

Diplomarbeit

**ANALYSE DES ZUSAMMENHANGS ZWISCHEN DER
VERTEILUNG BLUTBILDENDEN KNOCHENMARKS UND
STRAHLENBELASTUNG NACH KINDLICHEN
EXTREMITÄTENRÖNTGEN**

Eine retrospektive Studie

eingereicht von

Laura Sophie Steffen

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktorin der gesamten Heilkunde
(Drⁱⁿ. med. univ.)**

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Klinischen Abteilung für Kinderradiologie

unter der Anleitung von

Univ.- Prof. DDr. hc Erich Sorantin

Drⁱⁿ. med. univ. Eszter Nagy

Graz, am 20.10.2020

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 20.10.2020

Laura Sophie Steffen eh.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	16
1.1	Besonderheiten der Strahlenbelastung bei Kindern.....	16
1.2	Strahlenschutz.....	18
1.3	Knochenmark.....	18
1.4	Dosisbegriffe	20
1.5	Strahlenschäden	21
1.5.1	Deterministische Strahlenschäden	21
1.5.2	Stochastische Strahlenschäden	22
1.6	Extremitätenröntgenuntersuchung bei Kindern.....	22
1.7	Einstelltechniken von Extremitätenröntgen.....	22
1.7.1	Leistungen für die <i>obere Extremität</i>	23
1.7.2	Leistungen für die <i>untere Extremität</i>	23
1.8	Hypothese und Ziele	24
2	Material und Methoden	25
2.1	Datenaufbereitung	25
2.2	Analysierte Parameter.....	28
2.3	Ausschlusskriterien.....	30
2.4	Datenverarbeitung und statistische Analyse.....	30
3	Ergebnisse – Resultate.....	34
3.1	Röntgenuntersuchungen	34
3.1.1	Leistung <i>Oberarm</i>	34
3.1.2	Leistung <i>Ellbogen</i>	39
3.1.3	Leistung <i>Unterarm</i>	45
3.1.4	Leistung <i>Handgelenk</i>	47
3.1.5	Leistung <i>Oberschenkel</i>	51
3.1.6	Leistung <i>Knie</i>	55
3.1.7	Leistung <i>Unterschenkel</i>	61
3.1.8	Leistung <i>Sprunggelenk</i>	63
3.2	MRT-Untersuchungen.....	67
3.2.1	Leistung <i>Oberarm</i>	69
3.2.2	Leistung <i>Ellbogen</i>	72
3.2.3	Leistung <i>Unterarm</i>	77
3.2.4	Leistung <i>Handgelenk</i>	78
3.2.5	Leistung <i>Oberschenkel</i>	81
3.2.6	Leistung <i>Knie</i>	85
3.2.7	Leistung <i>Unterschenkel</i>	89
3.2.8	Leistung <i>Sprunggelenk</i>	91
3.3	Effektive Dosis	94
3.4	Einsparung rotes Knochenmark.....	95
4	Diskussion	99
4.1	Beantwortung der Forschungsfragen.....	99
4.1.1	Vorkommen roten Knochenmarks	99
4.1.2	Altersabhängiger Unterschied des roten Knochenmarksanteils im miterfassten Knochenteil	99
4.1.3	Altersabhängiger Unterschied des miterfassten Knochenanteils.....	100
4.1.4	Zusammenhang zwischen Alter und Anteil an rotem Knochenmark im miterfassten Knochenteil	101
4.1.5	Altersabhängige Unterschiede der effektiven Dosis	102

4.1.6	Reduktion der röntgenbedingten Strahlenbelastung roten Knochenmarks	103
4.2	Zusammenhang zwischen im Röntgenbild miterfasster Knochenlänge und Anteil an rotem Knochenmark	103
4.3	Empfehlungen.....	104
4.4	Limitationen	104
4.5	Zusammenfassung und Ausblick.....	105

Abkürzungen und deren Erklärung

ALARA	As low as reasonably achievable
Art	Articulatio
ap	anterior-posterior
bzw	beziehungsweise
ca	zirka
cGycm ²	Zentigray mal Quadratzentimeter
DNA	Desoxyribonukleinsäure
EL	Ellbogen
HG	Handgelenk
IRCP	internationale Strahlenschutzkommission (International Commission on Radiological Protection)
KN	Knie
mm	Millimeter
MRT	Magnetresonanztomografie
mSv	Millisievert
OA	Oberarm
OS	Oberschenkel
s	seitlich
SG	Sprunggelenk

