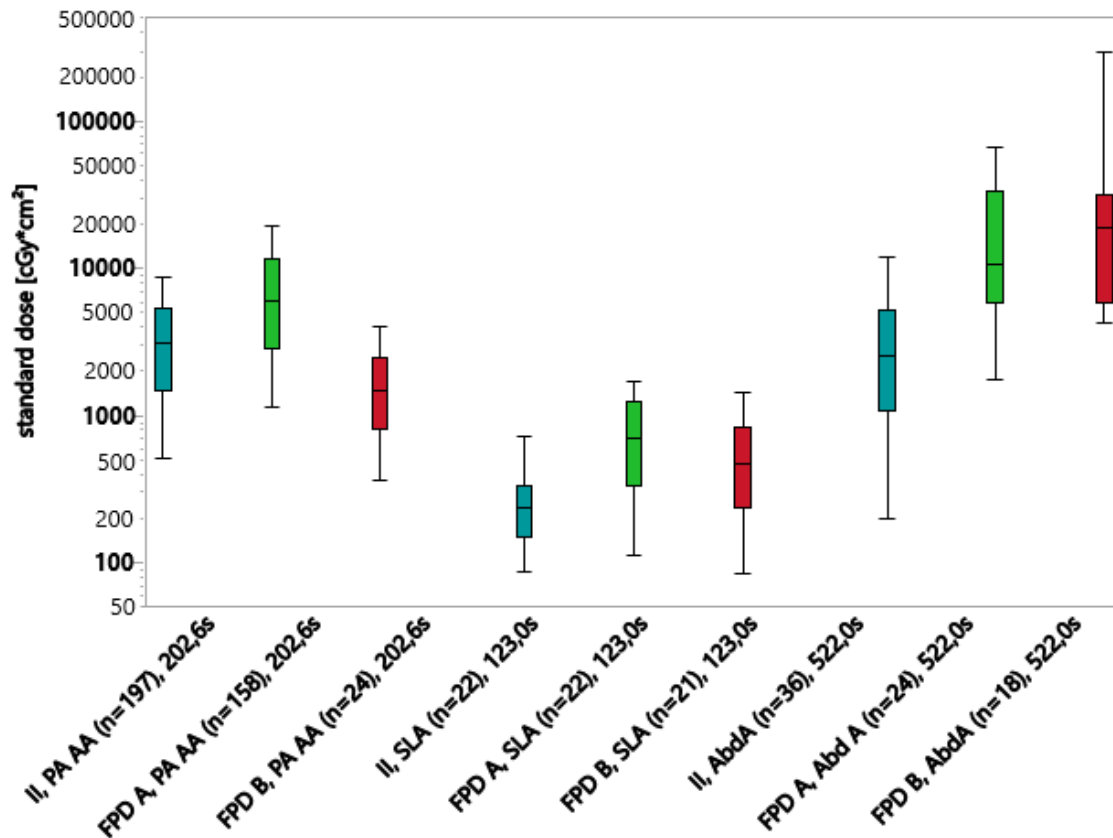
**Abb. 2: Artis Zeego Klasse 1, zeitnormierte Dosis („standard dose“)**– PA AA = arterielle Beckenbeinangiographie; SLA = Feinnadelangiographie; AbdA = abdominelle Angiographie



Für den Artis Zeego führt die Normierung auf die Durchleuchtungszeit zu folgenden Ergebnissen: die arterielle Beckenbeinangiographie hat im Median ein DFP von  $1956,0 \text{ cGycm}^2$  (10. und 90. Perzentile  $479,0 \text{ cGycm}^2$  und  $5187,6 \text{ cGycm}^2$ ), die Feinnadelangiographie  $384,9 \text{ cGycm}^2$  ( $68,8 \text{ cGycm}^2$  und  $1184,5 \text{ cGycm}^2$ ) und die abdominelle Angiographie  $3985,7 \text{ cGycm}^2$  ( $875,0 \text{ cGycm}^2$  und  $62.827,1 \text{ cGycm}^2$ ).

### **Gerätevergleich**

Bei dem nun betrachteten Gerätevergleich zwischen Bildverstärker, Axiom Artis und Artis Zeego wurden wie in der Grafik zuvor die geometrischen Mittelwerte der Fluoroskopiezeiten und zugehörige Standarddosen ermittelt, nur, dass diesmal je Untergruppe alle drei Geräte zusammengefasst wurden und somit neue Ergebnisse für die zeitnormierten Dosen berechnet worden sind. Somit ergibt sich ein direkter Vergleich der drei Geräte, denn es sind jeweils unter drei Boxplots, die dieselbe Unterklasse darstellen, dieselben durchschnittlichen Durchleuchtungszeiten angegeben.



**Abb. 3: Gerätevergleich Klasse 1, zeitnormierte Dosis („standard dose“) – PA AA = arterielle Beckenbeinangiographie; SLA = Feinnadelangiographie; AbdA abdominelle Angiographie**

Im direkten Vergleich zwischen den Geräten in der Gruppe „arterielle Beckenbeinangiographie“ ergibt sich beim BV im Median eine Dosis von  $3115,2 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  (10. und 90. Perzentile  $512,7 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  und  $8806,0 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$ ), bei FPD A von  $6065,1 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  ( $1119,1 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  und  $19.465,3 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$ ) und bei FPD B  $1497,7 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  ( $366,8 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  und  $3972,2 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$ ). Die Feinnadelangiographie bedeutet bei Gerät eins im Median  $234,9 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  (10. und 90. Perzentile  $86,5 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  und  $719,1 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$ ), bei Gerät zwei  $686,7 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  ( $110,8 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  und  $1666,8 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$ ) und bei Gerät drei  $464,0 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  ( $83,0 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  und  $1428,1 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$ ). Bei der abdominellen Angiographie strahlt der BV im Median mit einer Dosis von  $2486,3 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  ( $197,4 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  und  $11.794,1 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$ ), der FPD A mit einer Dosis von  $10.514,8 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  ( $1736,8 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  und  $66.009,1 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$ ) und FPD B mit einer Dosis von  $19.077,8 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  ( $4188,0 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  und  $300.723,5 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$ ).

### III BMI-Vergleich

#### Grafik tatsächliche Dosis

Im Folgenden wurde nun die komplette erste Interventionsklasse nach BMI-Klassen und Geräten aufgeteilt, jedoch die jeweiligen tatsächlich gemessenen Dosisflächenprodukte (inklusive der mit dem arithmetischen Mittel berechneten Durchleuchtungszeiten) pro Untergruppe dargestellt und der Median und die, wie bereits in den vorigen Grafiken geschehen, Perzentilen berechnet.

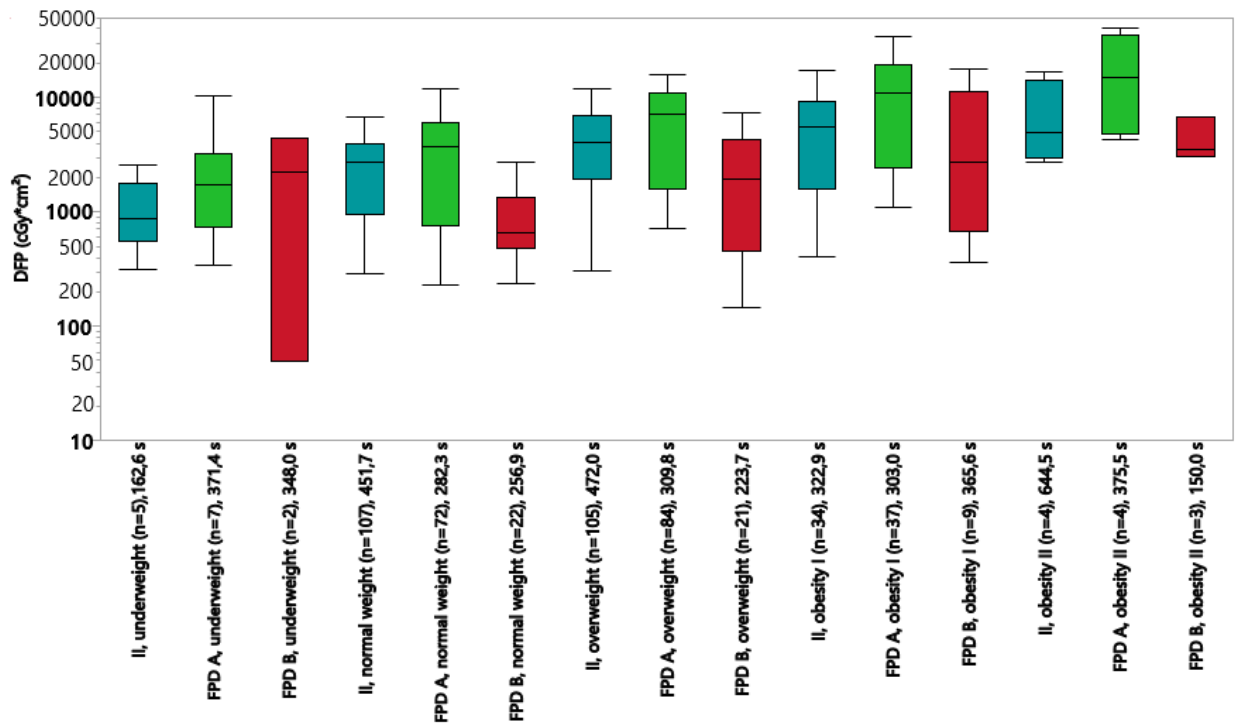


Abb. 4: BMI-Vergleich Klasse 1 mit je II, FPD A und FPD B – **underweight** = Untergewicht; **normal weight** – Normalgewicht; **overweight** – Übergewicht; **obesity I/II** – Adipositas Grad I/II

In der Gruppe „Untergewicht“ wurden folgende Werte herausgefunden: im Median ein Dosisflächenprodukt von  $864,0 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  (10. und 90. Perzentile  $312,8 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  und  $2611,2 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$ ) beim Image Intensifier,  $1740,2 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  ( $346,3 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  und  $10.174,6 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$ ) bei Flachbilddetektor A und  $2260,0 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  ( $48,0 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  und  $4472,0 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$ ) bei Flachbilddetektor B. Im Bereich des

Normalgewichts liegt die Dosis im Median bei 2738,9 cGycm<sup>2</sup> (10. und 90. Perzentile 293,6 cGycm<sup>2</sup> und 6598,0 cGycm<sup>2</sup>) beim II, 3752,2 cGycm<sup>2</sup> (232,7 cGycm<sup>2</sup> und 11.729,7 cGycm<sup>2</sup>) bei FPD A und 645,5 cGycm<sup>2</sup> (234,8 cGycm<sup>2</sup> und 2702,0 cGycm<sup>2</sup>) bei FPD B. In der Gruppe der Übergewichtigen sind die Werte wie folgt: 4144,7 cGycm<sup>2</sup> im Median sind es bei Gerät 1 (10. und 90. Perzentile 307,2 cGycm<sup>2</sup> und 11.803,7 cGycm<sup>2</sup>), 7033,5 cGycm<sup>2</sup> (701,8 cGycm<sup>2</sup> und 15.813,7 cGycm<sup>2</sup>) bei Gerät 2 und 1963 cGycm<sup>2</sup> (144,2 cGycm<sup>2</sup> und 7214,4 cGycm<sup>2</sup>) bei Gerät 3. In der Adipositasgruppe 1 liegt die mediane Dosis bei 5418,3 cGycm<sup>2</sup> (409,8 cGycm<sup>2</sup> und 17.111,4 cGycm<sup>2</sup>; Gerät 1), bei 10.944,8 cGycm<sup>2</sup> (1074,7 cGycm<sup>2</sup> und 34.171,4 cGycm<sup>2</sup>; Gerät 2) und bei 2713,0 cGycm<sup>2</sup> (365,0 cGycm<sup>2</sup> und 17.850 cGycm<sup>2</sup>; Gerät 3). Gruppe „Adipositas II“ hat eine mediane Dosis von 4807,9 cGycm<sup>2</sup> (10. und 90. Perzentile 2699,9 cGycm<sup>2</sup> und 16.824,9 cGycm<sup>2</sup>) mit dem II, von 14.904,1 cGycm<sup>2</sup> (4304,2 cGycm<sup>2</sup> und 39.609,1 cGycm<sup>2</sup>) mit FPD A und von 3562,0 cGycm<sup>2</sup> (3026,0 cGycm<sup>2</sup> und 6608,0 cGycm<sup>2</sup>) mit Gerät B.

### **Tabelle Normierte Dosis**

Mithilfe des geometrischen Mittelwertes wurde die durchschnittliche Interventionsdauer je BMI-Klasse über alle drei Geräte und daraus folgend das zeitstandardisierte mittlere Dosisflächenprodukt (ebenfalls geometrischer Mittelwert) dieser neuen Untergruppe ermittelt. Diese Werte wurden in eine Excel-Tabelle eingetragen. Zusätzlich wurde jedes der Flachdetektorgeräte direkt mit dem Bildverstärker verglichen und ein Quotient aus den jeweiligen Dosisflächenprodukten gebildet. Ein Ergebnis über 1 bedeutet also mehr Dosis als der Bildverstärker, unter 1 weniger.

**Tabelle 3: Zeitstandardisierte Dosisflächenprodukte (DAP [cGy\*cm<sup>2</sup>] standardized for procedure duration) in Klasse 1, unterteilt nach BMI-Klasse (BMI class) und Gerät (system) mit Fallzahl (n), geometrischem Mittelwert der Fluoroskopiezeit (average procedure time [s]), Normdosis (= zeitstandardisierte Dosisflächenprodukte) und Verhältnis FPD A bzw. B und II (ratio FPD /II) - unterweight = Untergewicht; normal weight – Normalgewicht; overweight – Übergewicht; obesity I/II – Adipositas Grad I/II**

BMI class	system	n	average procedure time [s]	DAP [cGy*cm <sup>2</sup> ] standardized for procedure duration	Ratio FPD /II
underweight	II	5	215,3	1164,1	
	FPD A	7		1528,6	1,31
	FPD B	2		320,6	0,28
normal weight	II	107	220,7	1513,8	
	FPD A	72		2870,3	1,9
	FPD B	22		878,8	0,58
overweight	II	105	220,3	2458	
	FPD A	84		5345,2	2,17
	FPD B	21		2676,4	1,09
obesity I	II	34	210,6	2554,5	
	FPD A	37		8568,9	3,35
	FPD B	9		4609,9	1,8
obesity II	II	4	306,3	3509,7	
	FPD A	4		10728,9	3,06
	FPD B	3		9563	2,72

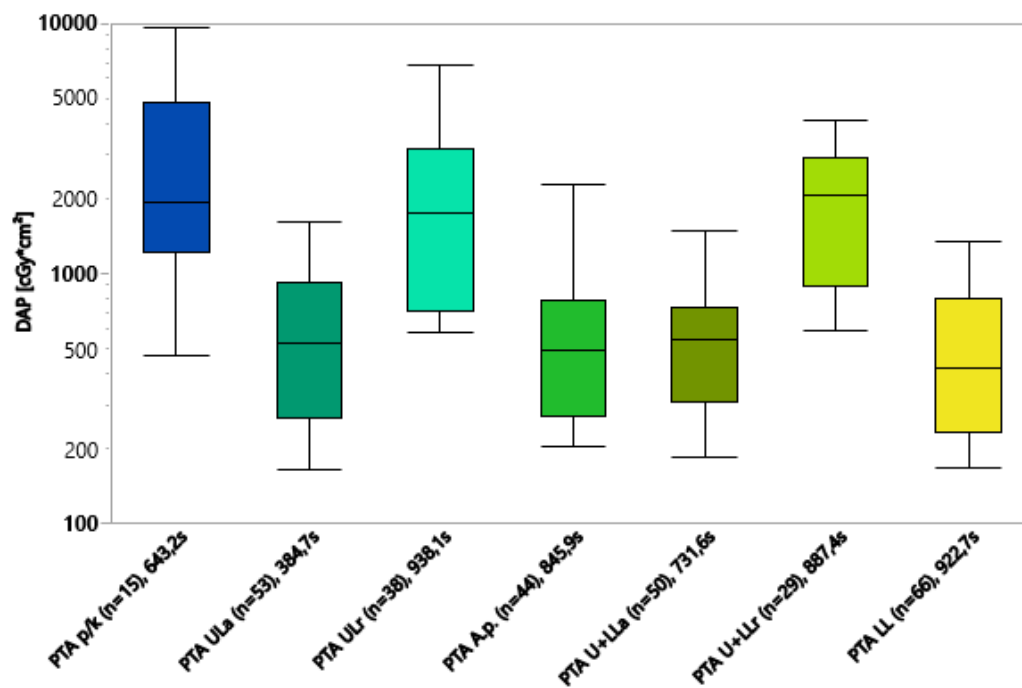
Am aussagekräftigsten sind aufgrund der Fallzahlen, wie in der Regel in den folgenden Klassen auch, die Gruppen „Normalgewicht“, „Übergewicht“ und „Adipositas I“. In allen drei Gruppen ergeben sich für den Artis Zeego geringere FPD/II – Verhältnisse als für den Axiom Artis (0,58 vs. 1,9; 1,09 vs. 2,17; 1,8 vs. 3,35). Aus der für den BMI-Vergleich angefertigten Tabelle lässt sich durchgehend herauslesen, dass jedes Gerät für eine höhere BMI-Klasse auch eine höhere Dosis aufwendet.

## 3.2.Klasse 2 – Interventionen mit PTA

### I Tatsächliche Dosis

#### Artis Zeego

Ab Klasse 2 wurde auch in der Sparte „Tatsächliche Dosis“ eine Darstellung der Ergebnisse des Artis Zeego allein, zusätzlich zu den Ergebnissen im Gerätevergleich, vorgenommen. Die Einteilung der Untergruppen ist dabei wie folgt: PTA im Becken- oder Nierenbereich, PTA im Oberschenkel mit je antegradem oder retrogradem Zugang, PTA der Arteria poplitea, PTA im Ober- und Unterschenkel mit je antegradem oder retrogradem Zugang und PTA im Unterschenkel.

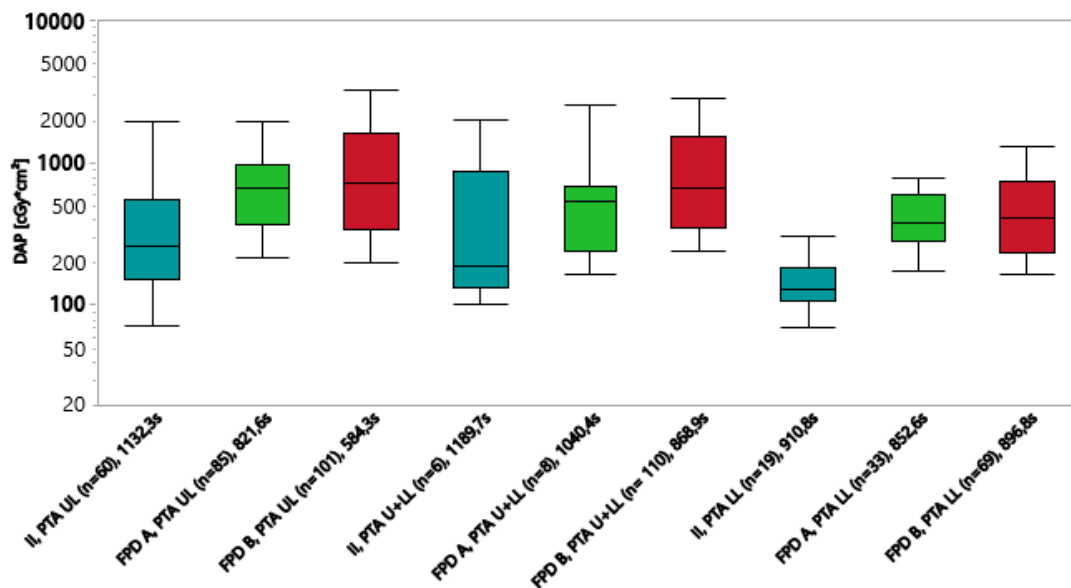


**Abb. 5: Artis Zeego Klasse 2, tatsächliche Dosis – p/k = Becken/Niere; ULa = Oberschenkel, antegrader Zugang; ULr = Oberschenkel, retrograder Zugang; A.p. = Arteria poplitea; U+LLa = Ober- und Unterschenkel, antegrader Zugang; U+LLr = Ober- und Unterschenkel, retrograder Zugang; LL = Unterschenkel**

Die PTA im Becken- und Nierenbereich bedeutet im Median eine Dosis von  $1943,0 \text{ cGy cm}^2$  (10. und 90. Perzentile  $465,2 \text{ cGy cm}^2$  und  $9534,0 \text{ cGy cm}^2$ ). Die PTA im Oberschenkel mit antegradem Zugang führt zu einer medianen Dosis von  $521,0 \text{ cGy cm}^2$  ( $165,4 \text{ cGy cm}^2$  und  $1604,8 \text{ cGy cm}^2$ ), während es bei dem retrograden Zugang  $1760,5 \text{ cGy cm}^2$  ( $581,2 \text{ cGy cm}^2$  und  $6775,8 \text{ cGy cm}^2$ ) sind. Die PTA der Arteria poplitea macht eine Dosis von  $494,0 \text{ cGy cm}^2$  ( $204,5 \text{ cGy cm}^2$  und  $2280,5 \text{ cGy cm}^2$ ). Bei der PTA von Oberschenkel und Unterschenkel resultiert der antegrade Zugang in einer Dosis von  $545,5 \text{ cGy cm}^2$  ( $183,4 \text{ cGy cm}^2$  und  $1480,9 \text{ cGy cm}^2$ ) und der retrograde in einer Dosis von  $2044,0 \text{ cGy cm}^2$  ( $590,0 \text{ cGy cm}^2$  und  $4069,0 \text{ cGy cm}^2$ ), wobei es bei der PTA des Unterschenkels im Median  $422,0 \text{ cGy cm}^2$  ( $167,6 \text{ cGy cm}^2$  und  $1328,6 \text{ cGy cm}^2$ ) sind.

### **Gerätevergleich**

Nachfolgend wird nun wieder das Ergebnis im Gerätevergleich betrachtet. Dafür wurde die Unterteilung der Unterklassen in Anlehnung an die Einteilung in der Vorgängerdissertation etwas abgeändert zur Artis Zeego-Darstellung vorgenommen und die Unterklasse Becken/ Niere herausgenommen: Oberschenkel, Oberschenkel plus Unterschenkel und Unterschenkel.



**Abb. 6: Gerätevergleich Klasse 2, tatsächliche Dosis – UL = Oberschenkel; U+LL = Ober- und Unterschenkel; LL = Unterschenkel**

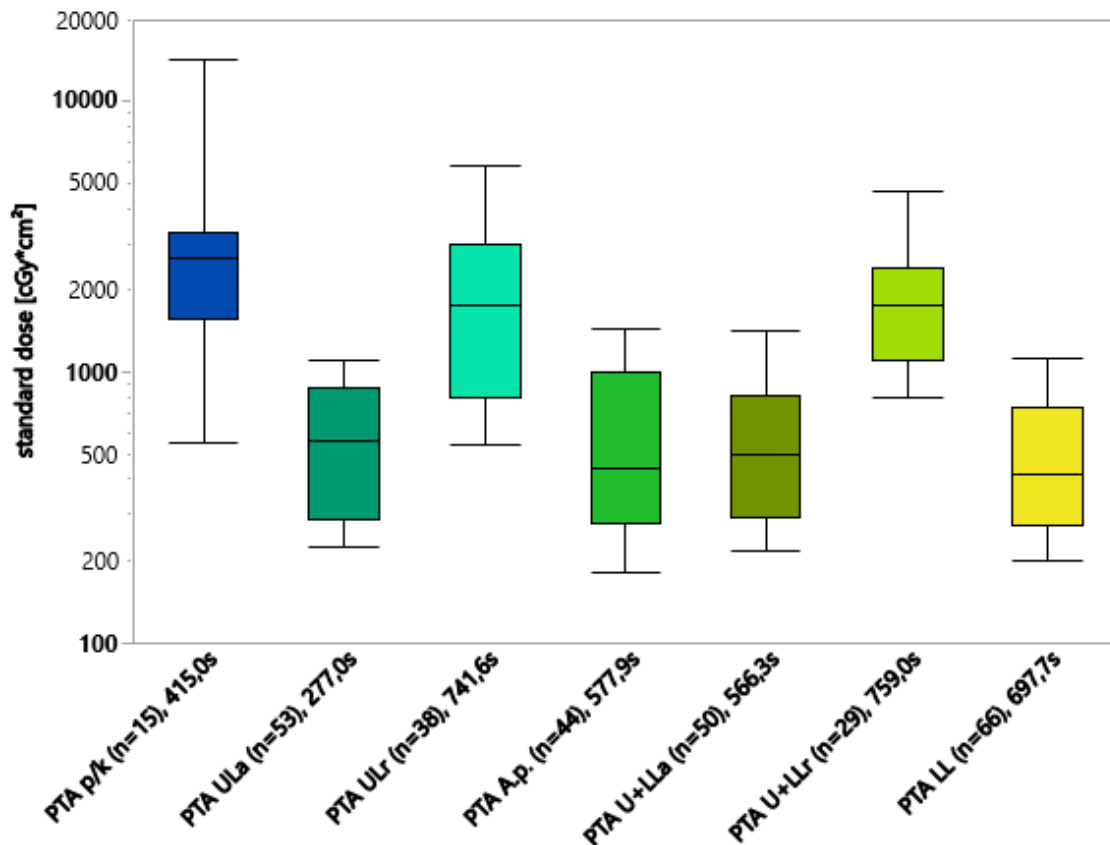
Bei der PTA am Oberschenkel ergeben sich beim Bildverstärker im Median 261,3  $cGy\cdot cm^2$  (10. und 90. Perzentile 73,0  $cGy\cdot cm^2$  und 1933,2  $cGy\cdot cm^2$ ), bei FPD A 661,4  $cGy\cdot cm^2$  (216,4  $cGy\cdot cm^2$  und 1920,1  $cGy\cdot cm^2$ ) und bei FPD B 736,0  $cGy\cdot cm^2$  (202,8  $cGy\cdot cm^2$  und 3253,0  $cGy\cdot cm^2$ ). In Untergruppe zwei (PTA Oberschenkel plus Unterschenkel) beträgt die mediane Dosis bei Gerät II 193,3  $cGy\cdot cm^2$  (102,0  $cGy\cdot cm^2$  und 2017,4  $cGy\cdot cm^2$ ), bei FPD A 543,8  $cGy\cdot cm^2$  (168,1  $cGy\cdot cm^2$  und 2600,4  $cGy\cdot cm^2$ ) und bei FPD B 660,5  $cGy\cdot cm^2$  (240,4  $cGy\cdot cm^2$  und 2859,4  $cGy\cdot cm^2$ ). Die PTA des Unterschenkels führt zu einer medianen Dosis von 130,2  $cGy\cdot cm^2$  bei Gerät eins (10. und 90. Perzentile 70,4  $cGy\cdot cm^2$  und 309,1  $cGy\cdot cm^2$ ), 380,7  $cGy\cdot cm^2$  (175,1  $cGy\cdot cm^2$  und 787,7  $cGy\cdot cm^2$ ) bei Gerät zwei und 420,0  $cGy\cdot cm^2$  (170,0  $cGy\cdot cm^2$  und 1310,0  $cGy\cdot cm^2$ ) bei Gerät drei.



## II Normierte Dosis

### **Artis Zeego**

Auch bei der Darstellung der Ergebnisse der Artis Zeego in der Normdosis-Variante erfolgte dieselbe Aufteilung der Untergruppen sowie dieselbe Präsentationsweise.



**Abb. 7: Artis Zeego Klasse 2, zeitnormierte Dosis („standard dose“) – p/k = Becken/Niere; ULa = Oberschenkel, antegrader Zugang; ULr = Oberschenkel, retrograder Zugang; A.p. = Arteria poplitea; U+LLa = Ober- und Unterschenkel, antegrader Zugang; U+LLr = Ober- und Unterschenkel, retrograder Zugang; LL = Unterschenkel**

Mit der Normierung der Dosisflächenprodukte ergibt sich in Unterklasse eins eine mediane Dosis von  $2634,9 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  (10. und 90. Perzentile  $546,9 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  und  $14.385,9 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$ ). In der Gruppe „PTA Oberschenkel, antegrader Zugang“ beträgt die Neuberechnete mediane Dosis  $557,1 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  ( $226,4 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  und  $1107,6 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$ ), für die „PTA Oberschenkel, retrograder Zugang“  $1751,6 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$

(539,8 cGycm<sup>2</sup> und 5807,0 cGycm<sup>2</sup>). Für die „PTA Arteria poplitea“ ergibt sich folgendes: 444,7 cGycm<sup>2</sup> (182,0 cGycm<sup>2</sup> und 1440,6 cGycm<sup>2</sup>). Die „PTA Oberschenkel plus Unterschenkel, antegrader Zugang“ resultiert in einer medianen Dosis von 497,7 cGycm<sup>2</sup> (218,3 cGycm<sup>2</sup> und 1418,0 cGycm<sup>2</sup>), während es bei der „PTA Oberschenkel plus Unterschenkel, retrograder Zugang“ 1759,1 cGycm<sup>2</sup> (802,6 cGycm<sup>2</sup> und 4677,0 cGycm<sup>2</sup>) sind. Die „PTA Unterschenkel“ liegt im Median bei 417,2 cGycm<sup>2</sup> (10. und 90. Perzentile 199,2 cGycm<sup>2</sup> und 1122,1 cGycm<sup>2</sup>).