SI	internationales Einheitensystem (Système international d'unités)
UA	Unterarm
US	Unterschenkel
zB	zum Beispiel
ZNS	Zentralnervensystem

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Relative Strahlenempfindlichkeit in Abhängigkeit des Alters (Sorantin et al. 2016).....	17
Abbildung 2: Fettmarkskonversion in Abhängigkeit vom Alter; a Neugeborenes b Kind c Erwachsener (Sorantin et al. 2016)	19
Abbildung 3: OS, Tibia-Messung in Röntgenbild, Gruppe 5y	29
Abbildung 4: Knochenmarkslängenmessung, proximale Tibia, Gruppe 5y.....	30
Abbildung 5: OA, Radiusmessungen, seitlich	36
Abbildung 6: OA Radiusmessungen, ap.....	36
Abbildung 7: OA, Ulnamessungen, seitlich	38
Abbildung 8: OA, Ulnamessungen, ap	38
Abbildung 9: EL, Humerusmessungen, seitlich.....	40
Abbildung 10: EL, Humerusmessungen, ap	40
Abbildung 11: EL, Radiusmessungen, seitlich.....	42
Abbildung 12: EL, Radiusmessungen, ap	42
Abbildung 13: EL, Ulnamessungen, seitlich	44
Abbildung 14: EL, Ulnamessungen, ap	44
Abbildung 15: UA, Humerusmessungen, seitlich	46
Abbildung 16: UA, Humerusmessungen, ap	46
Abbildung 17: HG, Radiusmessungen, seitlich.....	48
Abbildung 18: HG, Radiusmessungen, ap	48
Abbildung 19: HG, Ulnamessungen, seitlich	50
Abbildung 20: HG, Ulnamessungen, ap	50
Abbildung 21: OS, Tibiamessungen, seitlich	52
Abbildung 22: OS, Tibiamessungen, ap	52
Abbildung 23: OS, Fibulamessungen, seitlich	54
Abbildung 24: OS, Fibulamessungen, ap	54
Abbildung 25: KN, Femurmessungen, seitlich	56
Abbildung 26: KN, Femurmessungen, ap	56
Abbildung 27: KN, Tibiamessungen, seitlich.....	58
Abbildung 28: KN, Tibiamessungen, ap.....	58
Abbildung 29: KN, Fibulamessungen, seitlich.....	60
Abbildung 30: KN, Fibulamessungen, ap.....	60
Abbildung 31: US, Femurmessungen, seitlich	62
Abbildung 32: US, Femurmessungen, ap	62

Abbildung 33: SG, Tibiamessungen, seitlich	64
Abbildung 34: SG, Tibiamessungen, ap	64
Abbildung 35: SG, Fibulamessungen, seitlich	66
Abbildung 36: SG, Fibulamessungen, ap	66
Abbildung 37: Rückbildung rotes Knochenmark – proximal.....	68
Abbildung 38: Rückbildung rotes Knochenmark – distal.....	68
Abbildung 39: OA, rotes Knochenmark in gemessenem Radiusanteil	70
Abbildung 40: OA, rotes Knochenmark in gemessenem Ulnaanteil	72
Abbildung 41: EL, rotes Knochenmark in gemessenem Humerusanteil	73
Abbildung 42: EL, rotes Knochenmark in gemessenem Radiusanteil	75
Abbildung 43: EL, rotes Knochenmark in gemessenem Ulnaanteil.....	76
Abbildung 44: UA, rotes Knochenmark in gemessenem Humerusanteil.....	78
Abbildung 45: HG, rotes Knochenmark in gemessenem Radiusanteil	79
Abbildung 46: HG, rotes Knochenmark in gemessenem Ulnaanteil	81
Abbildung 47: OS, rotes Knochenmark in gemessenem Tibiaanteil	83
Abbildung 48: OS, rotes Knochenmark in gemessenem Fibulaanteil.....	84
Abbildung 49: KN, rotes Knochenmark in gemessenem Femuranteil.....	86
Abbildung 50: KN, rotes Knochenmark in gemessenem Tibiaanteil	87
Abbildung 51: KN, rotes Knochenmark in gemessenem Fibulaanteil	89
Abbildung 52: US, rotes Knochenmark in gemessenem Femuranteil.....	90
Abbildung 53: SG, rotes Knochenmark in gemessenem Tibiaanteil	92
Abbildung 54: SG, rotes Knochenmark in gemessenem Fibulaanteil.....	93
Abbildung 55: Oberarm ap, 3-jähriges Mädchen (Oppelt, 2010: 65)	108
Abbildung 56: Oberarm seitlich in Elevation, 3-jähriges Mädchen (Oppelt, 2010: 66)	108
Abbildung 57: Ellbogen ap, 8-jähriger Junge (Oppelt, 2010: 67).....	108
Abbildung 58: Ellbogen seitlich, Humeruskondylen decken sich nicht ganz; 11- jähriger Junge (Oppelt, 2010: 67)	109
Abbildung 59: Unterarm in 2 Ebenen, a ap, b seitlich, Grünholzfraktur des Radius, 12-jähriger Junge (Oppelt, 2010: 70).....	109
Abbildung 60: Oberschenkel in 2 Ebenen, a ap, b seitlich, Kallusbildung nach Oberschenkelfraktur, 6 Monate altes Mädchen (Oppelt, 2010: 72)	110
Abbildung 61: Unterschenkel in 2 Ebenen, a ap, b seitlich, 2-jähriger Junge (Oppelt: 2010: 76)	110
Abbildung 62: Sprunggelenk ap, 13-jähriges Mädchen (Oppelt, 2010: 77).....	111

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gruppeneinteilung für Untersuchungen (European Commission. Directorate-General for Energy 2018: 35)	26
Tabelle 2: Äquivalenz Gewicht- zu Altersgruppen (European Commission. Directorate-General for Energy 2018: 35)	26
Tabelle 3: Abkürzungen bei Pseudonymisierung	27
Tabelle 4: OA, Radiusmessungen, gesamt	35
Tabelle 5: OA, Ulnamessungen, gesamt	37
Tabelle 6: EL, Humerusmessungen, gesamt	39
Tabelle 7: EL, Radiusmessungen, gesamt	41
Tabelle 8: EL, Ulnamessungen, gesamt	43
Tabelle 9: UA, Humerusmessungen, gesamt	45
Tabelle 10: HG, Radiusmessungen, gesamt	47
Tabelle 11: HG, Ulnamessungen, gesamt	49
Tabelle 12: OS, Tibiamessungen, gesamt	51
Tabelle 13: OS, Fibulamessungen, gesamt	53
Tabelle 14: KN, Femurmessungen, gesamt	55
Tabelle 15: KN, Tibiamessungen, gesamt	57
Tabelle 16: KN, Fibulamessungen, gesamt	59
Tabelle 17: US, Femurmessungen, gesamt	61
Tabelle 18: SG, Tibiamessungen, gesamt	63
Tabelle 19: SG, Fibulamessungen, gesamt	65
Tabelle 20: Röntgen 2015/16.....	67
Tabelle 21: OA, Radius, Mann-Whitney-U-Test	70
Tabelle 22: OA, Ulna, Mann-Whitney-U-Test.....	71
Tabelle 23: EL, Humerus, Mann-Whitney-U-Test.....	73
Tabelle 24: EL, Radius, Mann-Whitney-U-Test.....	74
Tabelle 25: EL, Ulna, Mann-Whitney-U-Test	76
Tabelle 26: UA, Humerus, Mann-Whitney-U-Test	77
Tabelle 27: HG, Radius, Mann-Whitney-U-Test.....	79
Tabelle 28: HG, Ulna, Mann-Whitney-U-Test.....	80
Tabelle 29: OS, Tibia, Mann-Whitney-U-Test.....	82
Tabelle 30: OS, Fibula, Mann-Whitney-U-Test.....	84
Tabelle 31: KN, Femur, Mann-Whitney-U-Test	85
Tabelle 32: KN, Tibia, Mann-Whitney-U-Test.....	87