### Gerätevergleich

Im Gerätevergleich wurden die drei verglichenen Geräte wieder nebeneinander und mit nach Durchleuchtungsdauer normierter Dosis dargestellt.

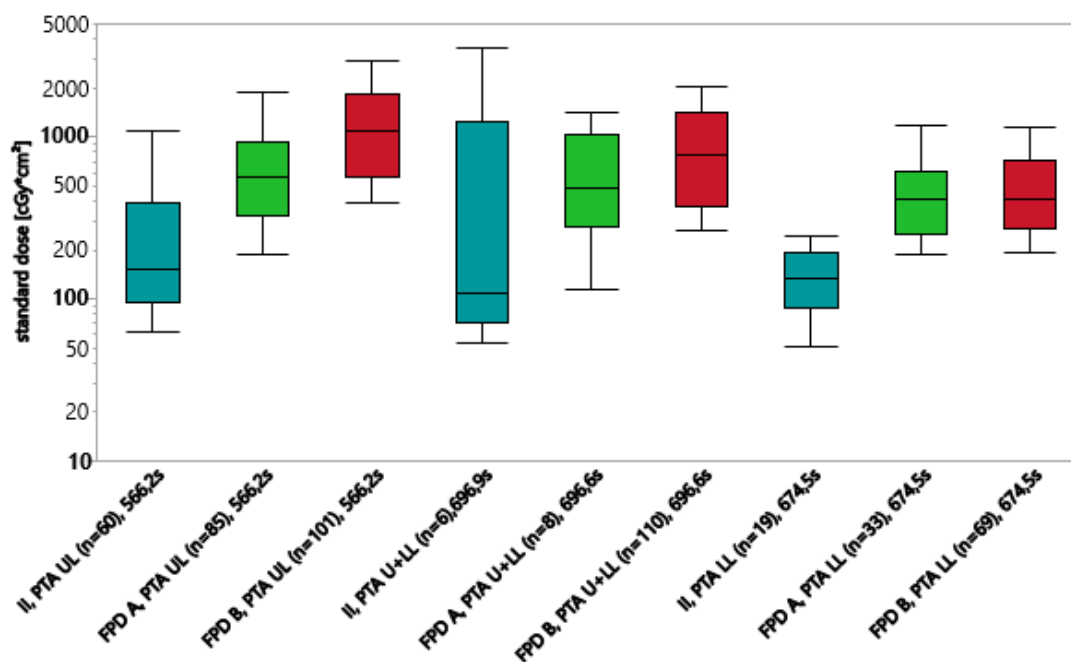


Abb. 8: Gerätevergleich Klasse 2, zeitnormierte Dosis („standard dose“) – UL = Oberschenkel; U+LL = Ober- und Unterschenkel; LL = Unterschenkel

Im Gerätevergleich der zeitnormierten Ergebnisse liegt der Bildverstärker in der Untergruppe „Oberschenkel“ bei einer Dosis von im Median 150,9 cGycm<sup>2</sup> (10.

und 90. Perzentile 63,2 cGy $\text{cm}^2$  und 1101,5 cGy $\text{cm}^2$ ), Flachbildschirmgerät A bei 557,2 cGy $\text{cm}^2$  (184,0 cGy $\text{cm}^2$  und 1899,6 cGy $\text{cm}^2$ ) und Flachbildschirmgerät B bei 1104,2 cGy $\text{cm}^2$  (388,6 cGy $\text{cm}^2$  und 2930,3 cGy $\text{cm}^2$ ). Die „PTA Oberschenkel plus Unterschenkel“ bedeutet in dieser Kategorie für Gerät eins eine mediane Dosis von 110,1 cGy $\text{cm}^2$  (52,9 cGy $\text{cm}^2$  und 3488,4 cGy $\text{cm}^2$ ), für Gerät zwei 486,6 cGy $\text{cm}^2$  (114,8 cGy $\text{cm}^2$  und 1387,5 cGy $\text{cm}^2$ ) und für Gerät drei 779,8 cGy $\text{cm}^2$  (263,2 cGy $\text{cm}^2$  und 2021,9 cGy $\text{cm}^2$ ). Bei der „PTA Unterschenkel“ ergeben sich für den Bildverstärker im Median 133,2 cGy $\text{cm}^2$  (10. und 90. Perzentile 51,3 cGy $\text{cm}^2$  und 243,9 cGy $\text{cm}^2$ ), den FPD A 410,1 cGy $\text{cm}^2$  (186,6 cGy $\text{cm}^2$  und 1167,1 cGy $\text{cm}^2$ ) und den FPD B 409,3 cGy $\text{cm}^2$  (195,4 cGy $\text{cm}^2$  und 1144,7 cGy $\text{cm}^2$ )

### III BMI-Vergleich

#### Grafik tatsächliche Dosis

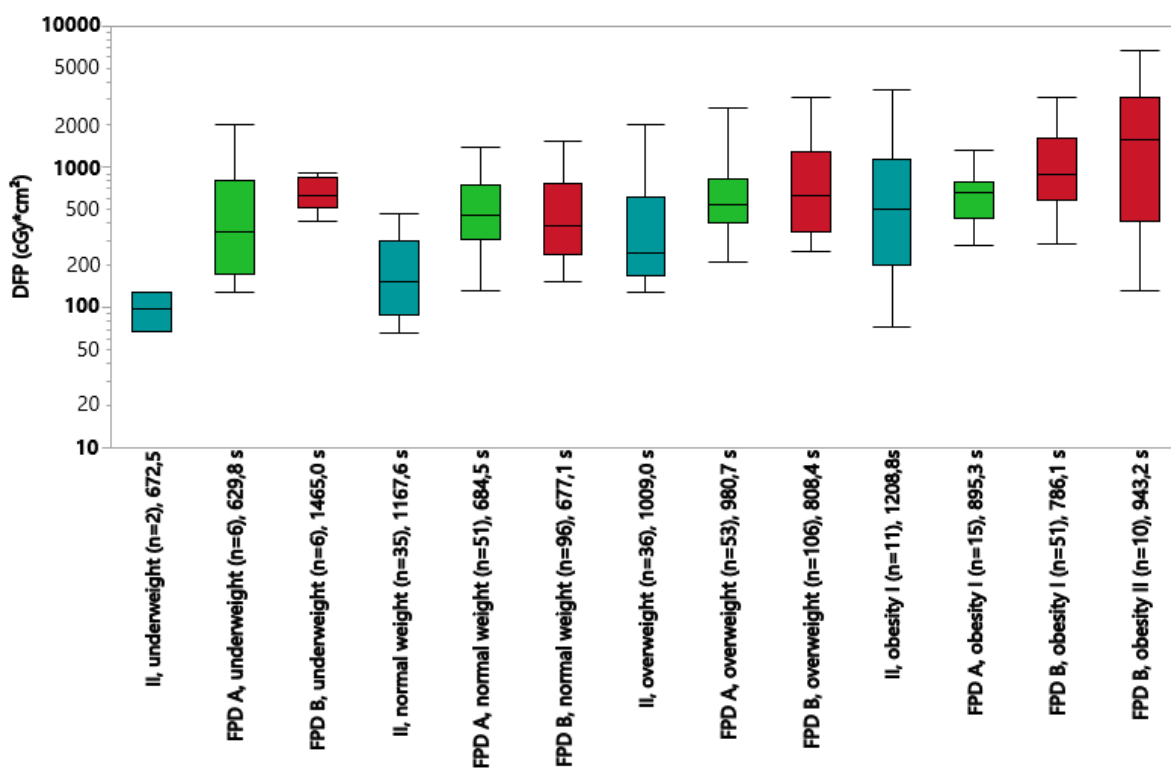


Abb. 9: BMI-Vergleich Klasse 2 mit je II, FPD A und FPD B – **underweight** = Untergewicht; **normal weight** – Normalgewicht; **overweight** – Übergewicht; **obesity I/II** – Adipositas Grad I/II

In der kleinen Gruppe der Untergewichtigen ergeben sich folgende Werte: Gerät 1 im Median  $98,5 \text{ cGy cm}^2$  (10. und 90. Perzentile  $67,3 \text{ cGy cm}^2$  und  $129,7 \text{ cGy cm}^2$ ); Gerät 2:  $345,1 \text{ cGy cm}^2$  ( $129,3 \text{ cGy cm}^2$  und  $1971,6 \text{ cGy cm}^2$ ); Gerät 3:  $624,5 \text{ cGy cm}^2$  ( $408,0 \text{ cGy cm}^2$  und  $919,0 \text{ cGy cm}^2$ ). Im Bereich Normalgewicht beträgt die Dosis bei dem II im Median  $152,7 \text{ cGy cm}^2$  ( $65,6 \text{ cGy cm}^2$  und  $468,8 \text{ cGy cm}^2$ ), bei FPD A  $458,4 \text{ cGy cm}^2$  ( $132,4 \text{ cGy cm}^2$  und  $1360,0 \text{ cGy cm}^2$ ) und bei FPD B  $385,0 \text{ cGy cm}^2$  ( $154,7 \text{ cGy cm}^2$  und  $1522,2 \text{ cGy cm}^2$ ).  $239,3 \text{ cGy cm}^2$  ( $129,0 \text{ cGy cm}^2$  und  $1994,7 \text{ cGy cm}^2$ ) sind es bei den Übergewichtigen mit Gerät 1,  $537,7 \text{ cGy cm}^2$  ( $212,3 \text{ cGy cm}^2$  und  $2634,6 \text{ cGy cm}^2$ ) mit Gerät 2 und  $634,5 \text{ cGy cm}^2$  ( $251,7 \text{ cGy cm}^2$  und  $3107,0 \text{ cGy cm}^2$ ) mit Gerät 3. In der Gruppe „Adipositas I“ ergibt sich für den II eine mediane Dosis von  $492,6 \text{ cGy cm}^2$  ( $74,3 \text{ cGy cm}^2$  und  $3559,8 \text{ cGy cm}^2$ ), für FPD A  $661,4 \text{ cGy cm}^2$  ( $279,3 \text{ cGy cm}^2$  und  $1342,8 \text{ cGy cm}^2$ ) und für FPD B  $893,0 \text{ cGy cm}^2$  ( $284,8 \text{ cGy cm}^2$  und  $3073,0 \text{ cGy cm}^2$ ). Lediglich mit dem FPD B hat sich in der Gruppe „Adipositas II“ eine Gruppe von über 5 Fällen ergeben:  $1565,5 \text{ cGy cm}^2$  ( $133,1 \text{ cGy cm}^2$  und  $6761,7 \text{ cGy cm}^2$ ).

## Tabelle normierte Dosis

**Tabelle 4: Zeitstandardisierte Dosisflächenprodukte (DAP [cGy\*cm<sup>2</sup>] standardized for procedure duration) in Klasse 2, unterteilt nach BMI-Klasse (BMI class) und Gerät (system) mit Fallzahl (n), geometrischem Mittelwert der Fluoroskopiezeit (average procedure time [s]), Normdosis (= zeitstandardisierte Dosisflächenprodukte) und Verhältnis FPD A bzw. B und II (ratio FPD /II) - underweight = Untergewicht; normal weight – Normalgewicht; overweight – Übergewicht; obesity I – Adipositas Grad I**

BMI class	system	n	average procedure time [s]	DAP [cGy*cm <sup>2</sup> ] standardized for procedure duration	Ratio FPD /II
underweight	II	2	799,6	126,5	
	FPD A	6		555,4	4,39
	FPD B	6		375,5	3
normal weight	II	35	578,3	107,2	
	FPD A	51		493,7	4,61
	FPD B	96		494,3	4,61
overweight	II	36	641,4	275,6	
	FPD A	53		531,6	1,93
	FPD B	106		846,8	3,07
obesity I	II	11	658	328,4	
	FPD A	15		516,9	1,57
	FPD B	51		1090,7	3,32

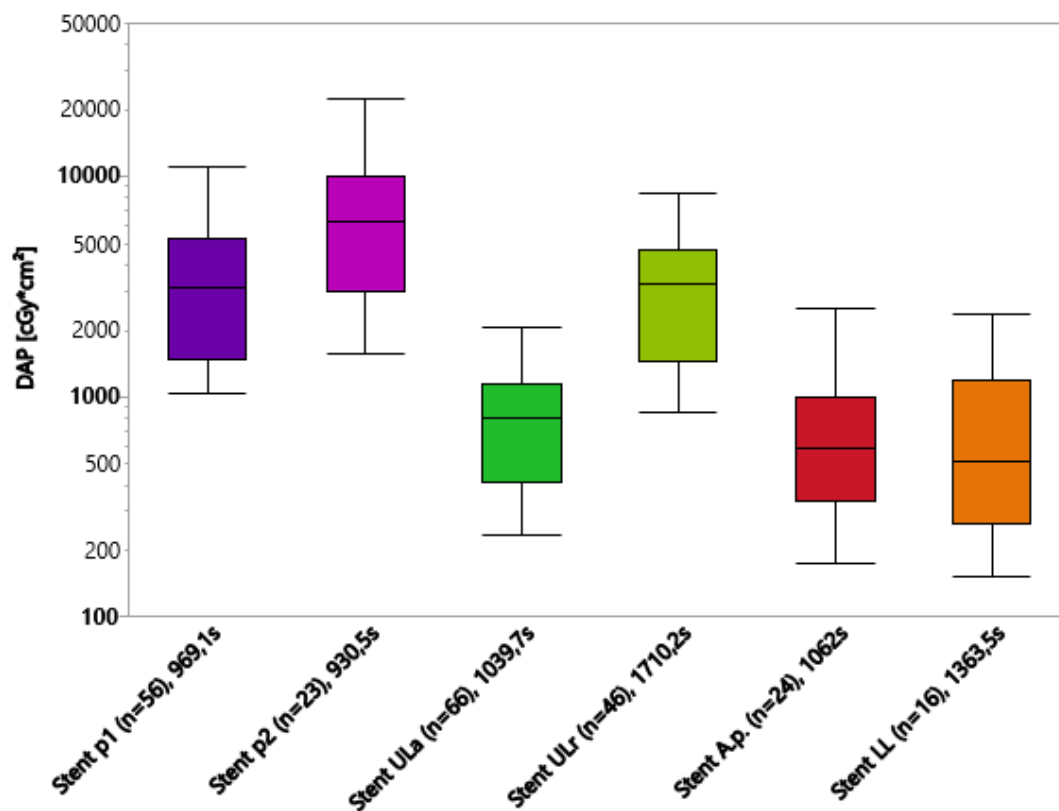
Auch hier stellen die Gruppen „Normalgewicht“, „Übergewicht“ und Adipositas I“ wieder die relevanten Gruppen dar. Die FPD/II-Verhältnisse betragen in Klasse 2 (FPD A/FPD B): 4,61 vs. 4,61; 1,93 vs. 3,07; 1,57 vs. 3,32. Für die Interventionen der Klasse 2 lässt aus der Tabelle keine höhere Dosis, je höher die BMI-Klasse ist, herauslesen.

### 3.3. Klasse 3 - Interventionen mit Stent

#### I Tatsächliche Dosis

##### **Artis Zeego**

In dieser Klasse wurden die Untergruppen (von links nach rechts in der Grafik) wie folgt eingeteilt: Stent Becken anterograder Zugang, Stent Becken retrograder Zugang, Stent Oberschenkel anterograder Zugang, Stent Oberschenkel retrograder Zugang, Stent A. poplitea und Stent Unterschenkel mit jeweiliger Anzahl der beobachteten Interventionen und durchschnittlicher Durchleuchtungsdauer.



**Abb. 10: Artis Zeego Klasse 3, tatsächliche Dosis – p1 = Becken, eine Seite; p2 = Becken, beide Seiten; ULa = Oberschenkel, anterograder Zugang; ULr = Oberschenkel, retrograder Zugang; A.p. = Arteria poplitea; LL = Unterschenkel**

In der Unterklasse „Becken, eine Seite“ beträgt die mediane Dosis 3122,0 cGy $\cdot$ cm $^2$  (10. und 90. Perzentile 1023,3 cGy $\cdot$ cm $^2$  und 11.239,3 cGy $\cdot$ cm $^2$ ), wohingegen es in der Unterklasse „Becken, beide Seiten“ 6283,0 cGy $\cdot$ cm $^2$  (1571,2 cGy $\cdot$ cm $^2$  und 22.625 cGy $\cdot$ cm $^2$ ) sind. Die Stentimplantation im „Oberschenkel, antegrader Zugang“ resultierte in einer Dosis von 798,5 cGy $\cdot$ cm $^2$  (232,9 cGy $\cdot$ cm $^2$  und 2051,7 cGy $\cdot$ cm $^2$ ), während es bei der Stentimplantation im „Oberschenkel, retrograder Zugang“ 3217,0 cGy $\cdot$ cm $^2$  (842,7 cGy $\cdot$ cm $^2$  und 8405,8 cGy $\cdot$ cm $^2$ ) sind. Die Stentimplantation in die Arteria poplitea ergab eine Dosis von 586,5 cGy $\cdot$ cm $^2$  (176,5 cGy $\cdot$ cm $^2$  und 2510,0 cGy $\cdot$ cm $^2$ ) und die Implantation desselben in ein Unterschenkelgefäß eine Dosis von 513,0 cGy $\cdot$ cm $^2$  (154,2 cGy $\cdot$ cm $^2$  und 2367,4 cGy $\cdot$ cm $^2$ ).

### Gerätevergleich

Die Anordnung der Ergebnisse im Gerätevergleich erfolgt analog zur Klasse 2, diesmal jedoch auch mit den Beckeninterventionen.

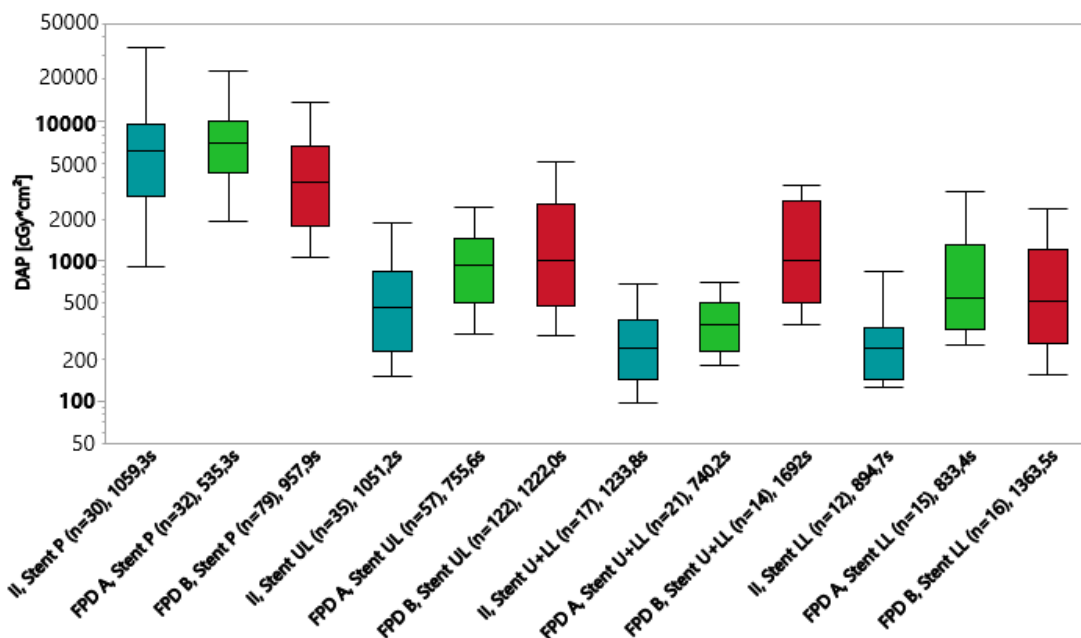


Abb. 11: Gerätevergleich Klasse 3, tatsächliche Dosis – P = Becken; UL = Oberschenkel; U+LL = Ober- und Unterschenkel; LL = Unterschenkel

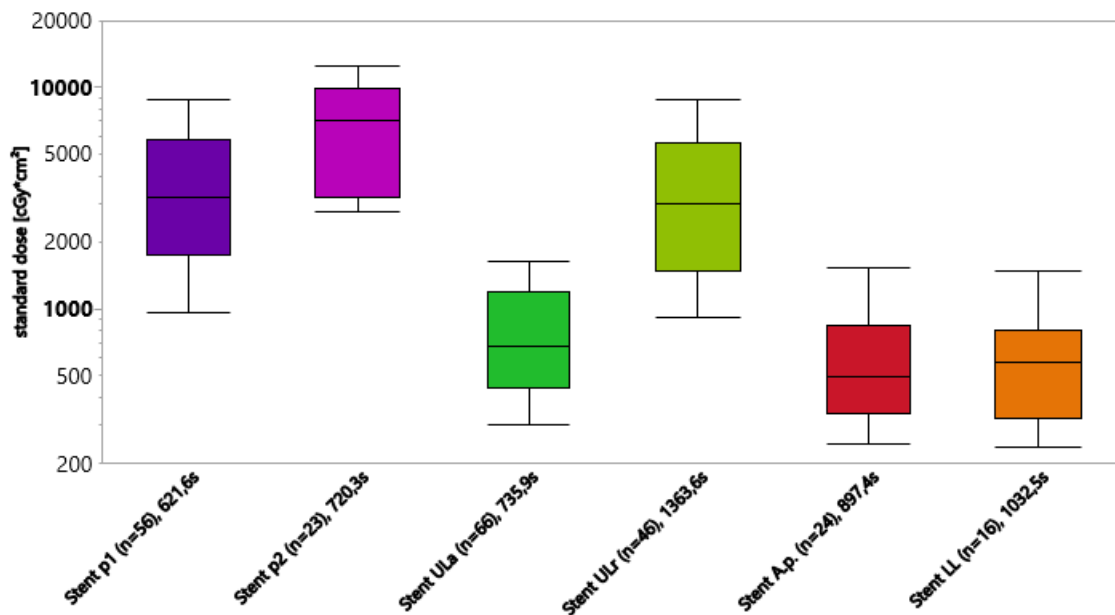
Für die erste Untergruppe „Stent Becken“ sehen die Werte wie folgt aus: Der Bildverstärker benötigt im Median  $6234,5 \text{ cGycm}^2$  (10. Und 90. Perzentile  $911,7 \text{ cGycm}^2$  und  $34071,7 \text{ cGycm}^2$ ), der Axiom Artis im Median  $7018,7 \text{ cGycm}^2$  (10. und 90. Perzentile  $1938,1 \text{ cGycm}^2$  und  $22508,7 \text{ cGycm}^2$ ) und der Artis Zeego im Median  $3667,0 \text{ cGycm}^2$  (10. Und 90. Perzentile  $1083,0 \text{ cGycm}^2$  und  $13540,0 \text{ cGycm}^2$ ). In der Gruppe „Stent Oberschenkel“ lauten die Werte für den Bildverstärker im Median  $464,0 \text{ cGycm}^2$  ( $152,1 \text{ cGycm}^2$  und  $1904,3 \text{ cGycm}^2$ ), den Axiom Artis  $922,1 \text{ cGycm}^2$  ( $303,2 \text{ cGycm}^2$  und  $2454,8 \text{ cGycm}^2$ ) und den Artis Zeego  $1001,0 \text{ cGycm}^2$  ( $295,9 \text{ cGycm}^2$  und  $2511,1 \text{ cGycm}^2$ ). Die Gruppe „Oberschenkel plus Unterschenkel“ sieht wie folgt aus: Der Bildverstärker verwendet im Median eine Dosis von  $234,5 \text{ cGycm}^2$  ( $97,7 \text{ cGycm}^2$  und  $693,6 \text{ cGycm}^2$ ), der Axiom Artis  $347,6 \text{ cGycm}^2$  ( $177,7 \text{ cGycm}^2$  und  $709,5 \text{ cGycm}^2$ ) und der Zeego  $1006,0 \text{ cGycm}^2$  ( $344,5 \text{ cGycm}^2$  und  $3551,0 \text{ cGycm}^2$ ). In der Unterklasse „Unterschenkel“ lauten die Ergebnisse für den Bildverstärker im Median  $234,4 \text{ cGycm}^2$  ( $125,1 \text{ cGycm}^2$  und  $841,1 \text{ cGycm}^2$ ), den Axiom Artis  $540,6 \text{ cGycm}^2$  ( $253,1 \text{ cGycm}^2$  und  $3210,5 \text{ cGycm}^2$ ) und den Zeego  $513,0 \text{ cGycm}^2$  ( $154,2 \text{ cGycm}^2$  und  $2367,4 \text{ cGycm}^2$ ).

## II Normierte Dosis

### **Artis Zeego**

Im Folgenden werden die Ergebnisse der auf die Fluoroskopiezeit normierten Dosiswerte vorgestellt.





**Abb. 12: Artis Zeego Klasse 3, zeitnormierte Dosis ("standard dose")** – p1 = Becken, eine Seite; p2 = Becken, beide Seiten; ULa = Oberschenkel, antegraden Zugang; ULr = Oberschenkel, retrograden Zugang; A.p. = Arteria poplitea; LL = Unterschenkel

Die Ergebnisse in der Unterklasse „Beckenstent, eine Seite“ sind im Median 3201,2 cGy\*cm<sup>2</sup> (10. und 90. Perzentile 951,0 cGy\*cm<sup>2</sup> und 8738,8 cGy\*cm<sup>2</sup>) und in der Unterklasse „Beckenstent, beide Seiten“ im Median 7192,9 cGy\*cm<sup>2</sup> (2755,9 cGy\*cm<sup>2</sup> und 12538,3 cGy\*cm<sup>2</sup>). Die Gruppe „Stent Oberschenkel, antegrad“ kommt im Median auf 687,7 cGy\*cm<sup>2</sup> (296,5 cGy\*cm<sup>2</sup> und 1635,5 cGy\*cm<sup>2</sup>), während es in der Gruppe „Stent Oberschenkel, retrograd“ im Median 2988,0 cGy\*cm<sup>2</sup> (916,7 cGy\*cm<sup>2</sup> und 8893,3 cGy\*cm<sup>2</sup>) sind. In der Gruppe „Stent Arteria poplitea“ sind es im Median 497,1 cGy\*cm<sup>2</sup> (242,7 cGy\*cm<sup>2</sup> und 1531,4 cGy\*cm<sup>2</sup>). Schließlich sind es in der Unterklasse „Stent Unterschenkel“ im Median 573,3 cGy\*cm<sup>2</sup> (235,8 cGy\*cm<sup>2</sup> und 1493,2 cGy\*cm<sup>2</sup>).

## Gerätevergleich

Nun werden die Ergebnisse für die zeitnormierten Dosen im Gerätevergleich dargestellt.