Tabelle 33: KN, Fibula, Mann-Whitney-U-Test	88
Tabelle 34: US, Femur, Mann-Whitney-U-Test	90
Tabelle 35: SG, Tibia, Mann-Whitney-U-Test.....	91
Tabelle 36: SG, Fibula, Mann-Whitney-U-Test.....	93
Tabelle 37: theoretische Reduktion des am Röntgenbild miterfassten roten Knochenmarks bei minimaler miterfasster Knochenlänge	96
Tabelle 38: Knochenlänge obere Extremität, 50. Perzentile, Buben (vgl. Kuhn et al. 2003: 2043f)	112
Tabelle 39: Knochenlänge obere Extremität, 50. Perzentile, Mädchen (vgl. Kuhn et al. 2003: 2045f)	113
Tabelle 40: OA, Radiusmessungen, Mädchen	121
Tabelle 41: OA, Radiusmessungen, Buben	121
Tabelle 42: OA, Ulnamessungen, Mädchen	122
Tabelle 43: OA, Ulnamessungen, Buben	122
Tabelle 44: EL, Humerusmessungen, Mädchen	123
Tabelle 45: EL, Humerusmessungen, Buben	123
Tabelle 46: EL, Radiusmessungen, Mädchen	124
Tabelle 47: EL, Radiusmessungen, Buben	124
Tabelle 48: EL, Ulnamessungen, Mädchen	125
Tabelle 49: EL, Ulnamessungen, Buben.....	125
Tabelle 50: UA, Humerusmessungen, Mädchen.....	126
Tabelle 51: UA, Humerusmessungen, Buben.....	126
Tabelle 52: HG, Radiusmessungen, Mädchen	127
Tabelle 53: HG, Radiusmessungen, Buben	127
Tabelle 54: HG, Ulnamessungen, Mädchen	128
Tabelle 55: HG, Ulnamessungen, Buben	128
Tabelle 56: OS, Tibiamessungen, Mädchen	129
Tabelle 57: OS, Tibiamessungen, Buben	129
Tabelle 58: OS, Fibulamessungen, Mädchen	130
Tabelle 59: OS, Fibulamessungen, Buben	130
Tabelle 60: KN, Femurmessungen, Mädchen	131
Tabelle 61: KN, Femurmessungen, Buben.....	131
Tabelle 62: KN, Tibiamessungen, Mädchen	132
Tabelle 63: KN, Tibiamessungen, Buben	132
Tabelle 64: KN, Fibulamessungen, Mädchen	133
Tabelle 65: KN, Fibulamessungen, Buben	133
Tabelle 66: US, Femurmessungen, Mädchen.....	134

Tabelle 67: US, Femurmessungen, Buben	134
Tabelle 68: SG, Tibiamessungen, Mädchen	135
Tabelle 69: SG, Tibiamessungen, Buben	135
Tabelle 70: SG, Fibulamessungen, Mädchen	136
Tabelle 71: SG, Fibulamessungen, Buben	136

Zusammenfassung

Einleitung

Kinder weisen eine unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit zu Erwachsenen auf (vgl. Sorantin et al. 2016). Im Falle des Knochenmarks werden mit zunehmendem Alter strahlenempfindliche durch strahlenunempfindlichere Zellen ersetzt. Von Geburt bis zum 25. Lebensjahr verändert sich die Verteilung roten Knochenmarks innerhalb der Markhöhlen, vor allem in den Knochen der Extremitäten. Es findet eine Konversion von rotem, stammzellreichen Knochenmark zu gelbem Fettmark statt (vgl. Chan et al. 2016: 1911ff). Stammzellreiches Gewebe, welches eine hohe Mitoserate aufweist, ist am anfälligsten für einen Schaden durch ionisierende Strahlung, wie zB. Röntgenstrahlung (vgl. Alzen et al. 2011: 407).

Extremitätenröntgen sind die häufigsten Röntgenuntersuchungen bei Kindern (vgl. European Commission. Directorate-General for Energy 2018: 95). Für einzelne Röntgenuntersuchungen existieren Einstelltechniken, die festlegen, wie eine Untersuchung auszusehen hat, um gut beurteilbar zu sein. Ziel dieser Arbeit ist es, festzustellen, ob sich rotes Knochenmark in jenem Knochenteil befindet, der in Extremitätenröntgen nicht zur Gänze untersucht wird und deswegen nur angeschnitten ist. Ebenso soll festgestellt werden, ob sich der Gehalt des roten Knochenmarks in diesen Knochenteilen mit zunehmendem Alter verändert. Außerdem soll untersucht werden, ob sich der Anteil des gemessenen Knochens am Röntgenbild mit zunehmendem Alter verändert. Zuletzt soll evaluiert werden, wie hoch die für jede Untersuchung berechnete effektive Dosis ist und ob diese mit dem Anteil an rotem Knochenmark je Altersgruppe variiert.