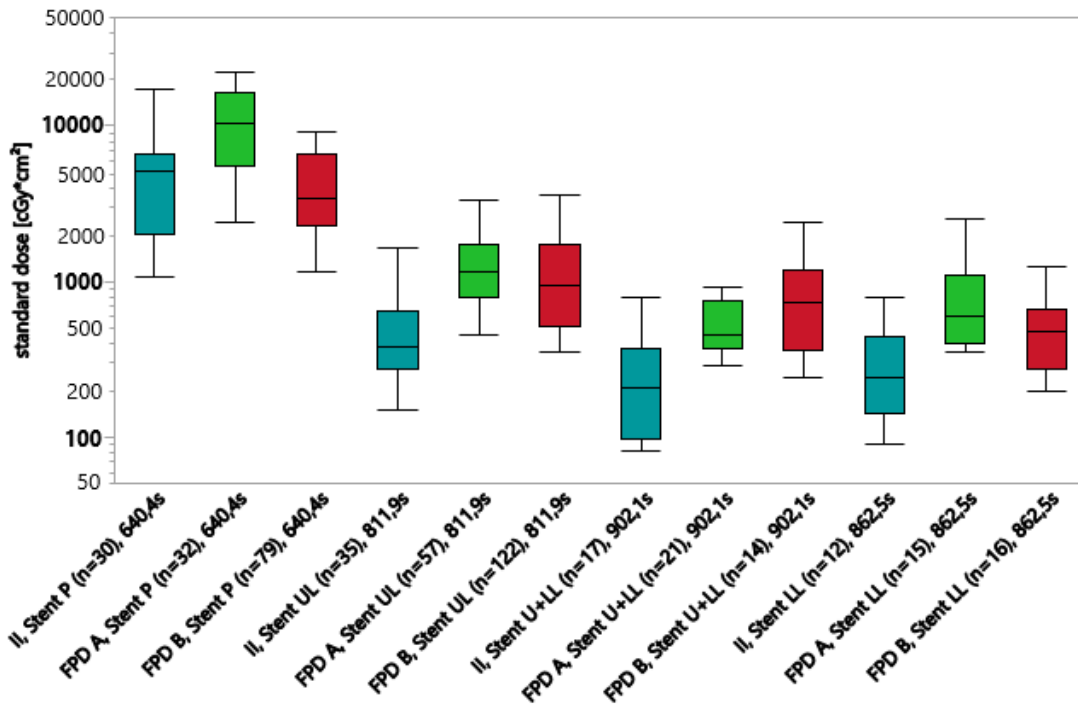


Abb. 13: Gerätevergleich Klasse 3, zeitnormierte Dosis ("standard dose") – P = Becken; UL = Oberschenkel; U+LL = Ober- und Unterschenkel; LL = Unterschenkel

In der Unterklasse im Gerätevergleich „Stent Becken“ beträgt die nach Normdauer berechnete Standarddosis für den Bildverstärker im Median 5235,5 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (1072,2 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 17453,1 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>). Beim Axiom Artis betrug die Dosis in dieser Gruppe im Median 10273,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (2405,8 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 22490,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>), während es bei Gerät drei im Median 3428,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (1155,8 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 9151,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>) sind. Bei der Untergruppe „Stent Oberschenkel“ sind es bei Gerät eins im Median 381,1 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (152,9 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 1646,1 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>) und bei Gerät zwei 1155,1 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (456,8 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 3351,6 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>), während Gerät drei im Median 947,4 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (360,8 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 3601,2 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>) verwendet. In Untergruppe „Stent Oberschenkel plus Unterschenkel“ zeigt sich mit dem Bildverstärker eine Dosis von im Median 208,2 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (82,7 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 804,3

cGy $\text{cm}^2$ ), mit dem Axiom Artis 456,0 cGy $\text{cm}^2$  (288,0 cGy $\text{cm}^2$  und 924,9 cGy $\text{cm}^2$ ) und mit dem Artis Zeego 736,7 cGy $\text{cm}^2$  (243,9 cGy $\text{cm}^2$  und 2447,5 cGy $\text{cm}^2$ ). In der letzten Unterklasse „Stent Unterschenkel“ liegen die Dosen beim Bildverstärker im Median bei 242,7 cGy $\text{cm}^2$  (89,2 cGy $\text{cm}^2$  und 798,0 cGy $\text{cm}^2$ ), beim Axiom Artis bei 601,1 cGy $\text{cm}^2$  (357,2 cGy $\text{cm}^2$  und 2556,7 cGy $\text{cm}^2$ ) und beim Artis Zeego bei 478,9 cGy $\text{cm}^2$  (196,0 cGy $\text{cm}^2$  und 1247,4 cGy $\text{cm}^2$ ).

### III BMI-Vergleich

#### Grafik tatsächliche Dosis

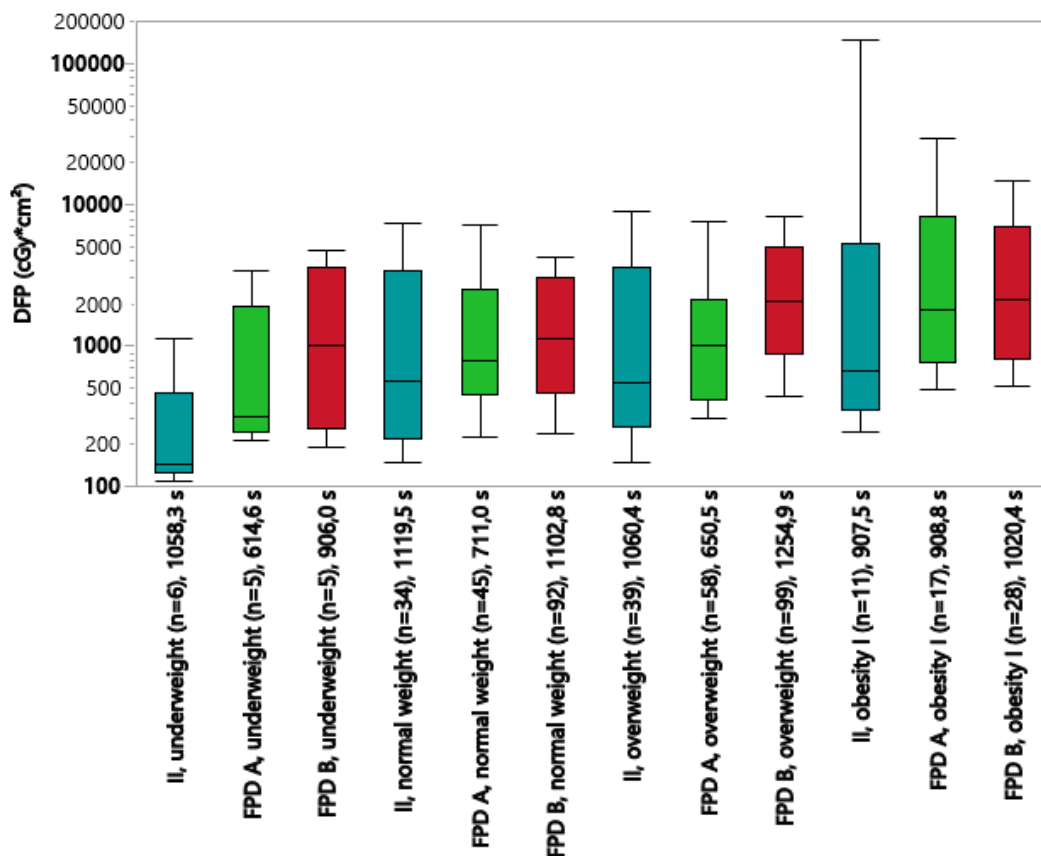


Abb. 14: BMI-Vergleich Klasse 3 mit je II, FPD A und FPD B – **underweight** = Untergewicht; **normal weight** – Normalgewicht; **overweight** – Übergewicht; **obesity I** – Adipositas Grad I

Die Ergebnisse für die Klasse 3 im BMI-Vergleich sind folgende: in der Klasse Untergewicht beträgt die mediane Dosis für Gerät 1  $142,6 \text{ cGycm}^2$  (10. und 90. Perzentile  $108,0 \text{ cGycm}^2$  und  $1141,5 \text{ cGycm}^2$ ),  $308,1 \text{ cGycm}^2$  ( $210,9 \text{ cGycm}^2$  und  $3464,1 \text{ cGycm}^2$ ) für Gerät 2 und  $987,0 \text{ cGycm}^2$  ( $195,0 \text{ cGycm}^2$  und  $4728,0 \text{ cGycm}^2$ ) für Gerät 3. Im Bereich Normalgewicht strahlt der Bildverstärker mit einer medianen Dosis von  $565,5 \text{ cGycm}^2$  ( $146,5 \text{ cGycm}^2$  und  $7398,0 \text{ cGycm}^2$ ), der FPD A mit  $793,5 \text{ cGycm}^2$  ( $223,6 \text{ cGycm}^2$  und  $7266,6 \text{ cGycm}^2$ ) und der FPD B mit  $1115,0 \text{ cGycm}^2$  ( $239,6 \text{ cGycm}^2$  und  $4250,7 \text{ cGycm}^2$ ). Bei der Gruppe der Übergewichtigen ergeben sich mediane Dosen (10. und 90. Perzentile) wie folgt: II:  $547,1 \text{ cGycm}^2$  ( $145,7 \text{ cGycm}^2$  und  $8983,7 \text{ cGycm}^2$ ); FPD A:  $994,4 \text{ cGycm}^2$  ( $298,3 \text{ cGycm}^2$  und  $7706,9 \text{ cGycm}^2$ ); FPD B:  $2049,0 \text{ cGycm}^2$  ( $439,0 \text{ cGycm}^2$  und  $8343,0 \text{ cGycm}^2$ ).  $655,8 \text{ cGycm}^2$  beträgt die mediane Dosis des II im Bereich „Adipositas I“ (10. und 90. Perzentile  $242,2 \text{ cGycm}^2$  und  $146.859,7 \text{ cGycm}^2$ ), der FPD A bringt es auf  $1836,8 \text{ cGycm}^2$  ( $488,2 \text{ cGycm}^2$  und  $29.304,6 \text{ cGycm}^2$ ) und der FPD B auf  $2099,0 \text{ cGycm}^2$  ( $521,7 \text{ cGycm}^2$  und  $14.890,7 \text{ cGycm}^2$ ).

## Tabelle Normierte Dosis

**Tabelle 5: Zeitstandardisierte Dosisflächenprodukte (DAP [cGy\*cm<sup>2</sup>] standardized for procedure duration) in Klasse 3, unterteilt nach BMI-Klasse (BMI class) und Gerät (system) mit Fallzahl (n), geometrischem Mittelwert der Fluoroskopiezeit (average procedure time [s]), Normdosis (= zeitstandardisierte Dosisflächenprodukte) und Verhältnis FPD A bzw. B und II (ratio FPD /II) - underweight = Untergewicht; normal weight – Normalgewicht; overweight – Übergewicht; obesity I – Adipositas Grad I**

BMI class	system	n	average procedure time [s]	DAP [cGy*cm <sup>2</sup> ] standardized for procedure duration	Ratio FPD/II
underweight	II	6	774,5	167,1	
	FPD A	5		608,1	3,64
	FPD B	5		918,1	5,49
normal weight	II	34	723,1	667,1	
	FPD A	45		1327,6	1,99
	FPD B	92		1090,3	1,63
overweight	II	39	786	703,3	
	FPD A	58		1673,3	2,38
	FPD B	99		1674,4	2,38
obesity I	II	11	789,3	1478,9	
	FPD A	17		2450,5	1,66
	FPD B	28		2340,5	1,58

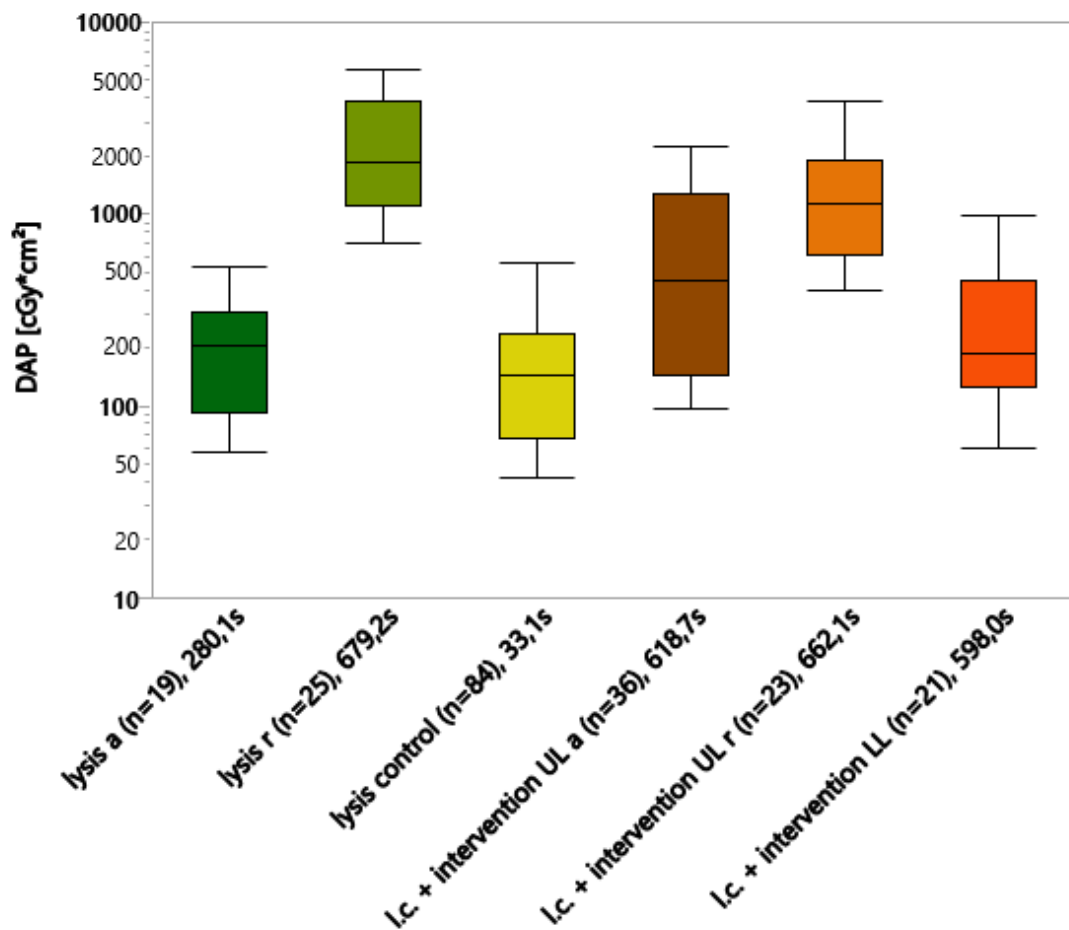
In Klasse 3 finden sich 4 relevante Gewichtsklassen: während in der Gruppe „Untergewicht“ das FPD/II-Verhältnis zugunsten des FPD A ausfällt (A: 3,64 vs. B:5,49), sind die Werte für den FPD B in den anderen Gewichtsklassen kleiner als oder gleich wie die für den FPD A; Normalgewicht: 1,99 vs. 1,63; Übergewicht: 2,38 vs. 2,38; Adipositas I: 1,66 vs. 1,58. In Klasse 3 lässt sich nachvollziehen, dass jedes Gerät einen Anstieg in der Strahlendosis, je höher die BMI-Klasse ist, zu verzeichnen hat.

### 3.4. Klasse 4 - Lysen

#### I Tatsächliche Werte

##### Artis Zeego

Die folgende Abbildung gibt eine Übersicht über die tatsächlichen Dosen des Artis Zeego in der Klasse der Lysen.



**Abb. 15: Artis Zeego Klasse 4, tatsächliche Dosis – lysis a= Lyse, antegrader Zugang; lysis r= Lyse, retrograder Zugang; lysis control= Lysekontrolle; l.c. + intervention UL a= Lysekontrolle + Intervention Becken/ Oberschenkel, antegrader Zugang; l.c. + intervention UL r= Lysekontrolle + Intervention Becken/ Oberschenkel, retrograder Zugang; l.c. + intervention LL= Lysekontrolle + Intervention Unterschenkel**

In der Unterklasse „Lyse, antegrader Zugang“ liegt die Dosis im Median bei 205,0 cGy\*cm<sup>2</sup> (10. Und 90. Perzentile 57,0 cGy\*cm<sup>2</sup> und 526,0 cGy\*cm<sup>2</sup>), während es in

der Unterklasse „Lyse, retrograder Zugang“ im Median 1838,0 cGy $\text{cm}^2$  (698,4 cGy $\text{cm}^2$  und 5673,8 cGy $\text{cm}^2$ ) sind. Bei der „Lysekontrolle“ beträgt die Dosis im Median 145,0 cGy $\text{cm}^2$  (42,0 cGy $\text{cm}^2$  und 560,5 cGy $\text{cm}^2$ ). Die Unterklasse „Lysekontrolle + Intervention Becken/Oberschenkel, antegrader Zugang“ schlägt im Median mit 451,5 cGy $\text{cm}^2$  (96,9 cGy $\text{cm}^2$  und 2214,5 cGy $\text{cm}^2$ ), und die „Lysekontrolle + Intervention Becken/Oberschenkel, retrograder Zugang“ mit 1143,0 cGy $\text{cm}^2$  (405,8 cGy $\text{cm}^2$  und 3916,8 cGy $\text{cm}^2$ ) zu Buche. Die Unterklasse „Lysekontrolle + Intervention Unterschenkel“ schließlich führt im Median zu einer Dosis von 183,0 cGy $\text{cm}^2$  (60,2 cGy $\text{cm}^2$  und 978,4 cGy $\text{cm}^2$ ).

### Gerätevergleich

Für den Gerätevergleich wurden die Untergruppen „Lyse, teilweise mit Intervention“ und „Lysekontrolle“ gebildet.

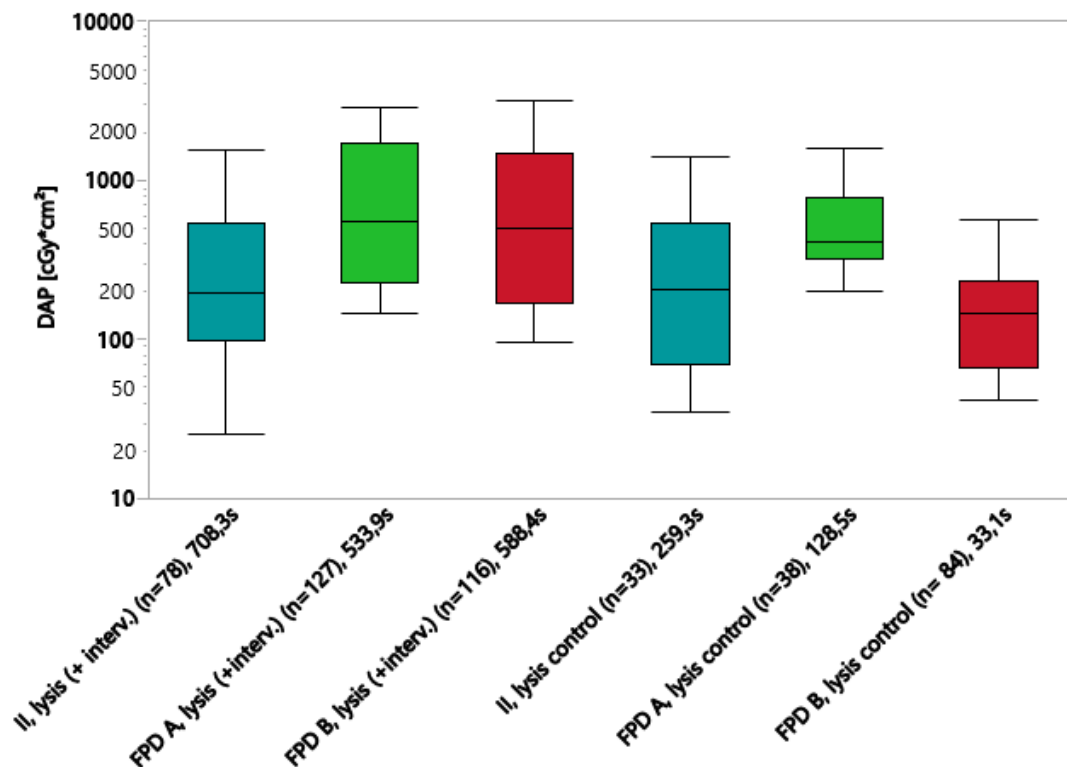


Abb. 16: Gerätevergleich Klasse 4, tatsächliche Dosis – lysis (+ interv.)= Lyse, teilweise mit Intervention; lysis control= Lysekontrolle

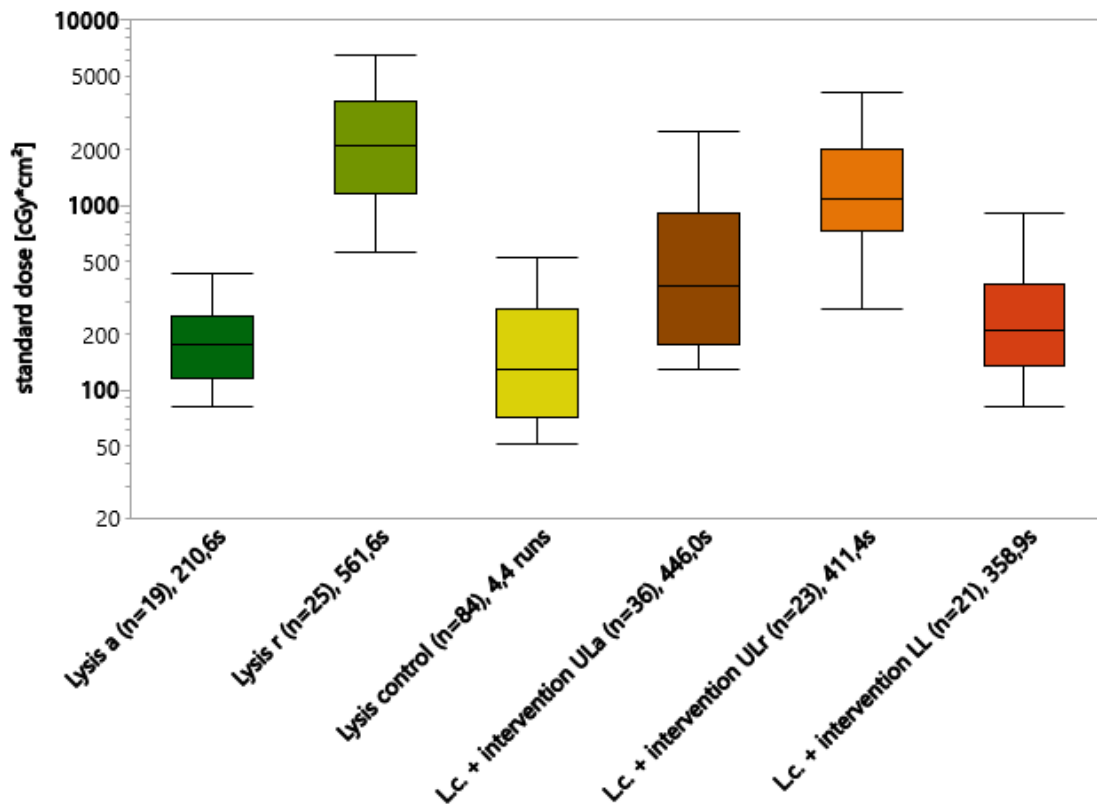
Der Bildverstärker kommt in der ersten Gruppe auf im Median  $195,8 \text{ cGycm}^2$  (10. Und 90. Perzentile  $25,2 \text{ cGycm}^2$  und  $1554,6 \text{ cGycm}^2$ ), der Axiom Artis auf  $554,8 \text{ cGycm}^2$  ( $147,1 \text{ cGycm}^2$  und  $2896,0 \text{ cGycm}^2$ ) und der Artis Zeego auf  $494,5 \text{ cGycm}^2$  ( $96,9 \text{ cGycm}^2$  und  $3163,8 \text{ cGycm}^2$ ). In Gruppe zwei bringt es der „II“ auf  $204,7 \text{ cGycm}^2$  ( $35,1 \text{ cGycm}^2$  und  $1413,2 \text{ cGycm}^2$ ), der „FPD A“ auf  $408,0 \text{ cGycm}^2$  ( $200,9 \text{ cGycm}^2$  und  $1606,8 \text{ cGycm}^2$ ) und der „FPD B“ auf  $145,0 \text{ cGycm}^2$  ( $42,0 \text{ cGycm}^2$  und  $560,5 \text{ cGycm}^2$ ).

## II Normierte Dosis

### **Artis Zeego**

Ausnahmsweise wurde die Unterklasse Lysekontrolle hier nach DSA-Serien („runs“) statt nach Fluoroskopiezeit standardisiert, da eine Lysekontrolle naturgemäß hauptsächlich aus DSA- Serien besteht, man weniger mit Kathetern navigiert, sondern das Ergebnis der Voruntersuchung mit Kontrastmittelapplikation kontrolliert.





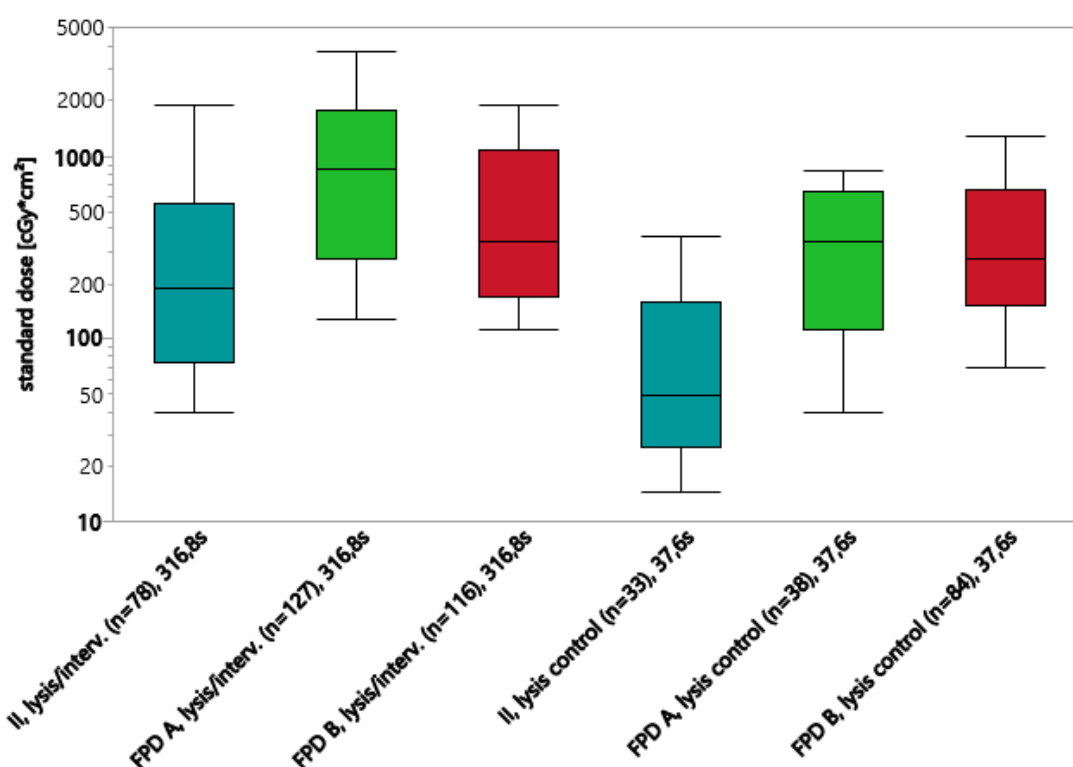
**Abb. 17: Artis Zeego Klasse 4, zeitnormierte Dosis („standard dose“) – Lysis a= Lyse, antegrader Zugang; Lysis r= Lyse, retrograder Zugang; Lysis control= Lysekontrolle; runs= Serien; L.c. + intervention UL a= Lysekontrolle + Intervention Becken/ Oberschenkel, antegrader Zugang; L.c. + intervention UL r= Lysekontrolle + Intervention Becken/ Oberschenkel, retrograder Zugang; L.c. + intervention LL= Lysekontrolle + Intervention Unterschenkel**

In der Unterklasse „Lyse, antegrader Zugang“ beläuft sich die Dosis im Median auf 179,1 cGym<sup>2</sup> (10. Und 90. Perzentile 79,6 cGym<sup>2</sup> und 432,0 cGym<sup>2</sup>) und bei der „Lyse, retrograder Zugang“ auf 2123,0 cGym<sup>2</sup> (558,8 cGym<sup>2</sup> und 6491,4 cGym<sup>2</sup>). Bei der „Lysekontrolle“ beträgt die Dosis im Median 130,2 cGym<sup>2</sup> (50,9 cGym<sup>2</sup> und 522,1 cGym<sup>2</sup>). Zur Vollständigkeit seien auch die Werte bei Standardisierung nach Fluoroskopiezeit angegeben: Median - 131,1 cGym<sup>2</sup>, 10. Perzentile – 33,1 cGym<sup>2</sup>, 90. Perzentile – 607,5 cGym<sup>2</sup>. Im Bereich „Lysekontrolle + Intervention Becken/Oberschenkel, antegrad“ liegt die Dosis im Median bei 362,3 cGym<sup>2</sup> (129,6 cGym<sup>2</sup> und 2483,1 cGym<sup>2</sup>), bei der „Lysekontrolle + Intervention Becken/Oberschenkel, retrograd“ bei 1084,0 cGym<sup>2</sup> (273,3 cGym<sup>2</sup>

und  $4095,0 \text{ cGym}^2$ ). Für die Gruppe „Lysekontrolle + Intervention Unterschenkel“ liegen die Werte bei im Median  $212,0 \text{ cGym}^2$  ( $81,1 \text{ cGym}^2$  und  $912,1 \text{ cGym}^2$ ).

## Gerätevergleich

Im Folgenden nun die Dosiswerte, genormt auf die Durchleuchtungszeit, im Gerätevergleich.



**Abb. 18: Gerätevergleich Klasse 4, zeitnormierte Dosis („standard dose“) – lysis/interv.= Lyse, teilweise mit Intervention; lysis control= Lysekontrolle**

In der im Gerätevergleich zusammengefassten Untergruppe „Lyse, teilweise mit Intervention“ beträgt die Dosis mit dem Bildverstärker im Median  $191,1 \text{ cGym}^2$  (10. und 90. Perzentile  $39,7 \text{ cGym}^2$  und  $1865,0 \text{ cGym}^2$ ), mit dem Axiom Artis  $850,5 \text{ cGym}^2$  ( $126,8 \text{ cGym}^2$  und  $3732,8 \text{ cGym}^2$ ) und mit dem Artis Zeego  $347,0 \text{ cGym}^2$  ( $114,4 \text{ cGym}^2$  und  $1887,1 \text{ cGym}^2$ ). Die Unterklasse „Lysekontrolle“ liefert

folgende Werte: Für den Bildverstärker im Median  $48,7 \text{ cGym}^2$  ( $14,5 \text{ cGym}^2$  und  $366,4 \text{ cGym}^2$ ), den Axiom Artis  $344,3 \text{ cGym}^2$  ( $39,8 \text{ cGym}^2$  und  $834,0 \text{ cGym}^2$ ) und den Artis Zeego  $277,1 \text{ cGym}^2$  ( $70,0 \text{ cGym}^2$  und  $1284,3 \text{ cGym}^2$ ).

### III BMI-Vergleich

#### Grafik tatsächliche Dosis

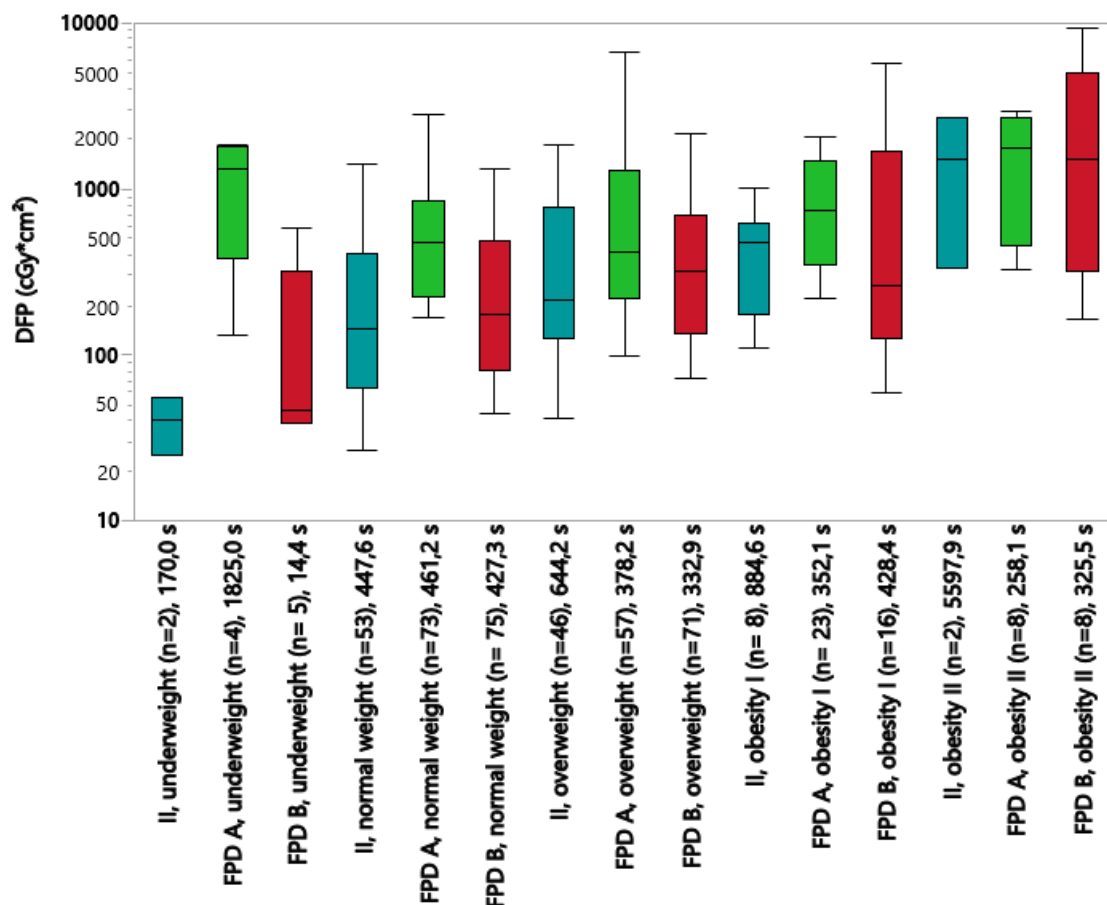


Abb. 19: BMI-Vergleich Klasse 4 mit je II, FPD A und FPD B – **underweight** = Untergewicht; **normal weight** – Normalgewicht; **overweight** – Übergewicht; **obesity I/II** – Adipositas Grad I/II

In der kleinen Gruppe der Untergewichtigen betragen die medianen und 10./90.- Perzentilen-Dosen bei den drei Geräten  $40,2 \text{ cGym}^2$  ( $25,2 \text{ cGym}^2$  und  $55,2 \text{ cGym}^2$ , II),  $1332,0 \text{ cGym}^2$  ( $133,8 \text{ cGym}^2$  und  $1850,3 \text{ cGym}^2$ , FPD A) und  $46,0$

cGycm<sup>2</sup> (39,0 cGycm<sup>2</sup> und 579,0 cGycm<sup>2</sup>, FPD B). Die Gruppe „Normalgewicht“ weist folgende Ergebnisse auf: Bildverstärker: 141,5 cGycm<sup>2</sup> (27,2 cGycm<sup>2</sup> und 1395,7 cGycm<sup>2</sup>); Flachdetektor A: 474,5 cGycm<sup>2</sup> (168,0 cGycm<sup>2</sup> und 2846 cGycm<sup>2</sup>); Flachdetektor B: 176,0 cGycm<sup>2</sup> (44,6 cGycm<sup>2</sup> und 1320,2 cGycm<sup>2</sup>). Die Analyse der Gruppe der Übergewichtigen liefert folgende Werte: II: 216,9 cGycm<sup>2</sup> (41,5 cGycm<sup>2</sup> und 1858,4 cGycm<sup>2</sup>); FPD A: 419,5 cGycm<sup>2</sup> (98,5 cGycm<sup>2</sup> und 6721,3 cGycm<sup>2</sup>); FPD B: 323,0 cGycm<sup>2</sup> (73,6 cGycm<sup>2</sup> und 2170,7 cGycm<sup>2</sup>). In der Gruppe „Adipositas I“ lauten die Werte: 474,5 cGycm<sup>2</sup> (108,9 cGycm<sup>2</sup> und 1008,4 cGycm<sup>2</sup>, II); 732,9 cGycm<sup>2</sup> (222,8 cGycm<sup>2</sup> und 2056,7 cGycm<sup>2</sup>, FPD A); 266,5 cGycm<sup>2</sup> (58,5 cGycm<sup>2</sup> und 5681,3 cGycm<sup>2</sup>, FPD B). Zuletzt die Gruppe „Adipositas II“: Bildverstärker: 1514,5 cGycm<sup>2</sup> (334,0 cGycm<sup>2</sup> und 2695,0 cGycm<sup>2</sup>); FPD A: 1734,9 cGycm<sup>2</sup> (325,5 cGycm<sup>2</sup> und 2890,6 cGycm<sup>2</sup>) und FPD B: 1508,0 cGycm<sup>2</sup> (164,0 cGycm<sup>2</sup> und 9286,0 cGycm<sup>2</sup>).

## Tabelle Normierte Dosis

**Tabelle 6: Zeitstandardisierte Dosisflächenprodukte (DAP [cGy\*cm<sup>2</sup>] standardized for procedure duration) in Klasse 4, unterteilt nach BMI-Klasse (BMI class) und Gerät (system) mit Fallzahl (n), geometrischem Mittelwert der Fluoroskopiezeit (average procedure time [s]), Normdosis (= zeitstandardisierte Dosisflächenprodukte) und Verhältnis FPD A bzw. B und II (ratio FPD /II) - unterweight = Untergewicht; normal weight – Normalgewicht; overweight – Übergewicht; obesity I/II – Adipositas Grad I/II**

BMI class	system	n	average procedure time [s]	DAP [cGy*cm <sup>2</sup> ] standardized for procedure duration	Ratio FPD/II
underweight	II	2	82,5	30,6	
	FPD A	4		74,8	2,45
	FPD B	5		562	18,39
normal weight	II	53	192,3	141,6	
	FPD A	73		450,4	3,18
	FPD B	75		271,8	1,92
overweight	II	46	135,6	167,5	
	FPD A	57		456,8	2,73
	FPDB	72		551,6	3,29
obesity I	II	8	198	137,3	
	FPD A	23		1022,5	7,45
	FPD B	16		495,5	3,61
obesity II	II	2	146,4	428,2	
	FPD A	8		1451,6	3,39
	FPD B	8		1657,6	3,87

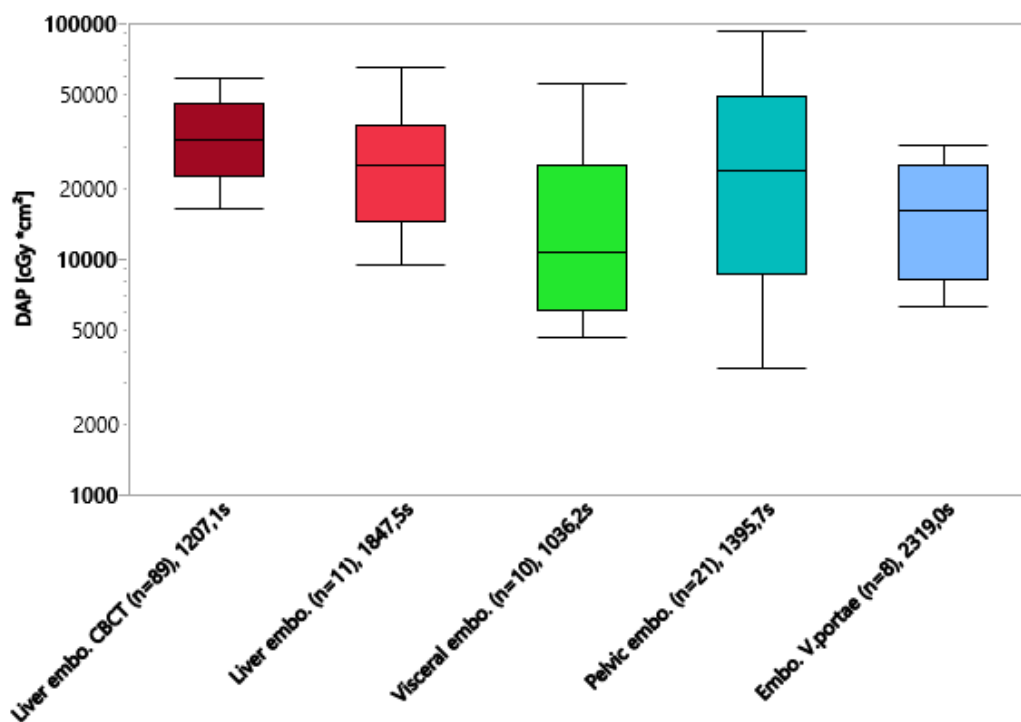
Auch in Klasse 4 lassen sich die Gruppen „Normalgewicht“, „Übergewicht“ und „Adipositas I“ als relevant herausstellen. Die FPD/II-Verhältnisse lassen sich in dieser Klasse kaum einer Tendenz zu einem bestimmten Gerät erkennen. Sie betragen (FPD A vs. FPD B): 3,18 vs. 1,92; 2,73 vs. 3,29; 7,45 vs. 3,61. In Klasse vier lässt sich anhand der BMI-Tabelle nicht wie in den Klassen zuvor eine klare Zunahme des Dosisflächenproduktes mit höherer BMI-Klasse feststellen.

### 3.5. Klasse 5 - Embolisationen

#### I Tatsächliche Werte

#### **Artis Zeego**

In der Klasse 5 werden nun auch zunächst die einzelnen Untergruppen der Analyse des Artis Zeego dargestellt.



**Abb. 20: Artis Zeego Klasse 5, tatsächliche Dosis – Liver embo. CBCT= Leberembolisation mit 3D-Angiographie; Liver embo.= Leberembolisation; Visceral embo.= viszerale Embolisation; Pelvic embo.= Beckenembolisation; Embo. V. portae= Pfortaderembolisation**

Die tatsächlichen Dosiswerte in der Unterklasse „Leberembolisation mit 3D-Durchleuchtung“ sehen in der alleinigen Betrachtung des Artis Zeego wie folgt aus: im Median leuchtet er  $32029,0 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  (10. und 90. Perzentile  $16429,0 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  und  $59173 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$ ). In der Gruppe ohne „Leberembolisation“ beträgt die Dosis im Median  $24867,0 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  ( $9515 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  und  $64651,8 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$ ). Bei den viszeralen Embolisationen ist die mediane Dosis  $10742,0 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$  ( $4644,7$

cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 54889,1 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>). Die Beckenembolisationen schlagen mit 23576,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (3450,6 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 93363,6 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>) zu Buche, während es bei den Pfortaderembolisationen im Median 16275,5 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (6305,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 30175,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>) sind.

### Gerätevergleich

Im Gerätevergleich wurden lediglich die Leberembolisationen ohne 3D-Durchleuchtung verglichen. Da diese Technologie erst in neuerer Zeit routinemäßig zur Anwendung kam, gibt es sie nur bei Gerät Artis Zeego und die anderen Untergruppen waren bei den anderen Geräten nicht in ausreichender Zahl analysiert worden.

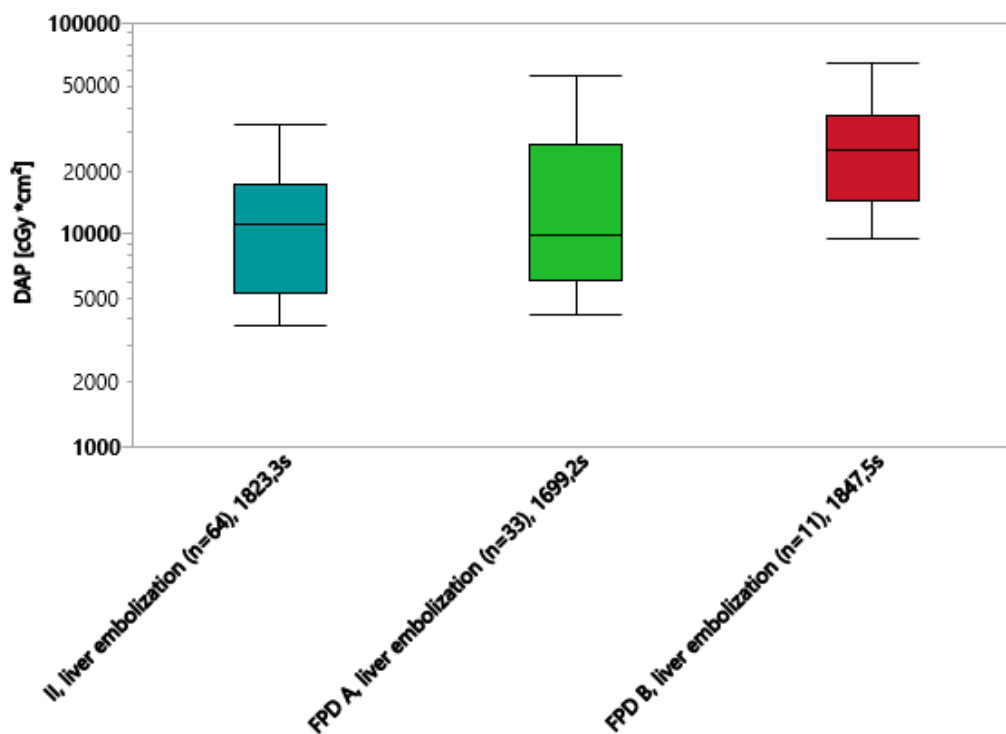


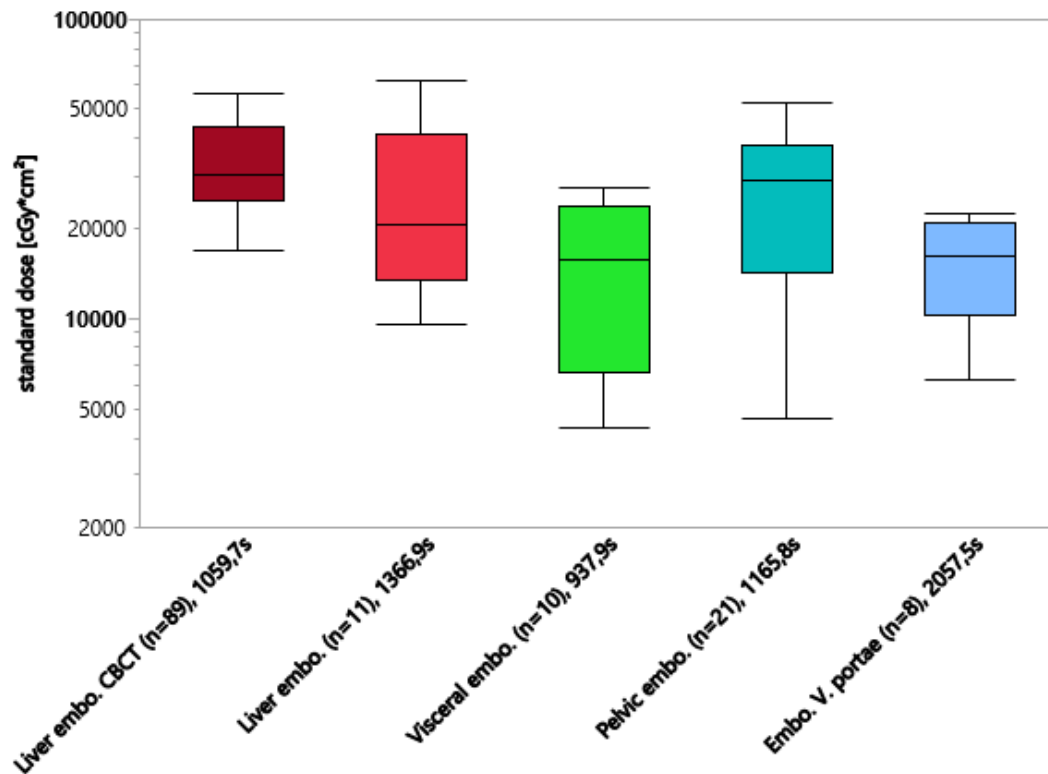
Abb. 21: Gerätevergleich Klasse 5, tatsächliche Dosis – liver embolization= Leberembolisation

Im Median leuchtet der Bildverstärker in dieser Kategorie mit  $11.125,1 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  (10. und 90. Perzentile  $3689,8 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  und  $33475,6 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$ ), der Axiom Artis mit  $9940,6 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  ( $4159,1 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  und  $56.638,1 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$ ) und der Artis Zeego mit  $24.867,0 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  ( $9515,0 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  und  $64.651,8 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$ ).

## II Normierte Dosis

### **Artis Zeego**

Nachfolgend die Darstellung der zeitnormierten Werte in den Unterklassen des Artis Zeego:



**Abb. 22: Artis Zeego, zeitnormierte Dosis („standard dose“) – Liver embo. CBCT= Leberembolisation mit 3D-Angiographie; Liver embo.= Leberembolisation; Visceral embo.= viszerale Embolisation; Pelvic embo.= Beckenembolisation; Embo. V. portae=Pfortaderembolisation**



Die Leberembolisation mit 3D-Durchleuchtung führt im Median zu einer Dosis von 30.407,2 cGy $\cdot$ cm $^2$  (10. und 90. Perzentile 17.062,6 cGy $\cdot$ cm $^2$  und 56.037,3 cGy $\cdot$ cm $^2$ ), während es ohne 3D-Scan im Median 20.735,3 cGy $\cdot$ cm $^2$  (9546,2 cGy $\cdot$ cm $^2$  und 63.051,7 cGy $\cdot$ cm $^2$ ) sind. Bei den viszeralen Embolisationen beträgt die mediane Dosis 15.880,6 cGy $\cdot$ cm $^2$  (4309,3 cGy $\cdot$ cm $^2$  und 27.230,6 cGy $\cdot$ cm $^2$ ), bei den Beckenembolisationen 28.938,6 cGy $\cdot$ cm $^2$  (4665,1 cGy $\cdot$ cm $^2$  und 52.428,6 cGy $\cdot$ cm $^2$ ) und bei den Pfortaderembolisationen 16,271,8 cGy $\cdot$ cm $^2$  (6233,1 cGy $\cdot$ cm $^2$  und 22.367,9 cGy $\cdot$ cm $^2$ ).

### Gerätevergleich

Auch die zeitnormierten Dosen werden wieder nur in der Untergruppe der „Leberembolisationen ohne 3D-Durchleuchtung“ zwischen den Angiografieanlagen verglichen:

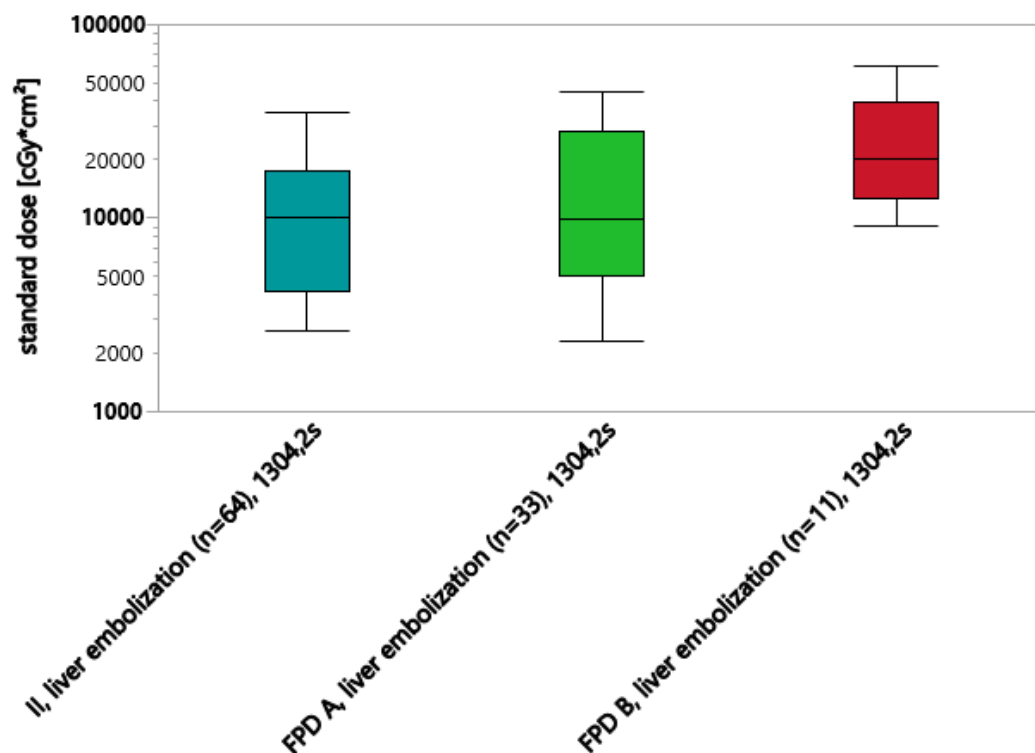


Abb. 23: Gerätevergleich Klasse 5, zeitnormierte Dosis („standard dose“) – liver embolization= Leberembolisation

Der Bildverstärker leuchtet mit einer Dosis von im Median  $10.095,0 \text{ cGycm}^2$  (10. und 90. Perzentile  $2598,7 \text{ cGycm}^2$  und  $34.527,2 \text{ cGycm}^2$ ), während es bei Flachdetektor A  $9915,8 \text{ cGycm}^2$  ( $2296,9 \text{ cGycm}^2$  und  $44.408,4 \text{ cGycm}^2$ ) und bei Flachdetektor B  $19.784,1 \text{ cGycm}^2$  ( $9108,3 \text{ cGycm}^2$  und  $60.159,4 \text{ cGycm}^2$ ) sind.

### III BMI-Vergleich

#### Grafik tatsächliche Dosis

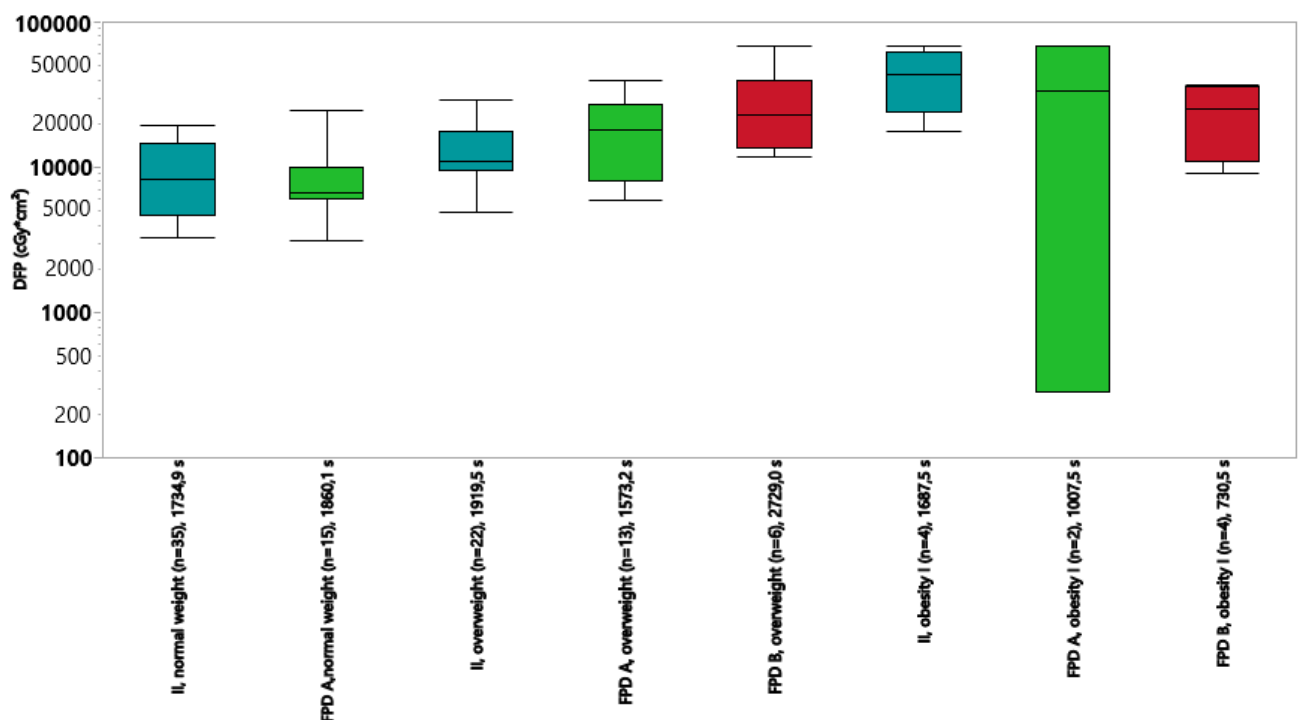


Abb. 24: BMI-Vergleich Klasse 5 mit je II, FPD A und FPD B – normal weight – Normalgewicht; overweight – Übergewicht; obesity I – Adipositas Grad I

Ergebnisse für die Gruppe „Normalgewicht“ sind für die Geräte II und FPD B vorhanden:  $8207,4 \text{ cGycm}^2$  ( $3306,8 \text{ cGycm}^2$  und  $19.459,7 \text{ cGycm}^2$ ) sind es im Median für Ersteres,  $6741,3 \text{ cGycm}^2$  ( $3141,2 \text{ cGycm}^2$  ( $24.721,5 \text{ cGycm}^2$ ) für das Zweite. Bei der übergewichtigen Gruppe liegen folgende Resultate vor: II:  $11.189,7 \text{ cGycm}^2$  ( $4910,2 \text{ cGycm}^2$  und  $29.382,9 \text{ cGycm}^2$ ); FPD A:  $17.859,4 \text{ cGycm}^2$  ( $5925,6 \text{ cGycm}^2$  und  $40.211,2 \text{ cGycm}^2$ ); FPD B:  $23.245,5 \text{ cGycm}^2$

(11.879,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 68.898,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>). Zuletzt „Adipositas I“: II: 43.597,3 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (17.595,9 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 67.562,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>); FPD A: 33.512,8 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (285,6 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 66.739,9 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>); FPD B: 25.149,5 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (8924,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 36.821,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>).

## Tabelle Normierte Dosis

**Tabelle 7: Zeitstandardisierte Dosisflächenprodukte (DAP [cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>] standardized for procedure duration) in Klasse 5, unterteilt nach BMI-Klasse (BMI class) und Gerät (system) mit Fallzahl (n), geometrischem Mittelwert der Fluoroskopiezeit (average procedure time [s]), Normdosis (= zeitstandardisierte Dosisflächenprodukte) und Verhältnis FPD A bzw. B und II (ratio FPD /II) - normal weight – Normalgewicht; overweight – Übergewicht; obesity I – Adipositas Grad I**

BMI class	system	n	average procedure time [s]	DAP [cGy $\cdot$ cm <sup>2</sup> ] standardized for procedure duration	Ratio FPD/II
normal weight	II	35	1363,2	8580,1	
	FPD A	15		6818	0,79
	FPD B	0		0	0
overweight	II	22	1518,3	12615,5	
	FPD A	13		18122,1	1,44
	FPD B	6		15622,7	1,24
obesity I	II	4	571,3	48336,1	
	FPD A	2		3735,5	0,08
	FPD B	4		18131,7	0,38

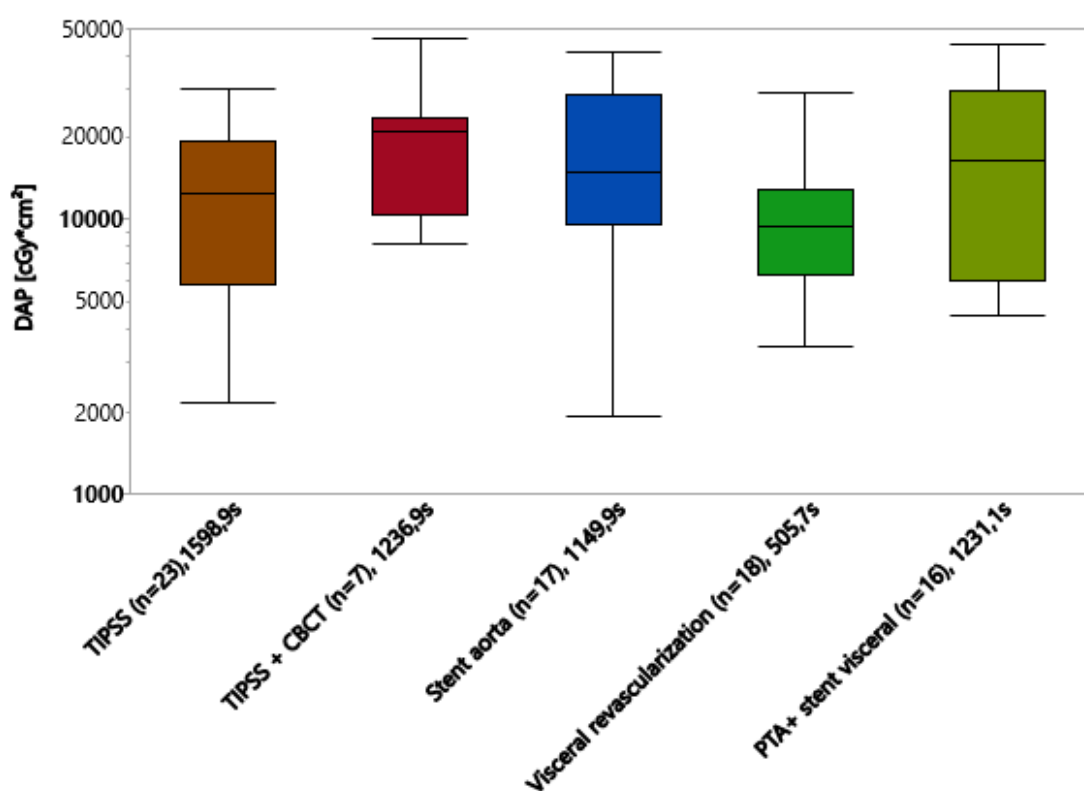
In der Klasse 5 ist im Bereich „Normalgewicht“ nur das Verhältnis aus FPD A und II (0,79) zu bilden gewesen, da es mit dem FPD B keinen Fall gab. Die FPD/II-Verhältnisse sind bei den Übergewichtigen recht ähnlich: 1,44 (A) vs. 1,24 (B). In der kleinen Gruppe „Adipositas I“ betragen sie: 0,08 (FPD A) vs. 0,38 (FPD B). Wie auch in Klasse vier lässt sich in dieser Klasse kein klarer Anstieg des DFP mit ansteigender BMI-Klasse erkennen.

### 3.6. Klasse 6 - Spezielle Interventionen

#### I Tatsächliche Dosis

##### **Artis Zeego**

In der Klasse sechs werden unterschiedliche, komplexere radiologische Interventionen betrachtet.



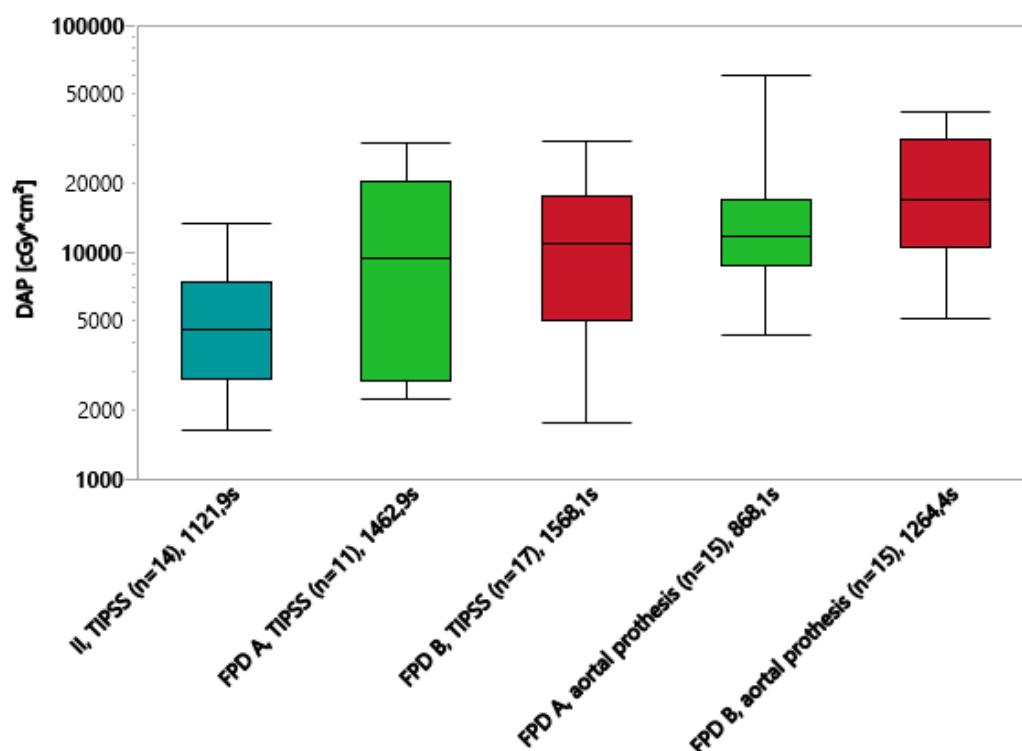
**Abb. 25: Artis Zeego Klasse 6, tatsächliche Dosis – TIPSS= transjugulärer portosystemischer Shunt/ Pfortaderintervention; TIPSS + CBCT= transjugulärer portosystemischer Shunt/Pfortaderintervention mit 3D-Angiographie; Stent aorta= Aortenstent; Visceral revascularization= viszerale Revaskularisation; PTA + stent visceral= PTA+ Stent viszeral**

In Untergruppe 1 geht es um den TIPSS bzw. in sechs Fällen um „PTA + Stent Pfortader“, mit 2D-Angiografie durchgeführt. Im Median ergibt sich eine Dosis von 12.407,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (10. und 90. Perzentile 2172,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 29.966,2 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>),

während es in er Gruppe „TIPSS mit 3D-Durchleuchtung“ im Median 20.976 cGycm<sup>2</sup> (8207,0 cGycm<sup>2</sup> und 46.328 cGycm<sup>2</sup>) sind. Im Bereich der Aortenstents liegt die mediane Dosis bei 14.826,0 cGycm<sup>2</sup> (10. und 90. Perzentile 1886,8 cGycm<sup>2</sup> und 41.509,4 cGycm<sup>2</sup>). Bei der viszeralen Revaskularisation liegt man im Median bei einer Dosis von 9377,0 cGycm<sup>2</sup> (3457,3 cGycm<sup>2</sup> und 28.952,8 cGycm<sup>2</sup>), während es bei der viszeralen PTA und Stenteinlage im Median 16.427,5 cGycm<sup>2</sup> (4475,2 cGycm<sup>2</sup> und 44.219,3 cGycm<sup>2</sup>) sind.

### Gerätevergleich

Im Zuge des Gerätevergleichs wurden nur die Unterklassen TIPSS und Aortenprothese (kein Fall mit dem Bildverstärker durchgeführt) verglichen.



**Abb. 26: Gerätevergleich Klasse 6, tatsächliche Dosis – TIPSS=** transjugulärer portosystemischer Shunt; **aortal prothesis=** Aortenprothese

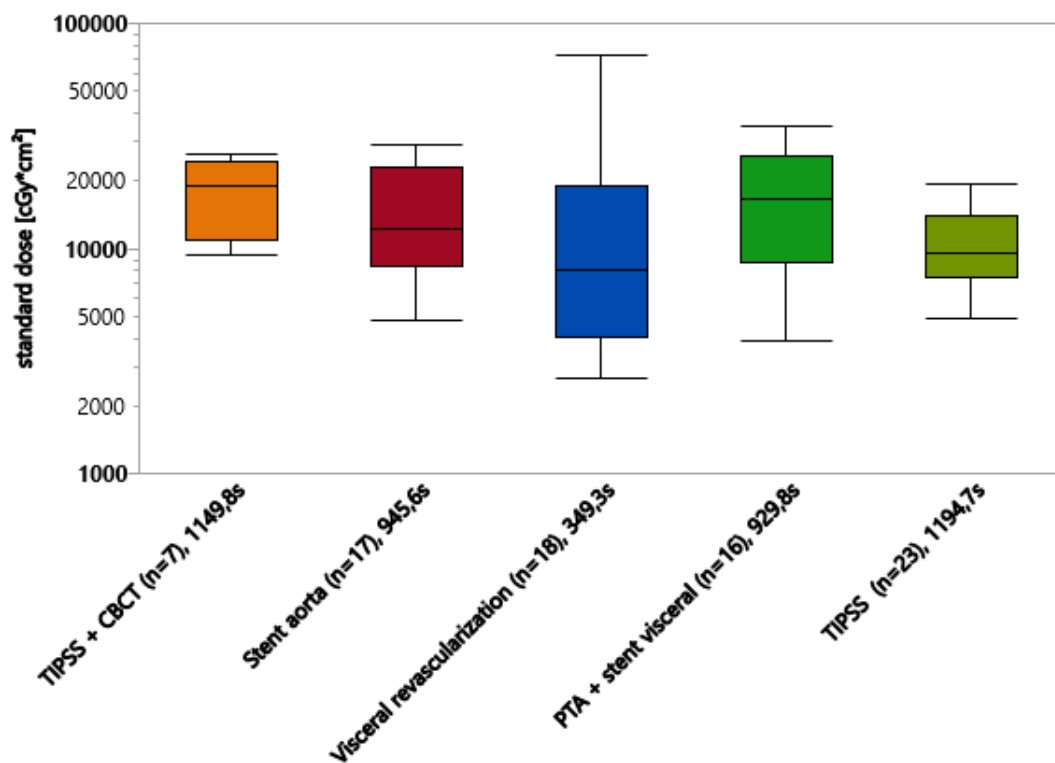
Der Bildverstärker verwendet in der Untergruppe TIPSS eine Dosis von 4527,4 cGycm<sup>2</sup> im Median (10. und 90. Perzentile 1627,3 cGycm<sup>2</sup> und 13.280,2 cGycm<sup>2</sup>),

während es bei FPD A  $9494,0 \text{ cGy cm}^2$  ( $2240,3 \text{ cGy cm}^2$  und  $30.362,1 \text{ cGy cm}^2$ ) und bei FPD B  $11.018,0 \text{ cGy cm}^2$  ( $1762,0 \text{ cGy cm}^2$  und  $31.256,8 \text{ cGy cm}^2$ ) sind. Die Diskrepanz in der Anzahl der Untersuchungen kommt durch den Wegfall von sechs „PTA + Stent Pfortader“ zustände, welche nicht als TIPSS im engeren Sinne bezeichnet wurden, aber in den Berechnungen zum Zeego allein mit berücksichtigt wurden. Im Vergleich der Aortenprothesen kommt der FPD A im Median auf  $11.708,7 \text{ cGy cm}^2$  (10. und 90. Perzentile  $4276,1 \text{ cGy cm}^2$  und  $59.711,6 \text{ cGy cm}^2$ ) und der FPD B auf  $17.106,0 \text{ cGy cm}^2$  ( $5042,6 \text{ cGy cm}^2$  und  $41.593,8 \text{ cGy cm}^2$ ).

## II Normierte Dosis

### Artis Zeego

Auch in Klasse 6 wurden die Strahlendosen noch einmal nach Durchleuchtungsdauer standardisiert berechnet, zunächst beim Artis Zeego.

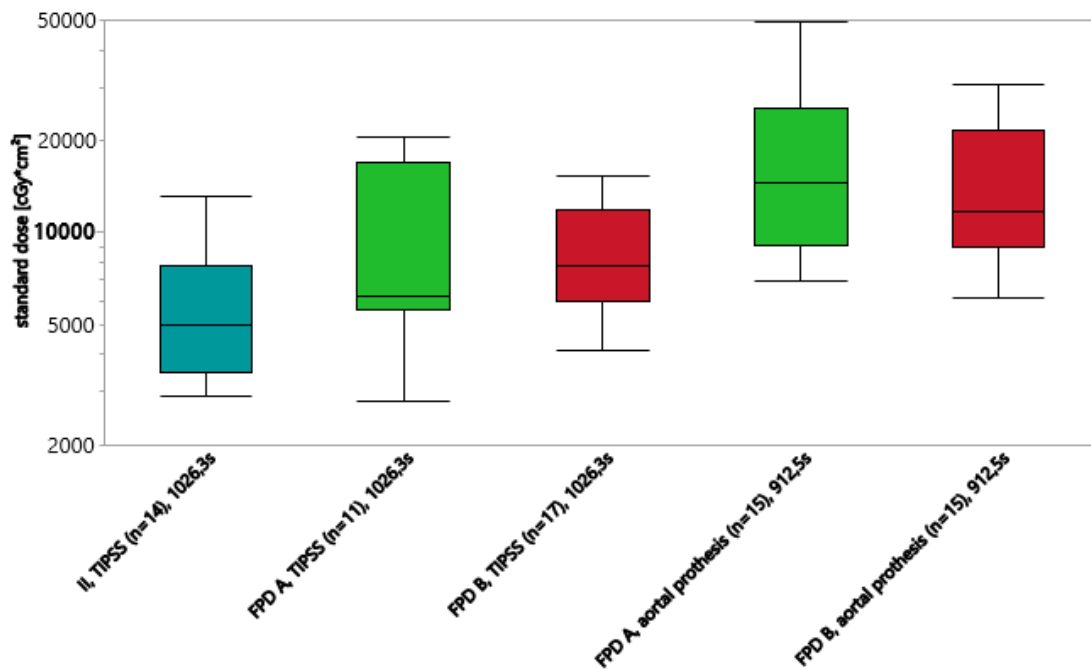


**Abb. 27: Artis Zeego Klasse 6, zeitnormierte Dosis („standard dose“)** – TIPSS + CBCT= transjugulärer portosystemischer Shunt/ Pfortaderintervention mit 3D-Angiographie; **Stent aorta**= Aortenstent; **Visceral revascularization**= viszerale Revaskularisation; **PTA + stent visceral**= PTA+ Stent viszeral; **TIPSS**= transjugulärer portosystemischer Shunt/ Pfortaderintervention

Bei den TIPSS ohne 3D-Durchleuchtung verwendet das Gerät im Median 9548,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (10. und 90. Perzentile 4882,3 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 19.333,7 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>) und in der Gruppe mit 3D-Durchleuchtung 19.106,8 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (9417,5 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 26.111,4 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>). Das Einsetzen eines Aortenstents führt zu einer Dosis von im Median 12.262,5 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (10. und 90. Perzentile 4795,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 28.698,9 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>). Die viszerale Revaskularisation resultiert in einer Dosis von im Median 7972,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (10. und 90. Perzentile 2680,8 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 71.966,2 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>) und die

viszerale PTA - und Stentimplantation von  $16.538,6 \text{ cGycm}^2$  ( $3878,3 \text{ cGycm}^2$  und  $34.547,5 \text{ cGycm}^2$ ).

## Gerätevergleich



**Abb. 28: Gerätevergleich Klasse 6, zeitnormierte Dosis („standard dose“) – TIPSS= transjugulärer portosystemischer Shunt; aortal prothesis= Aortenprothese**

Im Zuge der Zeitnormierung der Strahlendosen in der Gruppe TIPSS ergibt sich beim Bildverstärker eine Dosis von im Median  $4941,2 \text{ cGycm}^2$  (10. und 90. Perzentile  $2912,3 \text{ cGycm}^2$  und  $13.228,8 \text{ cGycm}^2$ ), bei FPD A  $6198,9 \text{ cGycm}^2$  ( $2799,1 \text{ cGycm}^2$  und  $20.608,8 \text{ cGycm}^2$ ) und bei FPD B  $7885,8 \text{ cGycm}^2$  ( $4074,8 \text{ cGycm}^2$  und  $15.472,6 \text{ cGycm}^2$ ). Im Bereich der Aortenprothesen, wo wie im Vergleich der tatsächlichen Dosen nur die Flachdetektoren verglichen wurden, liegt FPD A im Median bei  $14.541,2 \text{ cGycm}^2$  (10. und 90. Perzentile  $6945,0 \text{ cGycm}^2$  und  $49.222,0 \text{ cGycm}^2$ ) und FPD B bei  $11.833,7 \text{ cGycm}^2$  ( $6096,3 \text{ cGycm}^2$  und  $30.625,7 \text{ cGycm}^2$ ).



### III BMI-Vergleich

#### Grafik tatsächliche Dosis

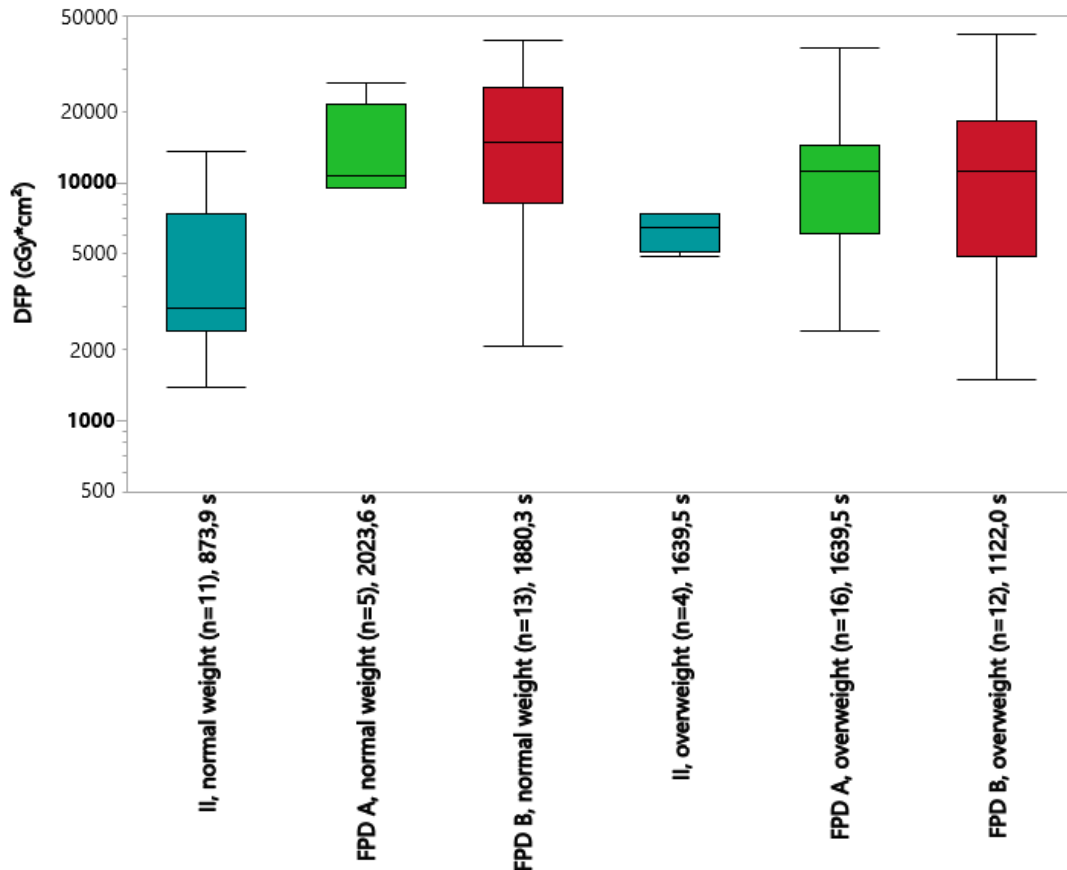


Abb. 29: BMI-Vergleich Klasse 6 mit je II, FPD A und FPD B – normal weight – Normalgewicht; overweight – Übergewicht

Im Bereich Normalgewicht lauten die Dosiswerte für das Gerät II im Median 2965,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (10. und 90. Perzentile 1374,6 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 13.610,7 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>), für das Gerät FPD A 10.778,3 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (9457,7 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 25.826,5 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>) und für das Gerät FPD B 14.826,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (2067,2 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 39.823,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>). In der Gruppe „Übergewicht“ sind die Ergebnisse: für den II 6410,4 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (4905,8 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 7379,1 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>), für den FPD A 11.162,5 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (2366,7 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 36.846,6 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>) und für den FPD B 11.010,5 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (1484,5 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 41.500,8 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>).

## Tabelle Normierte Dosis

**Tabelle 8: Zeitstandardisierte Dosisflächenprodukte (DAP [cGy\*cm<sup>2</sup>] standardized for procedure duration) in Klasse 6, unterteilt nach BMI-Klasse (BMI class) und Gerät (system) mit Fallzahl (n), geometrischem Mittelwert der Fluoroskopiezeit (average procedure time [s]), Normdosis (= zeitstandardisierte Dosisflächenprodukte) und Verhältnis FPD A bzw. B und II (ratio FPD /II) - normal weight – Normalgewicht; overweight – Übergewicht**

BMI class	system	n	average procedure time [s]	DAP [cGy*cm <sup>2</sup> ] standardized for procedure duration	Ratio FPD/II
Normalgewicht	II	11	1103,7	6472	
	FPD A	5		8830,2	1,36
	FPD B	13		9222,4	1,42
Übergewicht	II	4	914,4	3595,1	
	FPD A	16		10968,1	3,05
	FPD B	12		9611,1	2,67

In dieser Klasse wurden nur zwei Gewichtsklassen als relevant betrachtet: „Normalgewicht“ und „Übergewicht“. Die FPD/II-Verhältnisse lauten 1,46 (A) vs. 1,42 (B) und 3,05 (A) vs. 2,67 (B). In Klasse sechs lässt sich hier ebenso keine Korrelation von höherer Dosis, je höher die BMI-Klasse ist, erkennen.

## 4. Diskussion

### 4.1. Allgemeines

Die genannten und berechneten Dosisflächenprodukte werden nun hinsichtlich ihrer Aussagekraft analysiert und in einen Kontext mit anderen Studienergebnissen gestellt. In den jeweiligen klassenspezifischen Abschnitten „Tatsächliche Dosis“ werden die Ergebnisse der Auswertungen zur tatsächlich ermittelten Dosis jeweils zusammengefasst und so mit anderen Werten aus der Literatur verglichen, da in vielen Veröffentlichungen keine Zeitnormierung der Dosisflächenprodukte stattgefunden hat - je nachdem, wo es sinniger ist unter der Überschrift „Artis Zeego“ oder „Gerätevergleich“. In den jeweiligen klassenspezifischen Abschnitten „Normierte Dosis“ wird zunächst gegenübergestellt, welche Änderungen an den medianen Dosen die Zeitnormierung mit sich gebracht hat und anschließend die statistische Signifikanz der Ergebnisse zum Thema Zugangsweg und cone beam CT, Gerätevergleich und BMI-Abhängigkeit dargestellt. In einem folgenden Abschnitt wird die Dosisabhängigkeit von der Fluoroskopiezeit im Allgemeinen mithilfe von wissenschaftlichen Papern diskutiert sowie die Signifikanzanalysen der Geräteunterschiede diskutiert und versucht, ein Urteil auf die eingangs formulierte Fragestellung, ob der Artis Zeego nun einen Dosisvorteil gegenüber dem Axiom Artis aufweist, eine Antwort zu finden. Weiterhin wird noch auf die generelle BMI-Abhängigkeit der Dosisflächenprodukte in interventionellen Angiografien in Bezug auf die in dieser Arbeit ermittelten Ergebnisse und im Vergleich mit anderen Studien Augenmerk gelegt. Abschließend wird anhand der Unterklassen, in denen dies untersucht worden war, und der Ergebnissen anderer Autoren die Frage der Dosis in Abhängigkeit vom Punktionsort und von der Anwendung der 3D- Angiografie diskutiert.

## 4.2. Klasse 1 - Diagnostische Angiographien

### I Tatsächliche Dosis

#### **Gerätevergleich**

Zu allen drei Unterklassen - arterielle Beckenbeinangiographie, Feinnadelangiographie und abdominelle Angiographie - lässt sich feststellen, dass das Gerät Artis Zeego bezüglich der Dosis in dieser Auswertung zwischen dem älteren Bildverstärker Fluorospot TOP und dem Gerät Axiom Artis liegt.

Als Vergleichswert für die abdominelle Angiographie gibt es beispielsweise einen Wert von Varghese (Varghese et al., 2019) mit einem Artis Zee Gerät von Siemens (ähnlich zum Artis Zeego) von 4700 cGy\*cm<sup>2</sup> (unbekannt, um welche Art von Mittelwert es sich handelt) oder einen Median von Rana (Rana et al., 2018) von 10.791 cGy\*cm<sup>2</sup>. Zum Vergleich unsere Werte: 4015,2 cGy\*cm<sup>2</sup> (FT) – 12 275,0 cGy\*cm<sup>2</sup> (AA) – 3767,5 cGy\*cm<sup>2</sup> (AZ). Für Vergleichswerte zur Beinangiografie lässt sich ebenfalls Rana (Rana et al., 2018) heranziehen mit einem Median von 1.014 cGy\*cm<sup>2</sup>. Zum Vergleich unsere Werte: 3537,9 cGy\*cm<sup>2</sup> (FT – Becken-Bein-Angiografie); 5.477,9 cGy\*cm<sup>2</sup> (AA - BBA); 1.877,5 cGy\*cm<sup>2</sup> (AZ – BBA); 313,1 cGy\*cm<sup>2</sup> (FT – Angiografie eines Beines); 566,7 cGy\*cm<sup>2</sup> (AA – Angiografie eines Beines); 473,0 cGy\*cm<sup>2</sup> (AZ – Angiografie eines Beines). Eine Einteilung der Angiografien wie in der vorliegenden Arbeit wurde auch von Pitton (Pitton et al., 2012) vorgenommen (Median): Angiografie Bein – 2.960 cGy\*cm<sup>2</sup> und Angiografie Becken und Bein – 7.900 cGy\*cm<sup>2</sup>.

### II Normierte Dosis

#### **Artis Zeego**

Für den Artis Zeego lässt sich sagen, dass die Zeitnormierung keine wesentlichen Unterschiede in die medianen Dosen gebracht hat. Beckenbeinangiographie: 1877,6 cGy\*cm<sup>2</sup> (tatsächlich) vs. 1956,0 cGy\*cm<sup>2</sup> (normiert); Feinnadelangiographie: 473,0 cGy\*cm<sup>2</sup> (tatsächlich) vs. 384,9 cGy\*cm<sup>2</sup> (normiert); abdominelle Angiographie 3767,5 (tatsächlich) vs. 3985,7 cGy\*cm<sup>2</sup>.

## **Gerätevergleich**

In Bezug auf den Artis Zeego lässt sich in Klasse 1 auf die Werte im Abschnitt „Normierte Dosis, Artis Zeego“ verweisen, da in dieser die Fälle in den Gruppen „Artis Zeego allein“ und „Gerätevergleich“ identisch sind. Hinsichtlich der Geräte Fluorospot T.O.P. (die ersten drei Wertepaare) und Axiom Artis (die zweiten drei Wertepaare) sind folgende Auswirkungen der Dosisnormierung festzustellen: Unterklasse 1a – 3537,9 cGycm<sup>2</sup> (tatsächlich) bzw. 3115,2 cGycm<sup>2</sup> (normiert); Unterklasse 1b – 313,1 cGycm<sup>2</sup> bzw. 234,9 cGycm<sup>2</sup>; Unterklasse 1c – 4015,2 cGycm<sup>2</sup> bzw. 2486,3 cGycm<sup>2</sup>. Unterklasse 1a – 5477,9 cGycm<sup>2</sup> bzw. 6065,1 cGycm<sup>2</sup>; Unterklasse 1b – 566,7 cGycm<sup>2</sup> bzw. 686,7 cGycm<sup>2</sup>; Unterklasse 1c – 12.275,0 cGycm<sup>2</sup> bzw. 10.514,8 cGycm<sup>2</sup>.

## **Signifikanzanalyse Gerätevergleich Klasse 1**

Für das Gerät Axiom Artis wurde eine signifikant höhere Dosis (jeweils  $p = < 0,0001$ ) als für die beiden anderen Geräte in Unterklasse 1a ermittelt. In Unterklasse 1b lässt sich ein signifikanter Unterschied ( $p=0,0037$ ) nur zwischen den Geräten Axiom Artis und Fluorospot T.O.P. (niedrigere Dosis) feststellen. Dagegen ergibt sich in Klasse 1c eine deutlich geringere Dosis für der Fluorospot T.O.P. gegenüber dem älteren ( $p=0,0001$ ) und dem neueren ( $p=<0,0001$ ) FPD-Gerät.

## **Signifikanzanalyse BMI Klasse 1**

Da in den jeweiligen Gewichtsklassen für die Signifikanzberechnungen mindestens 5 Fälle je Gerät als relevant angesehen wurden, wurden nicht alle Daten, die für die Tabelle zu den Ergebnissen bzgl. der BMI-gewichteten Ergebnisse, also den zeitnormierten Dosen aller drei Geräte, hinzugezogen wurden, der p-Wert – Berechnung unterzogen. Mit den wie in den vorherigen Signifikanzberechnungen logarithmierten Dosisflächenprodukten und somit mit denselben Mittelwerten wie in der Tabelle zur BMI-Klasse wurde dann die Varianzanalyse gemacht.

Betrachtet man die drei untersuchten Geräte nun im Rahmen der verschiedenen BMI-Klassen, um Geräteunterschiede durch eine unterschiedliche durchschnittliche Patientenkonstitution in den verschiedenen Gerätegruppen herauszurechnen, lässt sich feststellen, dass im Bereich Normalgewicht der Siemens Axiom Artis auf signifikant höhere Dosiswerte kommt als der Fluorospot T.O.P. ( $p=0,0057$ ) und der Siemens Artis Zeego ( $p=0,0011$ ), während bei den Übergewichtigen ( $p=<0,0001$ ) und in der Gruppe Adipositas I ( $p=0,0013$ ) diese signifikante Dosiserhöhung des Axiom Artis nur gegenüber dem Fluorospot T.O.P. gilt.

Des Weiteren wurde durch eine nochmalige Normierung der Dosen auf den geometrischen Mittelwert der Durchleuchtungsdauern der Gruppen Normalgewicht bis Adipositas I und Ermitteln der arithmetischen Mittelwerte der logarithmierten Dosen geräteunabhängig die BMI-Abhängigkeit des Dosisflächenproduktes nachgewiesen, welche sich aber nur im Vergleich Normalgewicht / Übergewicht und Normalgewicht/Adipositas I (je  $p=<0,0001$ ) statistisch signifikant zeigte.

#### 4.3. Klasse 2 - Interventionen mit PTA

##### I Tatsächliche Dosis

##### **Artis Zeego**

In Klasse 2, in der erstmals unter den Klassen untersucht wurde, ob es einen dosisrelevanten Unterschied zwischen dem antegraden und dem retrograden Zugangsweg zu den Beinarterien gibt, lässt sich Folgendes zusammenfassen: während die Untergruppe mit den höchsten Dosiswerten die „PTA an Nieren/Becken“ (Median  $1943 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$ ) ist, zeigt sich ein Unterschied zwischen antegradem und retrogradem Zugang, sowohl bei der „PTA Oberschenkel“ ( $521 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  - antegrad/  $1760,5 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  - retrograd) als auch bei der „PTA Oberschenkel und Unterschenkel“ ( $545,5 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$  antegrad/  $2044 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$

retrograd). Die Gruppen „PTA A. poplitea“ (494 cGy\*cm<sup>2</sup>) und „PTA Unterschenkel“ (422 cGy\*cm<sup>2</sup>) liegen im Bereich der antegraden Oberschenkel (+Unterschenkel)-Intervention. Vergleiche in der Literatur im Bereich Bein sind z.B. : (Kocinaj et al., 2006) – 4.900 cGy\*cm<sup>2</sup> im Median, jedoch inklusive Stent – Intervention. Ebenso gibt Pitton (Pitton et al., 2012) die Mediane der analysierten Interventionen als Mischung aus Eingriffen mit PTA +/- Stent an: Beckengefäße – 18.980 cGy\*cm<sup>2</sup> und Intervention Oberschenkel plus Unterschenkel – 4.750 cGy\*cm<sup>2</sup>. Rana (Rana et al., 2018) wiederum gibt den Median von reinen PTA – Interventionen („untere Extremität“) mit 1.545 cGy\*cm<sup>2</sup> an. Einen Wert zur reinen PTA im Becken gibt es von Miller (Miller et al., 2003b): 16.356 cGy\*cm<sup>2</sup> („Mittelwert“), welcher deutlich über dem Artis Zeego liegt.

### **Gerätevergleich**

In allen drei Unterklassen liegt das neuere Gerät Artis Zeego im Dosisbereich des Vorgängermodells Axiom Artis, beide liegen deutlich höher als der Bildverstärker, wie auch schon die Vorgängerstudie im Fall des Axiom Artis zeigte.

## **II Normierte Dosis**

### **Artis Zeego**

Auch in Klasse 2 lassen sich keine relevanten Abweichungen durch Zeitnormierung der Dosis feststellen. PTA Niere/Becken: 1943,0 cGy\*cm<sup>2</sup> (tatsächlich) vs. 2534,0 cGy\*cm<sup>2</sup> (normiert); PTA Oberschenkel, antegrader Zugang: 521,0 cGy\*cm<sup>2</sup> vs. 557,1 cGy\*cm<sup>2</sup>; PTA Oberschenkel, retrograder Zugang: 1760,5 cGy\*cm<sup>2</sup> vs. 1751,6 cGy\*cm<sup>2</sup>; PTA A. poplitea: 494,0 cGy\*cm<sup>2</sup> vs. 444,7 cGy\*cm<sup>2</sup>; PTA Oberschenkel u. Unterschenkel, antegrader Zugang: 545,5 cGy\*cm<sup>2</sup> vs. 497,7 cGy\*cm<sup>2</sup>; PTA OS + US, retrograder Zugang: 2044,0 cGy\*cm<sup>2</sup> vs. 1759,1 cGy\*cm<sup>2</sup>; PTA Unterschenkel: 422,0 cGy\*cm<sup>2</sup> vs. 417,2 cGy\*cm<sup>2</sup>.

## **Signifikanzanalyse Zugangsweg Klasse 2**

Für die Untergruppen „Oberschenkel, ante- und retrograd“ und „Ober- und Unterschenkel, ante- und retrograd“ wurden die Untergruppen derselben Interventionshöhen in neue Tabellen zusammengefasst und neue mit dem geometrischen Mittelwert ermittelte Normdauern und Normdosen berechnet, um sie bestmöglich gegenüberstellen und eine Aussage über die Dosisrelevanz des Zugangsweges treffen zu können. So gilt für den Bereich „Oberschenkel“: kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Zugangswegen ante- und retrograde Punktion, während es für den Vergleich „Ober- und Unterschenkel“ einen hochsignifikanten ( $p < 0,0001$ ) Unterschied gibt.

### **Gerätevergleich**

Der Vergleich zwischen tatsächlicher und normierter Dosis ergibt in den drei Unterklassen Oberschenkel, Oberschenkel plus Unterschenkel und Unterschenkel (in dieser Reihenfolge) die folgenden Wertepaare: II – 261,3 cGycm<sup>2</sup> vs. 150,9; FPD A – 661,4 cGycm<sup>2</sup> vs. 557,2 cGycm<sup>2</sup>; FPD B – 736,0 cGycm<sup>2</sup> vs. 1104,2 cGycm<sup>2</sup>; II – 193,3 cGycm<sup>2</sup> vs. 110,1 cGycm<sup>2</sup>; FPD A – 543,8 cGycm<sup>2</sup> vs. 486,6 cGycm<sup>2</sup>; FPD B – 660,5 cGycm<sup>2</sup> vs. 779,8 cGycm<sup>2</sup>; II – 130,2 cGycm<sup>2</sup> vs. 133,2 cGycm<sup>2</sup>; FPD A – 380,7 cGycm<sup>2</sup> vs. 410,1 cGycm<sup>2</sup>; FPD B – 420,0 cGycm<sup>2</sup> vs. 409,3 cGycm<sup>2</sup>.

## **Signifikanzanalyse Gerätevergleich Klasse 2**

Für die Gruppe „PTA Oberschenkel“ lässt sich eine klare signifikante (alle Unterschiede  $p < 0,0001$ ) Rangfolge der Geräte bilden: am wenigsten Dosis verwendet das mit dem Bildverstärker arbeitende Gerät, dann kommt der ältere Flachbilddetektor und schließlich der neuere Artis Zeego. Im Bereich „Oberschenkel und Unterschenkel“ lässt sich aufgrund stark untereinander abweichender Varianzen kein statistisch relevanter Dosisunterschied definieren, da auch die Fallzahlen bei den beiden älteren Geräten äußerst gering sind. Bei



Unterklasse 2c liegt das älteste Gerät in der Dosis deutlich ( $p < 0,0001$  jeweils) unter den beiden anderen Geräten.

## **Signifikanzanalyse BMI Klasse 2**

Im Dosisvergleich nach BMI-Klassen schneidet bei den Normalgewichtigen der Bildverstärker signifikant ( $p < 0,0001$  jeweils) besser als die beiden anderen Geräte ab. In der folgenden Gruppe (Übergewicht) ergibt sich eine klare Rangfolge der Geräte von neu nach alt, bei der das neueste Gerät die höchste Dosis verzeichnet, wobei der Unterschied zum Fluorospot T.O.P. mit  $p < 0,0001$  und zum Axiom Artis mit  $p = 0,0185$  bezeichnet werden kann. Der Dosisunterschied zwischen den beiden älteren Geräten ist mit  $p = 0,0083$  signifikant. Dieselbe Gerätereihenfolge ist auch in der Gruppe Adipositas I vorzufinden. Hier beträgt der p-Wert zwischen dem Artis Zeego und dem Fluorospot T.O.P.  $< 0,0001$  und dem Axiom Artis  $0,0047$ , wobei zwischen den Letztgenannten kein signifikanter Unterschied vorliegt.

Wie schon in Klasse 1 ergibt sich für die nach Interventionszeit standardisierte Dosis nach BMI-Klasse ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen Normal- und Übergewicht ( $p = 0,0007$ ) sowie Normalgewicht und Adipositas I ( $p < 0,0001$ ), wobei die Klassen zur Rangbildung bei der Dosis wieder aufsteigend nach BMI zu ordnen sind.

### 4.4. Klasse 3 - Interventionen mit Stent

#### I Tatsächliche Dosis

##### Artis Zeego

In dieser Klasse lässt sich ein signifikanter Unterschied sowohl zwischen den Untergruppen „Stent Becken, eine Seite“ (Median  $3.122 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$ ) und „Stent Becken, beide Seiten“ ( $6.283 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$ ) als auch, den Gruppen „Stent

Oberschenkel, antegrader Zugang“ (798,5 cGy\*cm<sup>2</sup>) und „Stent Oberschenkel, retrograder Zugang“ (3.217 cGy\*cm<sup>2</sup>) ausmachen, wohingegen die Stenteinlage in die A. poplitea (586,5 cGy\*cm<sup>2</sup>) und am Unterschenkel (513 cGy\*cm<sup>2</sup>) wie in Klasse 2 im Bereich der antegraden Intervention am Oberschenkel liegen. Hier sei wieder auf den Vergleichswert von Kocinaj (Kocinaj et al., 2006) verwiesen und ebenso auf die Arbeit von Majewska (Majewska et al., 2011a), hier wurde eine etwas genauere Aufteilung nach Becken-Stent (zwischen 4.300 cGy\*cm<sup>2</sup> und 16.200 cGy\*cm<sup>2</sup> im Median, da in der Studie nach Art der Läsion unterteilt wurde), femoralem Stent (mit einem Anteil an lediglich PTA-Intervention - 600 cGy\*cm<sup>2</sup> bis 4.600 cGy\*cm<sup>2</sup> im Median) und poplitealem Stent (4.600 cGy\*cm<sup>2</sup>) vorgenommen. Bei 21,282 cGy\*cm<sup>2</sup> liegt der Mittelwert bei Miller (Miller et al., 2003b) für den Beckeneingriff mit Stenteinlage.

### **Gerätevergleich**

Während die Ergebnisse im Gerätevergleich für die Unterklassen „Stent Oberschenkel“ und „Stent Unterschenkel“ für die beiden Flachdetektoren etwa gleich sind, ist die mediane Dosis in der Gruppe „Stent Oberschenkel plus Unterschenkel“ für FPD B höher, in der Gruppe „Stent Becken“ für FPD A. Dabei liegen die Werte für die Flachdetektoren stets über denen des Bildverstärkers, mit Ausnahme der Dosis für den Zeego in der Gruppe Stent Becken.

### **II Normierte Dosis**

#### **Artis Zeego**

Folgende, überwiegend kleine, Unterschiede lassen sich zwischen den tatsächlichen und den zeitnormierten Dosen mit dem Artis Zeego feststellen. Untergruppe 1 : 3122,0 cGy\*cm<sup>2</sup> (tatsächlich) vs. 3201,2 cGy\*cm<sup>2</sup> (normiert); 6283,0 cGy\*cm<sup>2</sup> vs. 7192,9 cGy\*cm<sup>2</sup> in Gruppe 2; Gruppe 3: 798,5 cGy\*cm<sup>2</sup> vs. 687,7 cGy\*cm<sup>2</sup>; Gruppe 4: 3217,0 cGy\*cm<sup>2</sup> vs. 2988,0 cGy\*cm<sup>2</sup>; Gruppe 5: 586,5 cGy\*cm<sup>2</sup> vs. 497,1 cGy\*cm<sup>2</sup>; Gruppe 6: 513,0 cGy\*cm<sup>2</sup> vs. 573,3 cGy\*cm<sup>2</sup>.

### **Signifikanzanalyse Zugangsweg Klasse 3**

Für den Unterschied bei der Stentplatzierung im Becken ergibt sich eine signifikant ( $p=0,0048$ ) höhere Dosis für die beidseitige Stentplatzierung. Ein  $p$  von  $<0,0001$  zugunsten des antegraden Zugangsweges ergibt sich beim Vergleich der Stentplatzierung im Oberschenkel.

#### **Gerätevergleich**

Die Zeitnormierung liefert im Gerätevergleich der Klasse 3 folgende Werte (jeweils tatsächlicher vs. normierter Wert): Stent Becken → II – 6234,5 cGycm<sup>2</sup> vs. 5235,5 cGycm<sup>2</sup>; FPD A – 7018,7 cGycm<sup>2</sup> vs. 10.273,0 cGycm<sup>2</sup> ; FPD B – 3667,0 cGycm<sup>2</sup> vs. 3428,0 cGycm<sup>2</sup> ; Stent Oberschenkel → II – 464,0 cGycm<sup>2</sup> vs. 381,1 cGycm<sup>2</sup> ; FPD A – 922,1 cGycm<sup>2</sup> vs. 1155,1 cGycm<sup>2</sup> ; FPD B – 1001,0 cGycm<sup>2</sup> vs. 947,4 cGycm<sup>2</sup> ; Stent Oberschenkel plus Unterschenkel → II – 234,5 cGycm<sup>2</sup> vs. 208,2 cGycm<sup>2</sup> ; FPD A – 347,6 cGycm<sup>2</sup> vs. 456,0 cGycm<sup>2</sup> ; FPD B – 1006,0 cGycm<sup>2</sup> vs. 736,7 cGycm<sup>2</sup> ; Stent Unterschenkel → II – 234,4 cGycm<sup>2</sup> vs. 242,7 cGycm<sup>2</sup> ; FPD A – 540,6 vs. 601,1 cGycm<sup>2</sup> ; FPD B – 513,0 cGycm<sup>2</sup> vs. 478,9 cGycm<sup>2</sup> .

### **Signifikanzanalyse Gerätevergleich Klasse 3**

Im Vergleich Becken war die zeitkorrigierte Interventionsdosis des Axiom Artis signifikant höher als die des Fluorospot T.O.P. ( $p=0,0059$ ) und der Artis Zeego ( $p=<0,0001$ ). Im Bereich Oberschenkel zeigt sich ein deutlicher (jeweils  $p=<0,0001$ ) Dosisvorteil des ältesten Gerätes, ebenso ( $p<0,0001$  im Vergleich zu Artis Zeego) in der Gruppe Oberschenkel plus Unterschenkel, jedoch im Vergleich zum Axiom Artis mit  $p=0,0005$ . Auch im Bereich Unterschenkel zeigt sich beim Fluorospot T.O.P. eine niedrigere zeitkorrigierte Dosis als bei den beiden anderen, signifikant ( $p=0,0008$ ) jedoch nur im Vergleich zum Axiom Artis.

### **Signifikanzanalyse BMI Klasse 3**

Bei den Untergewichtigen konnten keine relevanten Dosisunterschiede, bei jedoch sehr kleiner Fallzahl, festgestellt werden. In der Gruppe Normalgewicht, konnte aufgrund starker Varianzungleichheit keine Signifikanz im Dosisvorteil von Fluorospot TOP gegenüber Axiom Artis ausgemacht werden. In der Gruppe Übergewicht dagegen konnte dieser Dosisvorteil sowohl gegenüber dem Axiom Artis ( $p=0,005$ ), als auch gegenüber dem Artis Zeego ( $p=0,0018$ ) nachgewiesen werden. In der Untergruppe Adipositas I konnten diese Ergebnisse wiederum nicht gezeigt werden.

In Klasse 3 lässt sich zwar auch zeigen, dass, je höher die BMI-Klasse, desto größer die Dosis, statistisch signifikant ist jedoch nur der Unterschied zwischen den Gruppen Normalgewicht und Adipositas I ( $p=0,005$ ).

#### 4.5. Klasse 4 - Lysen

##### I Tatsächliche Dosis

##### **Artis Zeego**

In dieser Klasse lässt sich ein sehr deutlicher Unterschied zwischen dem Einbringen eines Lysekatheters von antegrad und von retrograd feststellen, wohingegen der Unterschied zwischen „Lysekontrolle mit Intervention Becken/Oberschenkel, von antegrad und von retrograd“ geringer ist.

##### **Gerätevergleich**

Während der Axiom Artis bei den Lysen (teilweise mit Intervention) mit dem Artis Zeego etwa gleichauf liegt, liegt er bei den Lysekontrollen deutlich unter diesem, hier etwa im Bereich des Fluorospot TOP. Es wurden keine Vergleichswerte in der Literatur gefunden.

## II Normierte Dosis

### **Artis Zeego**

Auch in der Klasse „Lysen“ wurde wieder die Auswirkung der Zeitnormierung betrachtet. Die Unterschiede in den einzelnen Unterklassen sind 205,0 cGycm<sup>2</sup> (tatsächlich) vs. 179,1 cGycm<sup>2</sup> (normiert) (Lysekatheter, antegrad), 1838,0 cGycm<sup>2</sup> vs. 2123,0 cGycm<sup>2</sup> (Lysekatheter, retrograd), 145,0 cGycm<sup>2</sup> vs. 130,2 cGycm<sup>2</sup> (Lysekontrolle), 451,5 cGycm<sup>2</sup> vs. 362,3 cGycm<sup>2</sup> (Lysekontrolle + Becken/Oberschenkel, antegrad), 1143,0 cGycm<sup>2</sup> vs. 1084,0 cGycm<sup>2</sup> (Lysekontrolle + Becken/Oberschenkel, retrograd) und 183,0 cGycm<sup>2</sup> vs. 212,0 cGycm<sup>2</sup> (Lysekontrolle + Unterschenkel).

### **Signifikanzanalyse Zugangsweg Klasse 4**

Im Vergleich der unterschiedlichen Zugangswege bei der Anlage eines Lysekatheters bzw. der Lyse gilt für den Unterschied zugunsten der antegraden Punktion ein p von <0,0001 und bei der Intervention im Bereich Becken/Oberschenkel bei liegendem Lysekatheter (Lysekontrolle) analog ein p von 0,0002.

### **Gerätevergleich**

Die Dosisnormierungen ergeben hier: Lyse, teilweise mit Intervention → II – 195,8 cGycm<sup>2</sup> vs. 191,1 cGycm<sup>2</sup>; FPD A – 554,8 cGycm<sup>2</sup> vs. 850,5 cGycm<sup>2</sup>; FPD B – 494,5 cGycm<sup>2</sup> vs. 347,0 cGycm<sup>2</sup>; Lysekontrolle → II – 204,7 cGycm<sup>2</sup> vs. 48,7 cGycm<sup>2</sup>; 408,0 cGycm<sup>2</sup> vs. 344,3 cGycm<sup>2</sup>; FPD B – 145,0 cGycm<sup>2</sup> vs. 277,1 cGycm<sup>2</sup>.

### **Signifikanzanalyse Gerätevergleich Klasse 4**

In Gerätevergleich der Lysekatheteranlagen lässt sich eine klare Rangfolge nach der Dosis bilden: Axiom Artis, mit einem p von 0,0004 gefolgt vom Artis Zeego,

welcher wiederum mit einem p von 0,0031 signifikant mehr Dosis aufwendet als der Fluorospot T.O.P. Zwischen diesem und dem Axiom Artis besteht wiederum ein Unterschied von  $p = <0,0001$ . Im Vergleich der Lysekontrollen lässt sich durch den Vergleich nach geometrischen Mittelwert eine andere Rangfolge der Durchleuchtungseinheiten als in der mediangestützten grafischen Darstellung ablesen: nun ist das neueste Gerät das mit der höchsten mittleren Dosis, gefolgt vom mittelalten und ältesten, wobei das älteste verglichen mit den beiden anderen signifikant (je  $p = <0,0001$ ) weniger strahlt.

#### **Signifikanzanalyse BMI Klasse 4**

Für die Gruppe Normalgewicht gilt: Gerät Eins hat sowohl im Vergleich zu Gerät Zwei ( $p = <0,0001$ ) als auch im Vergleich zu Gerät Drei ( $p = 0,0243$ ) ein signifikant geringeres DFP. Ebenso verhält es sich in der Rubrik Übergewicht, jedoch mit den p-Werten  $<0,0001$  (Vergleich mit Gerät Drei) und 0,0008 (Vergleich mit Gerät Zwei). In der Gruppe Adipositas I hingegen ist nur der Dosisvorteil des ältesten Gerätes gegenüber dem mittelalten Gerät ( $p = 0,0022$ ) statistisch signifikant.

Was die Darstellung der BMI-Unterschiede in Klasse 4 betrifft, so lässt sich hier ganz knapp auch eine zu erwartende Reihenfolge der BMI-Klassen nach Dosis bilden. Der geometrische Mittelwert in der Gruppe Normalgewicht liegt bei 238,74  $\text{cGy} \cdot \text{cm}^2$  und liegt damit signifikant unter der Gruppe Übergewicht (466,86  $\text{cGy} \cdot \text{cm}^2$ ;  $p = <0,0001$ ) und der Gruppe Adipositas I (478,77  $\text{cGy} \cdot \text{cm}^2$ ;  $p = 0,0092$ ), wobei der Unterschied zwischen Übergewicht und Adipositas I nicht signifikant war.

## 4.6. Klasse 5 - Embolisationen

### I Tatsächliche Dosis

#### **Artis Zeego**

In dieser Gruppe der sehr hohen Dosisflächenprodukte liegt dieses bei allen fünf Untergruppen über 10.000 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>, hervorzuheben ist allenfalls, dass die mithilfe der 3D-Angiographie durchgeführten Chemoembolisationen erwartungsgemäß eine höhere Strahlenbelastung aufweisen als die Standard-Chemoembolisationen. Als Vergleichswert für die viszerale Embolisationen kann wieder (s.o., „Mittelwert“) die Studie von Varghese (Varghese et al., 2019) dienen, welche für „abdominale Embolisationen“ einen Wert von 6900 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> angibt (vgl. Zeego: 10.742,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>).

#### **Gerätevergleich**

In der einzigen Gruppe dieser Klasse (Leberembolisationen) liegt das neueste Gerät mit dem DFP deutlich höher als die anderen beiden Geräte. Verglichen wieder mit (Varghese et al., 2019) und einem mittleren DFP von 4370 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> bei TACE – Interventionen, liegen hier alle drei Geräte in Tübingen (FT: 11.125,1 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>; AA: 9940,6 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>; AZ: 24.867,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup>) darüber, jedoch unter einem (wahrscheinlich arithmetischen) Mittelwert von 28.232 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> von Miller (Miller et al., 2003b), welcher allerdings nur TACE-Interventionen im engeren Sinne einschließt und nicht Leberembolisationen allgemein.

### II Normierte Dosis

#### **Artis Zeego**

Die Gegenüberstellung der tatsächlichen und normdauerberechneten DFPs sieht in dieser Klasse wie folgt aus: 32.029,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (tatsächlich) und 30.407,2 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> (normiert) bei der TACE mit 3D-Scan und 24.867,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> und 20.735,3 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> bei der Standard-TACE. Viszerale Embolisationen: 10.742,0 cGy $\cdot$ cm<sup>2</sup> vs.

15.880,6 cGycm<sup>2</sup>; Beckenembolisationen: 23.576,0 cGycm<sup>2</sup> vs. 28.938,6 cGycm<sup>2</sup>; Pfortaderembolisationen: 16.275,5 cGycm<sup>2</sup> vs. 16.271,8 cGycm<sup>2</sup>.

### **Signifikanzanalyse CBCT Klasse 5**

Ein signifikanter p-Wert von 0,0307 ergibt sich hierbei für den statistischen Unterschied zwischen 2D- und 3D- Leberembolisation.

### **Gerätevergleich**

Im Vergleich der tatsächlichen und der normierten Werte lässt sich Folgendes feststellen: II – 11.125,1 cGycm<sup>2</sup> vs. 10.095,0 cGycm<sup>2</sup>; FPD A – 9940,6 cGycm<sup>2</sup> vs. 9915,8 cGycm<sup>2</sup>; FPD B – 24.867,0 cGycm<sup>2</sup> vs. 19.784,1 cGycm<sup>2</sup>.

### **Signifikanzanalyse Gerätevergleich Klasse 5**

Zunächst ergibt sich bei der Signifikanzanalyse nach geometrischem Mittelwert im Vergleich zur grafisches Darstellung nach Quantilen wieder eine Änderung der Gerätereihenfolge: dem Artis Zeego folgt nun der Axiom Artis, knapp gefolgt vom Fluorospot T.O.P.; jedoch lassen sich keine signifikantem Dosisunterschiede berechnen.

### **Signifikanzanalyse BMI Klasse 5**

Im Bereich Normalgewicht lässt sich kein signifikanter Dosisunterschied ausmachen, ebenso in der Gruppe Übergewicht.

Aufgrund nur zwei relevanter BMI-Klassen wurde in Klasse fünf keine statistische Analyse der grundsätzlichen BMI-Abhängigkeit in dieser Klasse durchgeführt.



## 4.7. Klasse 6 - Spezielle Interventionen

### I Tatsächliche Dosis

#### **Artis Zeego**

Erwartungsgemäß bringt der Einsatz der 3D-Technologie eine höhere Strahlenbelastung bei der TIPSS/ Pfortaderintervention mit sich als ohne. Ebenso bedeutet der viszerale PTA- und Stenteinsatz eine Mehrbelastung gegenüber der alleinigen Revaskularisation mit Lyse. Etwa im gleichen Bereich wie die viszerale PTA / der viszerale Stent liegt der Stent in der Aorta, was anatomisch gesehen logisch erscheint. Andere Autoren, wie Pitton (Pitton et al., 2012) – EVAR: 34.380 cGy\*cm<sup>2</sup> und Stent viszerale Arterien 48.350 cGy\*cm<sup>2</sup> (je Median) oder van den Haak (van den Haak et al., 2015) – EVAR: 22.440 cGy\*cm<sup>2</sup> bzw. 9.580 cGy\*cm<sup>2</sup> (je Median) nach einer Systemmodernisierung liegen höher in der Dosis oder etwa in der Größenordnung des Artis Zeego (EVAR: 14.826 cGy\*cm<sup>2</sup> - Stent viszerale Arterien: 16.427,5 cGy\*cm<sup>2</sup>).

#### **Gerätevergleich**

Sowohl in der Untergruppe TIPSS als auch in der Untergruppe Aortenstent liegen die beiden Flachdetektoren dosistechnisch etwa gleichauf, höher als der Bildverstärker (bzw. keine Vergleichsmöglichkeit mit dem II bei der Aortenprothese). Die TIPSS – Anlage kann wieder mit dem (wahrscheinlich arithmetischen) Mittelwert (9.600 cGy\*cm<sup>2</sup>) von Varghese (Varghese et al., 2019): 4527,4 cGy\*cm<sup>2</sup> (FT); 9.494,0 cGy\*cm<sup>2</sup> (AA); 11.018,0 cGy\*cm<sup>2</sup> (AZ) und dem (wahrscheinlich arithmetischen) Mittelwert von Miller (Miller et al., 2003b) von 33.535 cGy\*cm<sup>2</sup> verglichen werden.

## II Normierte Dosis

### **Artis Zeego**

Das Verhältnis von tatsächlicher und genormter Dosis mit dem Gerät Artis Zeego ist wie folgt: TIPSS – 12.407,0 cGycm<sup>2</sup> (tatsächlich) bzw. 9.548,0 cGycm<sup>2</sup> (genormt); TIPSS 3D – 20.976,0 cGycm<sup>2</sup> bzw. 19.106,8 cGycm<sup>2</sup>; Aortenstent – 14.826,0 cGycm<sup>2</sup> bzw. 12.262,5 cGycm<sup>2</sup>; Viszerale Revaskularisation 9377,0 cGycm<sup>2</sup> bzw. 7972,0 cGycm<sup>2</sup>; Viszerale(r) PTA/Stent – 16.427,5 cGycm<sup>2</sup> bzw. 16.538,6 cGycm<sup>2</sup>.

### **Signifikanzanalyse CBCT Klasse 6**

Für den Dosisunterschied zwischen einer 2D und einer 3D gesteuerten TIPSS-Anlage wurde eine signifikant höhere ( $p=0,0037$ ) Dosis für die dreidimensionale Angiografie festgestellt.

### **Gerätevergleich**

Die Vergleichszahlen „tatsächlich vs. normiert“ sind: TIPSS:II – 4527,4 cGycm<sup>2</sup> vs. 4941,2 cGycm<sup>2</sup>; FPD A – 9494,0 cGycm<sup>2</sup> vs. 6198,9 cGycm<sup>2</sup>; FPD B – 11.018,0 cGycm<sup>2</sup> vs. 7885,8 cGycm<sup>2</sup>; Aortenstent: FPD A – 11.708,7 cGycm<sup>2</sup> vs. 14.541,2 cGycm<sup>2</sup>; FPD B – 17.106,0 cGycm<sup>2</sup> vs. 11.833,7 cGycm<sup>2</sup>.

### **Signifikanzanalyse Gerätevergleich Klasse 6**

Für Klasse 6a konnten keine statistische relevanten Unterschiede ermittelt werden, ebenso wenig wie für Klasse 6b (hier konnten nur die Flachdetektoren verglichen werden).

## **Signifikanzanalyse BMI Klasse 6**

Bei den Normalgewichtigen konnte keinerlei Signifikanz in den Ergebnissen nachgewiesen werden, wohingegen bei den Übergewichtigen ein klarer Vorteil von Gerät Eins gegenüber Gerät Zwei ( $p=0,0039$ ) und Drei ( $p=0,0142$ ) gezeigt werden konnte. Jedoch wird dieses Ergebnis nicht verwendet, da mit dem Fluorospot T.O.P. nur vier Eingriffe durchgeführt wurden.

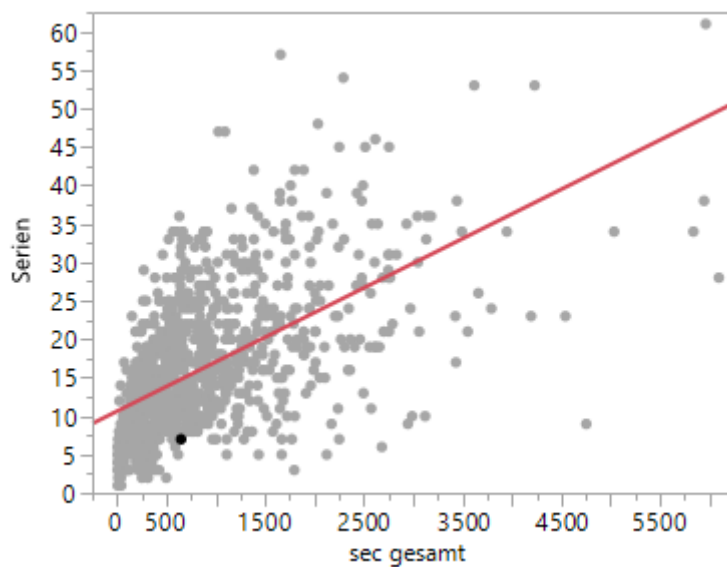
Auch in Klasse sechs wurde aus Ermangelung von mindestens drei BMI-Klassen mit relevanter Patientenzahl keine Dosis / BMI - Beziehung analysiert.

### 4.8. Gesamtbeurteilung Geräteunterschiede

#### Stellenwert der Zeitnormierung

An dieser Stelle soll zunächst zusammengefasst die Beurteilung der Dosisnormierung nach Fluoroskopiezeit stehen. Wie es auch in der Vorgängerarbeit und einer der zugehörigen Veröffentlichungen gemacht wurde (Wiesinger et al., 2013), wurde auch in dieser Arbeit die Zeitnormierung als praktikable Methode für bessere Vergleichbarkeit unter den Angiografiegeräten bzw. Interventionen gewählt. Obwohl die Fluoroskopiezeit nicht die beste Größe ist, um die Strahlenbelastung eines Patienten zu überwachen, da sie bei einigen interventionellen Verfahren nur zu einem kleineren Teil zum Gesamt – DFP beiträgt (Seifert et al., 2000) (Pitton et al., 2012) und eine vermehrte Verwendung von Fluoroskopie anstatt DSA zu einer Dosisreduzierung führt (Zurcher et al., 2020), lassen sich auch aus der Durchleuchtungszeit die Verhältnisse von Gesamtdosisflächenprodukten annähernd ableiten; diese kann also durchaus - neben der Anzahl an Serien - die Vergleichbarkeit von Dosisflächenprodukten erschweren (Davies et al., 2007). Zunächst einmal kann festgehalten werden, dass im Gerätevergleich in dieser Arbeit durch die Normierung der Dosisflächenprodukte die Gerätereihenfolge nach DFP in folgenden Unterklassen verändert wurde: Abdominelle Angiografie, PTA Unterschenkel, Stent Oberschenkel, Lysekontrolle (welche aber eine sehr geringe Durchleuchtungszeit aufweist und deshalb in der Artis Zeego – Darstellung auch

auf DSA -Serienanzahl genormt wurde) und Aortenstent. Letztlich sind also die Auswirkungen der Dosisnormierung in der Minderzahl auf das Gesamtkollektiv an Unterklassen in der vorliegenden Arbeit gesehen, dennoch kann die Fluoroskopiezeit als ein hinreichender Parameter für die Komplexität eines Eingriffes angesehen werden, wenn man die folgenden Schaubilder betrachtet, die das Verhältnis von Fluoroskopiezeit und Gesamt – bzw. DSA-Serienanzahl im Kollektiv der mit dem Artis Zeego untersuchten Patienten verdeutlichen (bei drei fehlenden Angaben zur DSA-Anzahl):



**Abb. 30: Gesamtserienanzahl ("Serien") nach Fluoroskopiezeit in Sekunden ("sec gesamt") (n=1017)**

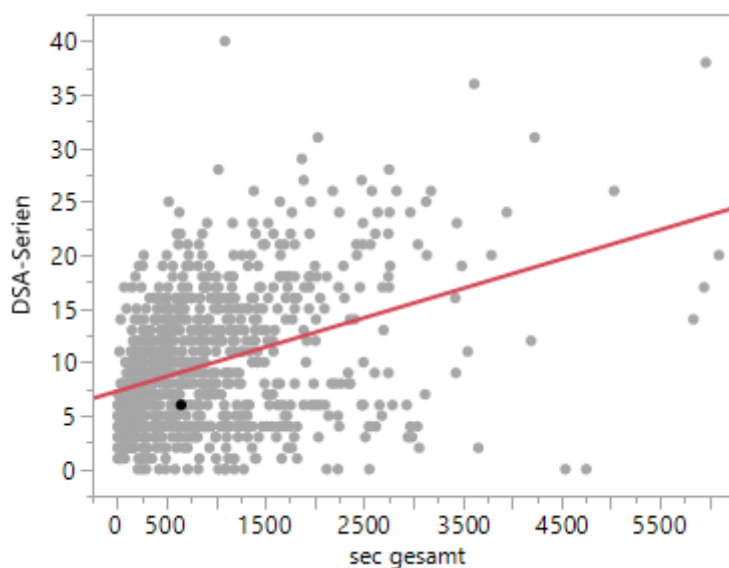


Abb. 31: DSA-Serien Zahl in Abhängigkeit von Fluoroskopiezeit in Sekunden ("sec gesamt") (n=1014)

### Geräteunterschiede nach Untergruppen und BMI-Gruppen - Fazit

Zur besseren Übersicht seien hier die wichtigsten Aussagen des Ergebnisteils bezüglich der ermittelten Geräteunterschiede in einer Tabelle zusammengefasst:

Tab. 9: Zusammenfassung der Geräteunterschiede über alle Klassen – AA: Axiom Artis – AZ: Artis Zeego – FT: Fluoroskop T.O.P.

Klasse 1a	AA signifikant höheres DFP als FT und AZ	Klasse 1 Normalgewicht	AA signifikant höheres DFP als FT und AZ
Klasse 1b	AA signifikant höheres DFP als FT	Klasse 1 Übergewicht	AA signifikant höheres DFP als FT
Klasse 1c	AA und AZ signifikant höheres DFP als FT	Klasse 1 Adipositas I	AA signifikant höheres DFP als FT
Klasse 2a	AZ signifikant höheres DFP als AA und FT	Klasse 2 Normalgewicht	AA und AZ signifikant höheres DFP als FT
	AA signifikant höheres DFP als FT	Klasse 2 Übergewicht	AZ signifikant höheres DFP als AA und FT
Klasse 2b	nicht signifikant		AA signifikant höheres DFP als FT
Klasse 2c	AA und AZ signifikant höheres DFP als FT	Klasse 2 Adipositas I	AZ signifikant höheres DFP als AA und FT
Klasse 3a	AA signifikant höheres DFP als AZ und FT	Klasse 3 Untergewicht	nicht signifikant
Klasse 3b	AA und AZ signifikant höheres DFP als FT	Klasse 3 Normalgewicht	nicht signifikant
Klasse 3c	AA und AZ signifikant höheres DFP als FT	Klasse 3 Übergewicht	AA und AZ signifikant höheres DFP als FT
Klasse 3d	AA signifikant höheres DFP als FT	Klasse 3 Adipositas I	nicht signifikant
Klasse 4a	AA signifikant höheres DFP als AZ und FT	Klasse 4 Normalgewicht	AA und AZ signifikant höheres DFP als FT
	AZ signifikant höheres DFP als FT	Klasse 4 Übergewicht	AA und AZ signifikant höheres DFP als FT
Klasse 4b	AA und AZ signifikant höheres DFP als FT	Klasse 4 Adipositas I	AA signifikant höheres DFP als FT
Klasse 5	nicht signifikant	Klasse 5 Normalgewicht	nicht signifikant
Klasse 6a	nicht signifikant	Klasse 5 Übergewicht	nicht signifikant
Klasse 6b	nicht signifikant	Klasse 6 Normalgewicht	nicht signifikant
		Klasse 6 Übergewicht	nicht signifikant

Beurteilt man nun den Unterschied nach den erzielten signifikanten Dosisunterschieden in den einzelnen Untergruppen anhand der Anzahl der in den einzelnen direkten Gerätevergleichen erzielten höheren Dosen gegenüber einem der beiden anderen Geräte, benötigt das Gerät Axiom Artis eindeutig am meisten Dosis von den drei Geräten. Anhand der obigen Tabelle lässt sich ablesen, dass der Axiom Artis in 14 Fällen ein signifikant höheres DFP als eins der beiden anderen Geräte erzielt, während es beim Zeego 8 sind. Geht man nach den Berechnungen im Abschnitt direkter Vergleich innerhalb BMI-Klassen, so zeigt sich, dass der Axiom Artis hier in 10 Direktvergleichen mehr als eins der beiden anderen Geräte strahlt, während es beim Artis Zeego 8 sind. Fasst man die Ergebnisse der im Ergebnisteil dargestellten Tabellen der Klassen eins bis vier, in denen zeitstandardisiert das DFP nach Gerät und BMI-Klasse sowie das Dosisverhältnis von Flachdetektor zu Bildverstärker angegeben worden war, für die BMI-Klassen mit mindestens fünf Fällen je Gerät zusammen, so kommt man zusammengenommen auf eine 3,01 – fache Dosis des Axiom Artis gegenüber dem Fluorospot T.O.P., während der Artis Zeego die 2,64 – fache Dosis des Fluorospot benötigt.

Nach den Ergebnissen der vorliegenden Studie also kann man zum Gesamturteil kommen, dass das Gerät Axiom Artis insgesamt in den Klassen 1 - 4, welche diejenigen mit überwiegend statistisch signifikanten Ergebnissen sind - abgesehen von einer Untergruppe, welche gleichzeitig die einzige Untergruppe in den Klassen 1 - 4 ist, in der nur ein Gerät mehr als zehn Fälle geliefert hat -, hier das Gerät mit der höchsten stochastischen Strahlenbelastung ist. In den Klassen 5 und 6, in denen generell niedrigere Fallzahlen auftreten, und bei denen ebenfalls keinerlei statistisch signifikantes Ergebnis zu eruieren war, kommt es jedoch aufgrund der Komplexität und Langwierigkeit der Eingriffe gerade z.B. bei TACE – und TIPSS- Interventionen, den wichtigsten Vertretern der Klassen fünf und sechs, zu höheren Dosen (Zweers et al., 1998) (Kohlbrenner et al., 2015). Hier wäre sicherlich eine speziell auf beispielsweise TACE – und TIPSS- Interventionen ausgelegte Studie mit höheren Fallzahlen sinnvoll.

Der Artis Zeego ist in den vergangenen Jahre in einigen Studien experimentell untersucht worden - (Schulz et al., 2012) und (Schuetze et al., 2018) – und

Andres (Andres et al., 2017) untersuchte darüber hinaus Dosisflächenprodukte bei verschiedenen Interventionen mit dem Zeego, jedoch ohne diese nach den Interventionsarten aufgeteilt anzugeben. Es wurde keine andere Studie gefunden in der das Gerät mit anderen Geräten in der Strahlenbelastung bei verschiedenen interventionellen Angiografien verglichen wurde. Es bleibt die schon von (Kirchner, 2015) bzw. (Wiesinger et al., 2013) / (Spira et al., 2016) ermittelte Feststellung, dass die Technologie des Flachdetektors zumindest in der interventionellen Radiologie mit einer deutlich erhöhten Strahlenexposition einhergehen kann. Dies haben auch schon andere experimentelle - (Tsapaki et al., 2005), (Wiesinger et al., 2012) - oder praxisnahe Studien - (Prasan et al., 2008) gezeigt. Einige andere Autoren fanden im Vergleich von Bildverstärker und Flachdetektor dagegen teilweise klare Vorteile bei der neueren Technologie. So z.B. (Weis et al., 2016), (Miraglia et al., 2015b), (Miraglia et al., 2013) oder (Kordolaimi et al., 2013).

Gründe, die erklären könnten, wieso die Flachdetektoren solch eine höhere Dosis aufwenden, könnten in der schlechteren Stent-Sichtbarkeit liegen mit dem Flachdetektor, die von unserer Arbeitsgruppe bereits im Vergleich Fluorospot T.O.P./ Axiom Artis demonstriert worden war (Wiesinger et al., 2012), mit dem Artis für die vorliegende Studie jedoch nicht durchgeführt wurde. Flachdetektoren sind auch in ihrer Ortsauflösung bei sehr großem und sehr kleinem field of view begrenzt und von der Größe des einzelnen Detektorelements (Pixels) abhängig (Nickoloff, 2011). Mindere Bildqualität könnte also zu einer Auswahl an höheren Doseinstellungen geführt haben, obwohl Flachdetektoren in der Theorie mit einer niedrigeren Dosis und einer besseren Bildqualität assoziiert werden (Nickoloff, 2011).

Dadurch, dass hier drei Geräte, die in der gleichen Abteilung verwendet worden sind, und eher Ähnlichkeiten in Abläufen von Interventionen, die von ihrer Natur her bereits sehr individuell sind, zu finden sind, sind die hier vorliegenden Ergebnisse doch zumindest vergleichbarer als Studien zwischen verschiedenen Ländern und können anderen Abteilungen, die mit denselben Geräten arbeiten, als verhältnismäßige Orientierungswerte dienen.

#### 4.9. BMI – Abhängigkeit generell

Bei den in Klasse 1-4 berechneten generellen BMI- Abhängigkeiten der Dosisflächenprodukte konnte durchgehend gezeigt werden, dass eine, teilweise sogar hochsignifikante, BMI- Abhängigkeit des DFP vorhanden ist, wie auch schon von Wiesinger und Kirchner gezeigt wurde (Wiesinger et al., 2013). Dies ist physikalisch gesehen auch nachvollziehbar, da mit einem höheren BMI in aller Regel auch ein größerer Körperdurchmesser vorliegt und damit auch ein längerer Weg für die Schwächung der Röntgenstrahlung verbunden ist, was eine Dosiserhöhung bedingt, um ein ausreichendes Signal auf dem Detektor zu hinterlassen (Nickoloff et al., 2007). Daher wird das Röntgengerät automatisch („AEC - automatic exposure control“) die Röhrenspannung erhöhen (Dalgleish et al., 2015), was in einer höheren Dosis resultiert (Faulkner et al., 1999). So wurden auch bereits in anderen Studien über Effekte von Adipositas auf die Dosis bei radiologischen Interventionen berichtet. Majewska et al. (Majewska et al., 2011b) berichten über einen BMI von  $> 25$  als Risikofaktor für eine erhöhte Strahlenexposition in EVAR- Implantationen. Shah et al. (Shah et al., 2015) fanden in ihrer Arbeit heraus, dass adipöse Patienten verglichen mit Normalgewichtigen einer mehr als doppelt so großen Dosis bei Koronarangiografien ausgesetzt sind. In Anbetracht der Tatsache, dass Adipöse gerade die Patientengruppe sind, die zu Gefäßerkrankungen neigen (Lovren et al., 2015), sollten diese Verhältnisse den Anwendern von ionisierender Strahlung besonders bewusst sein, insbesondere, da eine höhere Patientendosis auch eine erhöhte Exposition des Personals bedeutet (Andres et al., 2017), (Vano et al., 2006).

#### 4.10. Zugangsweg und Cone-Beam-CT

Fasst man die in dieser Erhebung gewonnenen Erkenntnisse zur Auswirkung des Punktionsortes bei Interventionen an den unteren Extremitäten zusammen, so lässt sich sagen, dass in 5 von 6 Untergruppen ein statistisch signifikanter Unterschied zugunsten einer gleichseitig zum Interventionsort erfolgenden, antegraden Punktion im Vergleich zur retrograden Punktion bzw. zugunsten einer einseitigen im Vergleich zur beidseitigen Beckenintervention festgestellt werden



konnte. In der Literatur wurden zu dieser Fragestellung keine direkten Vergleichswerte gefunden, im Gegensatz zu Studien aus dem Bereich Kardiologie, wo von keinen signifikanten Dosisunterschieden zwischen radialer und femoraler Punktion berichtet wird (Gray et al., 2015).

Was Untersuchungen zum Thema Dosisauswirkungen des Cone-Beam-CT Verfahrens angeht, findet hier rege Forschung statt. Boland (Boland et al., 2016) sah in der kathetergestützten Implantation von Aortenklappen mithilfe der 3D-Angiografie mit dem Artis Zeego keine erhöhte Dosis gegenüber der Implantation mit einem älteren Gerät ohne diese Funktion. Kothary (Kothary et al., 2011) fand eine DAP- Erhöhung bei der TACE mit 3D-Angiografie heraus, z.B. während der Ansteuerung des Ziels im Mittel von 34%, jedoch bei klinischem Mehrwert und stark erfahrungsabhängig. (Schulz et al., 2012) fanden bei einer experimentellen Studie mit dem Artis Zeego ebenfalls eine erhöhte Strahlenexposition mit der Cone-Beam CT heraus. Bei der vorliegenden Studie wurde zwar bei den zwei untersuchten Subgruppen TACE und TIPSS eine signifikante Dosiserhöhung mit der 3D- Angiografie festgestellt, jedoch bei sehr kleiner Patientenzahl.

#### 4.11. Fehlerquellen und Limitationen

Zunächst einmal sollen die potenziellen Fehlerquellen von der Datenakquise bis hin zur Datenauswertung beleuchtet werden. Daten, insbesondere über Menschen und deren medizinische Eingriffe, sind durchaus anfällig für Fehler. Bei der Aufnahme von Werten wie Größe und Gewicht verlässt man sich auf die Angabe von Patienten oder auch Einschätzungen von Kollegen, teilweise hat man in der vorliegenden Arbeit auch durchaus unterschiedliche Werte zu Größe und Gewicht für ein und denselben Patienten gefunden. Dabei wurden dann in aller Regel Mittelwerte berechnet. Jedoch entscheidet manchmal eine Nachkommastelle, in welche BMI-Klasse der Patient kommt. Auch die Ermittlung der Art von Intervention an sich ist fehleranfällig. Es hängt davon ab, ob der Eingriff vollständig und korrekt codiert und mit Bildern dokumentiert wurde, was für die Einteilung in die Untergruppen entscheidend war. Auch ist schon allein der interventionelle Eingriff an sich, z.B. durch unterschiedliche Gefäßanatomie, ein

kaum standardisierbarer Eingriff (Miller et al., 2009), selbst in prospektiven Studien. Jedoch hätte man in einer prospektiven oder experimentellen Studie zumindest besser vergleichbare Bedingungen bei den Geräten schaffen können. Man hätte z.B. immer die gleiche Fluoroskopierate, denselben Filter, dieselbe Röhrenspannung etc. einstellen können. Außerdem spielt es auch eine Rolle, dass die Daten vom Bildverstärker bzw. Axiom Artis und Artis Zeego von unterschiedlichen Personen erhoben wurden. Zudem spielen natürlich simple Übertragungsfehler eine Rolle, die jedoch durch mehrfache Kontrollen der Werte versucht wurden, zu verhindern. Theoretisch sind auch Rechenfehler in Excel und JMP möglich sowie Fehler beim Erstellen der Grafiken. Und selbstverständlich ist es auch möglich, dass die Patientenkollektive, die mit den jeweiligen Geräten untersucht wurden, nicht wirklich vergleichbar sind und dass die Untergruppen, die miteinander verglichen wurden, nicht zu hundert Prozent auf die gleiche Weise ermittelt wurden. Ein weiterer Faktor sind mit Sicherheit auch die Punkte Erfahrung des interventionellen Radiologen und der Unterschied zwischen Notfall- und Elektiveingriff. Im Notfall wird weniger Wert auf korrekte Ermittlung von Größe und Gewicht sowie möglicherweise nicht vollumfänglich an alle Möglichkeiten zur Dosisersparung gedacht. Limitationen der Studie sind auch die relativ kleinen Fallzahlen, insbesondere, was die diagnostischen Interventionen mit dem Artis Zeego und die Klassen fünf und sechs angeht, und die Tatsache, dass in die dokumentierte Durchleuchtungsdauer sehr wahrscheinlich, soweit es die Autorin beurteilen konnte, nur die Fluoroskopiezeiten eingegangen sind, und nicht die Dauer der DSA- Serien, die, obwohl von kurzer Dauer, einen nicht unerheblichen Anteil der Gesamtdosis ausmachen (s.o.). Jedoch wäre es zu unübersichtlich gewesen, die Dosis zusätzlich auf die Serienanzahl zu standardisieren. Wie haben die praktikabelsten Methoden zur Herstellung der Vergleichbarkeit zwischen den Geräten, die es einer retrospektiven Studie möglich war, gewählt, müssen jedoch erwähnen, dass es viele weitere Faktoren gibt, die bei der Dosis eine Rolle spielen: die Erfahrung des Behandlers (Kothary et al., 2011), das „field of view“ und der Zoom (Balter, 1999), der Abstand des Detektors zum Brennpunkt und zum Patienten und die Fluoroskopierate (Stecker et al., 2009). Wie bereits

erwähnt, kann solch ein Angiografiegerät auch unterschiedliche benutzerspezifische Softwarekonfigurationen aufweisen, wie z.B. die CARE-Technologie von Siemens. Software kann zu einer Dosisreduktion beitragen (Bracken et al., 2015). Weiterhin lassen sich die intrinsischen Messungen, wie in der Beschreibung der vergleichenden Dosismessung erwähnt, nicht ganz vergleichen. Der Artis Zeego hatte intrinsisch zu wenig, die anderen beiden Geräte zu viel Dosis angegeben. Auch andere Autoren berichten von Ungenauigkeiten bei intrinsischen Messungen (Balter et al., 2004).

Insgesamt sind die Daten, auf denen die Studie basiert, der Praxis entsprungen und einigen Unsicherheiten unterworfen, jedoch ist es die tatsächliche Dosis, die in der Praxis gemessen wird, die letztlich Auswirkungen auf Patienten und Personal hat. Auch lassen sich in experimentellen Studien gewonnene Erkenntnisse zur Dosis nicht unbedingt auf an reellen Patienten durchgeführten Interventionen übertragen (Trianni et al., 2005). Die hier vorliegenden Datenerhebungen sind zwar nicht vollständig mit anderen Angiografie Abteilungen und Zeego Geräten vergleichbar, bieten jedoch eine erste Orientierung für Arbeitende mit dem Artis Zeego und sollten mit aktuellen Geräten wiederholt werden, um eine konstante Vigilanz im Strahlenschutz sicherzustellen.

## 5. Zusammenfassung

Die Verwendung moderner Flachdetektoren in der medizinischen Diagnostik und Therapie von Gefäßpathologien ist aus der modernen Medizin nicht mehr wegzudenken. Technische Unterschiede zwischen den jahrzehntelang verwendeten Bildverstärker Systemen und den etwa seit zwei Jahrzehnten Einzug haltenden Flachdetektoren sind substantiell. Neue Generationen von roboterähnlichen mit Flachbilddetektor arbeitenden Angiografie Systemen sind auf dem Markt und sollten in ihrer Röntgendosisaufwendung im Vergleich zu etablierten Technologien bewertet werden. Verschiedenste Studien zum Vergleich von Bildverstärker Systemen und Flachdetektor Systemen sind durchgeführt worden, sind aber limitiert in ihrer Anzahl, was periphere angiografische Interventionen und das Gerät Artis Zeego von Siemens betrifft. In einer Vorgängerstudie derselben Arbeitsgruppe sind deutliche Dosisnachteile des Flachdetektors Axiom Artis gegenüber dem Bildverstärker System Fluorospot T.O.P. festgestellt worden. Bei der vorliegenden Studie sollte das Gerät Artis Zeego in seiner Dosisperformance im Vergleich zu den beiden älteren Geräten und in Abhängigkeit von den Faktoren Fluoroskopiezeit, BMI, Zugangsweg und Anwendung der Cone Beam CT- Technologie analysiert werden. Die erhobenen Ergebnisse sprechen dafür, dass auch das moderne Gerät immer noch erheblich mehr an Dosisflächenprodukt generiert als der Bildverstärker, jedoch etwas besser als der Axiom Artis ist (3,01-fache Dosis des Axiom Artis und 2,64 – fache Dosis des Artis Zeego, jeweils gegenüber Fluorospot T.O.P.). Es konnte darüber hinaus in weiten Teilen eine signifikante BMI – Abhängigkeit des Dosisflächenproduktes sowie eine signifikante Dosiserhöhung mit der retrograden Punktion der Leiste, der beidseitigen Beckenintervention und der Anwendung der Cone Beam CT gezeigt werden. Was die Angiografieabteilung der Universitätsklinik Tübingen betrifft, ist eine Tendenz zur Verbesserung der historisch gesehen immer noch relativ neuen Flachdetektoren da und eine Analyse wie die vorliegende sollte mit heute noch aktuelleren Flachdetektoren wieder durchgeführt werden.

## 6. Literaturverzeichnis

- ANDRES, C., PEREZ-GARCIA, H., AGULLA, M., TORRES, R., MIGUEL, D., DEL CASTILLO, A., FLOTA, C. M., ALONSO, D., DE FRUTOS, J. & VAQUERO, C. 2017. Patient doses and occupational exposure in a hybrid operating room. *Phys Med*, 37, 37-42.
- BALTER, S. 1999. X-ray image intensifier. *Catheter Cardiovasc Interv*, 46, 238-44.
- BALTER, S. 2001. *Interventional fluoroscopy: physics, technology, safety*, New York, Wiley- Liss.
- BALTER, S. & MILLER, D. L. 2014. Patient skin reactions from interventional fluoroscopy procedures. *AJR Am J Roentgenol*, 202, W335-42.
- BALTER, S., SCHUELER, B. A., MILLER, D. L., COLE, P. E., LU, H. T., BERENSTEIN, A., ALBERT, R., GEORGIA, J. D., NOONAN, P. T., RUSSELL, E. J., MALISCH, T. W., VOGELZANG, R. L., GEISINGER, M., CARDELLA, J. F., ST GEORGE, J., MILLER, G. L., 3RD & ANDERSON, J. 2004. Radiation doses in interventional radiology procedures: the RAD-IR Study. Part III: Dosimetric performance of the interventional fluoroscopy units. *J Vasc Interv Radiol*, 15, 919-26.
- BARILE-FABRIS, L., HERNÁNDEZ-CABRERA, M. F. & BARRAGAN-GARFIAS, J. A. 2014. Vasculitis in systemic lupus erythematosus. *Curr Rheumatol Rep*, 16, 440.
- BENDER, R. 2007. Wichtige Signifikanztests. *Dtsch Med Wochenschr.* , 132: e24-e25.
- BOLAND, J. E., WANG, L. W., LOVE, B. J., CHRISTOFI, M. & MULLER, D. W. 2016. Impact of New-generation Hybrid Imaging Technology on Radiation Dose during Percutaneous Coronary Interventions and Trans-femoral Aortic Valve Implantations: A comparison with conventional flat-plate angiography. *Heart Lung Circ.*
- BRACKEN, J. A., MAUTI, M., KIM, M. S., MESSENGER, J. C. & CARROLL, J. D. 2015. A Radiation Dose Reduction Technology to Improve Patient Safety During Cardiac Catheterization Interventions. *J Interv Cardiol*, 28, 493-7.
- COUSINS, C., MILLER, D. L., BERNARDI, G., REHANI, M. M., SCHOFIELD, P., VAÑÓ, E., EINSTEIN, A. J., GEIGER, B., HEINTZ, P., PADOVANI, R. & SIM, K. H. 2013. ICRP PUBLICATION 120: Radiological protection in cardiology. *Ann ICRP*, 42, 1-125.
- COWEN, A. R., KENGYELICS, S. M. & DAVIES, A. G. 2008. Solid-state, flat-panel, digital radiography detectors and their physical imaging characteristics. *Clin Radiol*, 63, 487-98.
- DALGLEISH, S., HINCE, A. & FINLAYSON, D. F. 2015. Peri-operative radiation exposure: Are overweight patients at increased risks? *Injury*, 46, 2448-51.
- DARLING, J. D., MCCALLUM, J. C., SODEN, P. A., KOREPTA, L., GUZMAN, R. J., WYERS, M. C., HAMDAN, A. D. & SCHERMERHORN, M. L. 2017. Results for primary bypass versus

- primary angioplasty/stent for lower extremity chronic limb-threatening ischemia. *J Vasc Surg*, 66, 466-475.
- DAVIES, A. G., COWEN, A. R., KENGYELICS, S. M., MOORE, J. & SIVANANTHAN, M. U. 2007. Do flat detector cardiac X-ray systems convey advantages over image-intensifier-based systems? Study comparing X-ray dose and image quality. *Eur Radiol*, 17, 1787-94.
- DAWBERT, T. R. & THOMAS, H. E., JR. 1968. Prophylaxis of coronary heart disease, stroke, and peripheral atherosclerosis. *Ann N Y Acad Sci*, 149, 1038-57.
- DGA, D. G. F. A.-G. F. G. E. V. 2017. *S3- Leitlinie zur Diagnostik, Therapie und Nachsorge der peripheren arteriellen Verschlusskrankheit (PAVK)* [Online]. Available: [https://www.dga-gefaessmedizin.de/uploads/media/Pocketleitlinie\\_PAVK\\_2017\\_Internet\\_.pdf](https://www.dga-gefaessmedizin.de/uploads/media/Pocketleitlinie_PAVK_2017_Internet_.pdf) [Accessed 20.05.2020].
- ETIENNE SZIVO: SIEMENS HEALTHCARE GMBHMARKETING, S. O. C. 2016. [https://static.healthcare.siemens.com/siemens\\_hwem-hwem\\_sxxa\\_websites-context-root/wcm/idc/groups/public/@de/@press/documents/download/mda3/ndi5/~edisp/pr2016110085hcde-04470855.pdf](https://static.healthcare.siemens.com/siemens_hwem-hwem_sxxa_websites-context-root/wcm/idc/groups/public/@de/@press/documents/download/mda3/ndi5/~edisp/pr2016110085hcde-04470855.pdf).
- FAULKNER, K., BROADHEAD, D. A. & HARRISON, R. M. 1999. Patient dosimetry measurement methods. *Appl Radiat Isot*, 50, 113-23.
- GRAY, B., KLIMIS, H., INAM, S., ARIYATHNA, N., KUMAR, S., BAILEY, B. & PATEL, S. 2015. Radiation exposure during cardiac catheterisation is similar for both femoral and radial approaches. *Heart Lung Circ*, 24, 264-9.
- HONARMAND, A. R., SHAIBANI, A., PASHAEE, T., SYED, F. H., HURLEY, M. C., SAMMET, C. L., POTTS, M. B., JAHROMI, B. S. & ANSARI, S. A. 2016. Subjective and objective evaluation of image quality in biplane cerebral digital subtraction angiography following significant acquisition dose reduction in a clinical setting. *J Neurointerv Surg*.
- HU, J., ALBADAWI, H., CHONG, B. W., DEIPOLYI, A. R., SHETH, R. A., KHADEMHOSEINI, A. & OKLU, R. 2019. Advances in Biomaterials and Technologies for Vascular Embolization. *Adv Mater*, 31, e1901071.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, T. 2004. Managing patient dose in digital radiology. A report of the International Commission on Radiological Protection. *Ann ICRP*, 34, 1-73.
- KETTELER, E. R. & BROWN, K. R. 2011. Radiation exposure in endovascular procedures. *J Vasc Surg*, 53, 35s-38s.
- KIRCHNER, S., -. 2015. *Retrospektive Dosisanalyse der gängigen radiologischen Interventionen in Abhängigkeit von Serienanzahl, Interventionsdauer und BMI zur Ermittlung des Dosisflächenproduktes in der interventionellen Praxis*. Hochschulschrift.

- KOCINAJ, D., CIOPPA, A., AMBROSINI, G., TESORIO, T., SALEMME, L., SORROPAGO, G., RUBINO, P. & PICANO, E. 2006. Radiation dose exposure during cardiac and peripheral arteries catheterisation. *Int J Cardiol*, 113, 283-4.
- KOHLBRENNER, R., KOLLI, K. P., TAYLOR, A. G., KOHI, M. P., FIDELMAN, N., LABERGE, J. M., KERLAN, R. K., AGARWAL, V. K., LEHRMAN, E. D., NANAVATI, S., AVRIN, D. E. & GOULD, R. 2015. Patient Radiation Dose Reduction during Transarterial Chemoembolization Using a Novel X-Ray Imaging Platform. *J Vasc Interv Radiol*, 26, 1331-8.
- KORDOLAIMI, S. D., SALVARA, A. L., ANTONAKOS, I., TSALAFOUTAS, I. A., BROUTZOS, E. & EFSTATHOPOULOS, E. P. 2013. Comparative performance evaluation of a flat detector and an image intensifier angiographic system both used for interventional cardiology procedures in adult and pediatric patients. *Phys Med*, 29, 178-87.
- KOTHARY, N., ABDELMAKSOU, M. H., TOGNOLINI, A., FAHRIG, R., ROSENBERG, J., HOVSEPIAN, D. M., GANGULY, A., LOUIE, J. D., KUO, W. T., HWANG, G. L., HOLZER, A., SZE, D. Y. & HOFMANN, L. V. 2011. Imaging guidance with C-arm CT: prospective evaluation of its impact on patient radiation exposure during transhepatic arterial chemoembolization. *J Vasc Interv Radiol*, 22, 1535-43.
- KUDO, T., CHANDRA, F. A., KWUN, W. H., HAAS, B. T. & AHN, S. S. 2006. Changing pattern of surgical revascularization for critical limb ischemia over 12 years: endovascular vs. open bypass surgery. *J Vasc Surg*, 44, 304-13.
- LAWALL, H., HUPPERT, P., ESPINOLA-KLEIN, C. & RUMENAPF, G. 2016. The Diagnosis and Treatment of Peripheral Arterial Vascular Disease. *Dtsch Arztebl Int*, 113, 729-736.
- LENCIONI, R., PETRUZZI, P. & CROCETTI, L. 2013. Chemoembolization of hepatocellular carcinoma. *Semin Intervent Radiol*, 30, 3-11.
- LITYNSKI, G. S. 1999. Profiles in laparoscopy: Mouret, Dubois, and Perissat: the laparoscopic breakthrough in Europe (1987-1988). *Jsls*, 3, 163-7.
- LOHNINGER, H. 2012. [http://www.statistics4u.info/fundstat\\_germ/ee\\_welch\\_test.html](http://www.statistics4u.info/fundstat_germ/ee_welch_test.html) [Online]. [Accessed 15.10.2019].
- LOVREN, F., TEOH, H. & VERMA, S. 2015. Obesity and atherosclerosis: mechanistic insights. *Can J Cardiol*, 31, 177-83.
- MAJEWSKA, N., BLASZAK, M. A., JUSZKAT, R., FRANKIEWICZ, M., MAKALOWSKI, M. & MAJEWSKI, W. 2011a. Patients' radiation doses during the implantation of stents in carotid, renal, iliac, femoral and popliteal arteries. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 41, 372-7.
- MAJEWSKA, N., STANISIC, M. G., BLASZAK, M. A., JUSZKAT, R., FRANKIEWICZ, M., KRASINSKI, Z., MAKALOWSKI, M. & MAJEWSKI, W. 2011b. Clinical factors increasing radiation doses to patients undergoing long-lasting procedures: abdominal stent-graft implantation. *Med Sci Monit*, 17, Mt97-103.
- MAŁECKI, R., ZDROJOWY, K. & ADAMIEC, R. 2009. Thromboangiitis obliterans in the 21st century--a new face of disease. *Atherosclerosis*, 206, 328-34.

- MASSMANN, A., RODT, T., MARQUARDT, S., SEIDEL, R., THOMAS, K., WACKER, F., RICHTER, G. M., KAUCZOR, H. U., BÜCKER, A., PEREIRA, P. L. & SOMMER, C. M. 2015. Transarterial chemoembolization (TACE) for colorectal liver metastases--current status and critical review. *Langenbecks Arch Surg*, 400, 641-59.
- MILLER, D. L., BALTER, S., COLE, P. E., LU, H. T., BERENSTEIN, A., ALBERT, R., SCHUELER, B. A., GEORGIA, J. D., NOONAN, P. T., RUSSELL, E. J., MALISCH, T. W., VOGELZANG, R. L., GEISINGER, M., CARDELLA, J. F., GEORGE, J. S., MILLER, G. L., 3RD & ANDERSON, J. 2003a. Radiation doses in interventional radiology procedures: the RAD-IR study: part II: skin dose. *J Vasc Interv Radiol*, 14, 977-90.
- MILLER, D. L., BALTER, S., COLE, P. E., LU, H. T., SCHUELER, B. A., GEISINGER, M., BERENSTEIN, A., ALBERT, R., GEORGIA, J. D., NOONAN, P. T., CARDELLA, J. F., ST GEORGE, J., RUSSELL, E. J., MALISCH, T. W., VOGELZANG, R. L., MILLER, G. L., 3RD & ANDERSON, J. 2003b. Radiation doses in interventional radiology procedures: the RAD-IR study: part I: overall measures of dose. *J Vasc Interv Radiol*, 14, 711-27.
- MILLER, D. L., KWON, D. & BONAVIA, G. H. 2009. Reference levels for patient radiation doses in interventional radiology: proposed initial values for U.S. practice. *Radiology*, 253, 753-64.
- MIRAGLIA, R., MARUZZELLI, L., CORTIS, K., D'AMICO, M., FLORIDIA, G., GALLO, G., TAFARO, C. & LUCA, A. 2015a. Radiation Exposure in Transjugular Intrahepatic Portosystemic Shunt Creation. *Cardiovasc Intervent Radiol*.
- MIRAGLIA, R., MARUZZELLI, L., CORTIS, K., PIAZZA, M., GERASIA, R., MAGGIO, S., TUZZOLINO, F. & LUCA, A. 2015b. Comparison between radiation exposure levels using an image intensifier and a flat-panel detector-based system in image-guided central venous catheter placement in children weighing less than 10 kg. *Pediatr Radiol*, 45, 235-40.
- MIRAGLIA, R., MARUZZELLI, L., TUZZOLINO, F., INDOVINA, P. L. & LUCA, A. 2013. Radiation exposure in biliary procedures performed to manage anastomotic strictures in pediatric liver transplant recipients: comparison between radiation exposure levels using an image intensifier and a flat-panel detector-based system. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 36, 1670-1676.
- NICKOLOFF, E. L. 2011. AAPM/RSNA physics tutorial for residents: physics of flat-panel fluoroscopy systems: Survey of modern fluoroscopy imaging: flat-panel detectors versus image intensifiers and more. *Radiographics*, 31, 591-602.
- NICKOLOFF, E. L., LU, Z. F., DUTTA, A., SO, J., BALTER, S. & MOSES, J. 2007. Influence of flat-panel fluoroscopic equipment variables on cardiac radiation doses. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 30, 169-76.
- O'NEILL, B. J., RANA, S. N. & BOWMAN, V. 2015. An integrated approach for vascular health: a call to action. *Can J Cardiol*, 31, 99-102.



- PITTON, M. B., KLOECKNER, R., SCHNEIDER, J., RUCKES, C., BERSCH, A. & DUBER, C. 2012. Radiation exposure in vascular angiographic procedures. *J Vasc Interv Radiol*, 23, 1487-95.
- PRASAN, A. M., ISON, G. & REES, D. M. 2008. Radiation exposure during elective coronary angioplasty: the effect of flat-panel detection. *Heart Lung Circ*, 17, 215-9.
- RANA, B. S., KUMAR, S., AHUJA, C. K., SINGH, N. P., YADAV, M. K. & SANDHU, I. S. 2018. ESTIMATION OF RADIATION EXPOSURE TO THE PATIENTS IN DIAGNOSTIC AND THERAPEUTIC INTERVENTIONAL PROCEDURES. *Radiat Prot Dosimetry*, 181, 290-300.
- RICHTER, P. H. & GEBHARD, F. 2013. [The interdisciplinary hybrid operation theatre. Current experience and future]. *Chirurg*, 84, 1036-40.
- SAS INSTITUTE INC., T. <https://www JMP.com/support/help/14-2/all-pairs-tukey-hsd.shtml#156331> [Online]. [Accessed 06.08.2020].
- SCHUETZE, K., KRAUS, M., EICKHOFF, A., GEBHARD, F. & RICHTER, P. H. 2018. Radiation exposure for intraoperative 3D scans in a hybrid operating room: how to reduce radiation exposure for the surgical team. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 13, 1291-1300.
- SCHULZ, B., HEIDENREICH, R., HEIDENREICH, M., EICHLER, K., THALHAMMER, A., NAEEM, N. N., VOGL, T. J. & ZANGOS, S. 2012. Radiation exposure to operating staff during rotational flat-panel angiography and C-arm cone beam computed tomography (CT) applications. *Eur J Radiol*, 81, 4138-42.
- SCHUMANN, R., RIEGER, J. & LUDWIG, M. 2007. [Acute peripheral arterial occlusive disease]. *Med Klin (Munich)*, 102, 457-71; quiz 472-3.
- SEIBERT, J. A. 2006. Flat-panel detectors: how much better are they? *Pediatr Radiol*, 36 Suppl 2, 173-81.
- SEIFERT, H., EL-JAMAL, A., ROTH, R., URBANCZYK, K. & KRAMANN, B. 2000. [Reduction of the radiation exposure of patients caused by selected interventional and angiographic procedures]. *Rofo*, 172, 1057-64.
- SERNA SANTOS, J., UUSI-SIMOLA, J., KAASALAINEN, T., AHO, P. & VENERMO, M. 2020. Radiation Doses to Staff in a Hybrid Operating Room: An Anthropomorphic Phantom Study with Active Electronic Dosimeters. *Eur J Vasc Endovasc Surg*.
- SHAH, A., DAS, P., SUBKOVAS, E., BUCH, A. N., REES, M. & BELLAMY, C. 2015. Radiation dose during coronary angiogram: relation to body mass index. *Heart Lung Circ*, 24, 21-5.
- SIEMENS AG, M. S. 2008. [https://www.medica.de/de/News/Archiv/Artis\\_zeego\\_von\\_Siemens\\_bringt\\_Flexibilit%C3%A4t\\_in\\_die\\_Angiographie](https://www.medica.de/de/News/Archiv/Artis_zeego_von_Siemens_bringt_Flexibilit%C3%A4t_in_die_Angiographie) [Online]. [Accessed 08.08.2020].
- SIEMENS AG, M. S. A. A. I. X.-R. S. 2014. *Data Sheet VC21 Artis Zeego multi-axis system for interventional imaging* [Online]. [Accessed 28.03.2020].

- SPAHN, M. 2005. Flat detectors and their clinical applications. *Eur Radiol*, 15, 1934-47.
- SPAHN, M., HEER, V. & FREYTAG, R. 2003. Flachbilddetektoren in der Röntgendiagnostik. *Der Radiologe*, 43, 340-350.
- SPIRA, D., KIRCHNER, S., BLUMENSTOCK, G., HERZ, K., KETELSEN, D., WISKIRCHEN, J. & WIESINGER, B. 2016. Therapeutic angiographic procedures: differences in dose area product between analog image intensifier and digital flat panel detector. *Acta Radiol*, 57, 587-94.
- STECKER, M. S., BALTER, S., TOWBIN, R. B., MILLER, D. L., VAÑÓ, E., BARTAL, G., ANGLE, J. F., CHAO, C. P., COHEN, A. M., DIXON, R. G., GROSS, K., HARTNELL, G. G., SCHUELER, B., STATLER, J. D., DE BAÈRE, T. & CARDELLA, J. F. 2009. Guidelines for patient radiation dose management. *J Vasc Interv Radiol*, 20, S263-73.
- TEPE, G., SCHMEHL, J., HELLER, S., WIESINGER, B., CLAUSSEN, C. D. & DUDA, S. H. 2006. Superficial femoral artery: current treatment options. *Eur Radiol*, 16, 1316-22.
- TRIANNI, A., BERNARDI, G. & PADOVANI, R. 2005. Are new technologies always reducing patient doses in cardiac procedures? *Radiat Prot Dosimetry*, 117, 97-101.
- TSAPAKI, V., KOTTOU, S., KOLLAROS, N., KYRIAKIDIS, Z. & NEOFOTISTOU, V. 2005. Comparison of a CCD and a flat-panel digital system in an Interventional Cardiology Laboratory. *Radiat Prot Dosimetry*, 117, 93-6.
- UNIVERSITÄTSKLINIKUM HEIDELBERG, D. 2010. [https://www.klinikum.uni-heidelberg.de/fileadmin/pressestelle/PM\\_neu/10.11.2010\\_PM\\_143\\_Hybrid-OP\\_Teil\\_II.pdf](https://www.klinikum.uni-heidelberg.de/fileadmin/pressestelle/PM_neu/10.11.2010_PM_143_Hybrid-OP_Teil_II.pdf) [Online]. [Accessed 22.07.2020].
- VAN DEN HAAK, R. F., HAMANS, B. C., ZUURMOND, K., VERHOEVEN, B. A. & KONING, O. H. 2015. Significant Radiation Dose Reduction in the Hybrid Operating Room Using a Novel X-ray Imaging Technology. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 50, 480-6.
- VANO, E., GONZALEZ, L., FERNANDEZ, J. M., PRIETO, C. & GUIBELALDE, E. 2006. Influence of patient thickness and operation modes on occupational and patient radiation doses in interventional cardiology. *Radiat Prot Dosimetry*, 118, 325-30.
- VARGHESE, A., KESHAVA, S. N., MOSES, V., KOSHY, G., MAMMEN, S., AHMED, M. & LIVINGSTONE, R. S. 2019. Radiation dose reference card for interventional radiology procedures: Experience in a tertiary referral centre. *Indian J Radiol Imaging*, 29, 247-252.
- WEIS, M., HAGELSTEIN, C., DIEHM, T., SCHOENBERG, S. O. & NEFF, K. W. 2016. Comparison of image quality and radiation dose between an image-intensifier system and a newer-generation flat-panel detector system — technical phantom measurements and evaluation of clinical imaging in children. *Pediatr Radiol*, 46, 286-92.
- WHO EXPERT CONSULTATION, T. 2004. Appropriate body-mass index for Asian populations and its implications for policy and intervention strategies. *Lancet*, 363, 157-63.

- WIESINGER, B., KIRCHNER, S., BLUMENSTOCK, G., HERZ, K., SCHMEHL, J., CLAUSSEN, C. D. & WISKIRCHEN, J. 2013. Difference in dose area product between analog image intensifier and digital flat panel detector in peripheral angiography and the effect of BMI. *Rofo*, 185, 153-9.
- WIESINGER, B., STUTZ, A., SCHMEHL, J., CLAUSSEN, C. D. & WISKIRCHEN, J. 2012. Comparison of digital flat-panel detector and conventional angiography machines: evaluation of stent detection rates, visibility scores, and dose-area products. *AJR Am J Roentgenol*, 198, 946-54.
- ZURCHER, K. S., NAIDU, S. G., MONEY, S. R., STONE, W. M., FOWL, R. J., KNUTTINEN, G., OKLU, R., ROTELLINI COLTVET, L. A., CRAWFORD, D., BURAS, M. R. & PAVLICEK, W. 2020. Dose Reduction Using Digital Fluoroscopy Versus Digital Subtraction Angiography in EVAR: A Prospective Randomized Trial. *J Vasc Surg*.
- ZWEERS, D., GELEIJNS, J., AARTS, N. J., HARDAM, L. J., LAMÉRIS, J. S., SCHULTZ, F. W. & SCHULTZE KOOL, L. J. 1998. Patient and staff radiation dose in fluoroscopy-guided TIPS procedures and dose reduction, using dedicated fluoroscopy exposure settings. *Br J Radiol*, 71, 672-6.

## 7. Erklärung zum Eigenanteil

Die Idee zu der Studie als Fortführung der vorangegangenen Studie stammt von Prof. Dr. Benjamin Wiesinger.

Die Datenerhebung wurde die Daten für das Gerät Artis Zeego betreffend durch die Autorin durchgeführt. Die Daten für die Geräte Fluorospot T.O.P. und Axiom Artis wurden der Autorin von Prof. Dr. Benjamin Wiesinger und Dr. med. dent. Sebastian Kirchner zur Verfügung gestellt bzw. durch Letzteren erhoben.

Die vergleichende Dosismessung am Gerät Artis Zeego wurde von Herr Dipl.-Phys. Klaus Herz durchgeführt.

Die statistischen Auswertungen wurden nach ausführlicher Beratung und Aufzeigen von Beispielberechnungen durch Herr. Dr. Gunnar Blumenstock von der Autorin erstellt.

Für die Grafiken wurde die Autorin von Frau Doris Guéron beraten.

Ich versichere, die Dissertationsschrift eigenständig verfasst zu haben, und keine weiteren als die angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Pforzheim, den 10.08.2020

## Danksagung

Ganz herzlich möchte ich mich bei meinem Doktorvater Prof. Dr. Benjamin Wiesinger bedanken, der all die Jahre Geduld mit mir bewiesen hat, und mich wieder auf den richtigen Weg gebracht hat, wenn ich mich in Details verzettelte oder ans Aufgeben dachte.

Großer Dank gebührt auch Herrn Dr. Gunnar Blumenstock, der mir selbst die einfachsten Sachverhalte der Statistik erklärte.

Vielen Dank auch an Herrn Dipl.-Phys. Klaus Herz für die Unterstützung mithilfe der Messung und das geduldige Erklären.

Sehr dankbar bin ich auch meiner Mutter und meinen Freundinnen, die jahrelang mit mir nicht aufgegeben und für mich gebetet haben.

# Anhang

Tab. 10: Auszug aus der Excel-Masterfile

Pat.-ID	Datum	Serien	DSA-Se	min	sec	sec	gesamt	DFP (cGy*cm <sup>2</sup> )	Intervention	Kirchner-Sakota-Klasse	Interv	Inter	Größe (m)	Gewicht (kg)	BMI
349053	27.02.2014	9	8	1	54	114	1257	AGAbdomen, Becken, Bein	1a	AG Becken+Bein	1a	1	1,78	73	23,04
O59812	21.03.2014	5	5	1	12	72	595	AGAbdomen + Becken + Bein	1a	AG Becken+Bein	1a	1	1,86	83	23,99
E05844	23.04.2014	8	6	4	18	258	3562	AGAbdomen, Becken, Bein	1a	AG Becken+Bein	1a	1	1,85	125	36,52
D05069	10.04.2014	6	3	1	42	102	500	AGAbdomen + Becken + Bein	1a	AG Becken+Bein	1a	1	1,57	50	20,28
203496	06.07.2015	9	6	6	6	366	2387	AGAbdomen + Becken + Bein	1a	AG Becken+Bein	1a	1	1,64	61	22,68
333854	21.10.2014	11	9	8	30	510	2837	AG1 Bein, Becken + Abdomen	1a	AG Becken+Bein	1a	1	1,68	70	24,8
219340	20.10.2014	7	5	6	24	384	1498	AG1 Bein, Becken + Abdomen	1a	AG Becken+Bein	1a	1	1,66	58	21,05
O97293	06.11.2014	9	8	3	0	180	1963	AGBein, Becken, Abdomen	1a	AG Becken+Bein	1a	1	1,68	76	26,93
O16962	18.05.2015	13	12	12	36	756	10889	AGBein+Becken; SSA (All/AFC/1a	1a	AG Becken+Bein	1a	1	1,58	60	24,03
E86424	18.03.2015	8	5	8	54	534	2261	AGBecken, Abdomen, Bein	1a	AG Becken+Bein	1a	1	1,8	95,9	29,6
675757	13.05.2015	5	5	2	36	156	203	AGAbdomen, Becken, Bein	1a	AG Becken+Bein	1a	1	1,64	53	19,71
E16632	26.06.2014	6	6	4	0	240	1100	AGAbdomen, Becken, Bein	1a	AG Becken+Bein	1a	1	1,7	69	23,88
O88863	04.06.2014	5	5	2	54	174	1792	AGAbdomen, Becken, Bein	1a	AG Becken+Bein	1a	1	1,67	78	27,97
E20439	07.08.2014	6	5	3	6	186	2343	AGBein + Becken + Abdomen	1a	AG Becken+Bein	1a	1	1,7	127,5	44,12
B22221	28.01.2014	11	10	11	54	714	11003	AGAbdomen, Becken; Beine	1a	AG Becken+Beine	1a	1	1,7	95	32,87
O65312	10.02.2014	8	8	6	0	360	621	AGAbdomen, Becken, Beine	1a	AG Becken+Beine	1a	1	1,55	48	19,98

1	DSA	847mA	FIXED	TIPSS	0.3CL large	0.0Cu	32cm	948.16µGym²	3s	2F/s	03-Jul-15 13:52:00	
A	79kV		72.9ms					55.6mGy			2RAO 0CRA 7F	
3	DSA	850mA	FIXED	TIPSS	0.4CL large	0.0Cu	32cm	1527.8µGym²	8s	2F/s	03-Jul-15 14:02:06	
A	79kV		72.9ms					119mGy			2RAO 0CRA 15F	
4	DSA	867mA	FIXED	TIPSS	0.5CL large	0.0Cu	32cm	1298.0µGym²	6s	2F/s	03-Jul-15 14:03:07	
A	77kV		72.9ms					102mGy			2RAO 0CRA 13F	
8	DSA	441mA	FIXED	TIPSS	0.6CL small	0.0Cu	48cm	560.92µGym²	3s	2F/s	03-Jul-15 14:28:58	
A	70kV		68.0ms					15.5mGy			2RAO 0CRA 6F	
9	DSA	431mA	FIXED	TIPSS	0.6CL small	0.0Cu	48cm	100.55µGym²	*****	single	03-Jul-15 14:29:20	
A	70kV		74.8ms					2.8mGy			2RAO 0CRA 1F	
*Aufsummierte Strahlungsdaten*											03-Jul-15 14:32:41	
Untersuchender Arzt :										Aufnahmen:	5	
Summe Fluoro: 14.6min Max.Hauteintrittsdosis: 935mGy										Summe:	15147µGym²	1124mGy
A Fluoro: 14.6min 10712µGym² 829.0mGy										Summe:	15147µGym²	1124mGy

Abb. 32: Auszug aus einem Interventionsprotokoll - detailliert dargestellt sind die DSA-Serien in den Zeilen und im unteren Bereich links unten das DFP der Fluoroskopie und das Gesamtdosisflächenprodukt rechts