Methoden

Im Rahmen dieser retrospektiven Studie wird die Länge des angeschnittenen Röhrenknochenanteils am jeweiligen Röntgenbild bestimmt. Nach Definition der Leistungen und Festlegung von 5 Altersgruppen werden pro Leistung und Altersgruppe bis zu 50 Röntgenuntersuchungen aus dem Jahr 2015 inklusive Jänner 2016 aus openMedocs herangezogen. Nach Berücksichtigung der Ausschlusskriterien werden insgesamt 1527 Röntgenfälle in beiden Projektionen untersucht.

Anhand von T1-gewichteten MRT-Untersuchungen wird der Anteil an rotem Knochenmark im gemessenen Knochenanteil ermittelt. Dabei werden jene zwei Altersgruppen berücksichtigt, in denen die meisten Extremitätenröntgen im untersuchten Zeitraum angefer-

tigt wurden. Dafür werden pro Knochen und Altersgruppe 5 MRT-Bilder herangezogen, wodurch sich nach Berücksichtigung der Ausschlusskriterien eine Fallzahl von 58 ergibt.

Zur Beantwortung der Forschungsfragen werden der Mann-Whitney-U-Test bzw. der Pearson-Korrelationskoeffizient berechnet.

Diskussion

Es konnte gezeigt werden, dass in den gemessenen Knochenteilen noch rotes Knochenmark vorhanden ist, welches im Rahmen einer Röntgenuntersuchung einer Strahlenbelastung ausgesetzt wird. Bei einem überwiegenden Teil der miterfassten Knochen der einzelnen Leistungen konnte eine statistisch signifikante Veränderung der arithmetischen Mittelwerte zwischen zwei Altersgruppen einerseits des roten Knochenmarksanteils und andererseits des miterfassten Knochenanteils gezeigt werden. Ebenfalls konnte in allen Fällen zwischen Alter und Anteil des roten Knochenmarks ein Zusammenhang festgestellt werden.

Abschließend konnte gezeigt werden, dass in vielen Fällen eine Reduktion des am Röntgenbild miterfassten roten Knochenmarks erreicht werden könnte. Unter der Annahme, dass der minimale gemessene miterfasste Knochenanteil, der nicht 0% ist, der maximale Anteil ist, der laut korrekter Einstelltechnik abgebildet sein muss, kann eine Reduktion des roten Knochenmarksanteils von ca. 41% erreicht werden. Werden nur jene Knochen herangezogen, bei denen überhaupt eine Reduktion erreicht werden kann, liegt die Einsparungsquote bei fast 60%. Für fast alle Röntgenuntersuchungen wurde eine effektive Dosis von unter 0,01mSv angegeben.

Trotzdem gilt es, die Strahlenbelastung des roten Knochenmarks so gering wie möglich zu halten und bei der Berechnung der effektiven Dosis besonderes Augenmerk auf den Anteil des roten Knochenmarks zu legen.

Abstract

Introduction

Children have a different sensitivity to radiation than adults (vgl. Sorantin et al. 2016). In the case of the bone marrow, with increasing age radiation-sensitive cells are replaced by cells which are less sensitive. From birth until the age of 25, the distribution of red bone marrow within the medullary cavities changes, especially in the bones of the extremities. There occurs a conversion from red bone marrow rich in stem cells to yellow fat marrow which is less sensitive to radiation (vgl. Chan et al. 2016: 1911ff). Stem cell-rich tissue, which has a high rate of mitosis, is most susceptible to damage from ionizing radiation, such as X-rays (vgl. Alzen et al. 2011: 407).

X-rays of the extremities are the most common X-ray examinations in children (vgl. European Commission. Directorate-General for Energy 2018: 95). Adjustment techniques for individual X-ray examinations were defined to determine what an examination should look like in order to be properly assessed. The aim of this study is to determine whether red bone marrow is located in the part of the bone that is not fully examined in x-rays of extremities and is therefore only partially exposed. It should also be determined whether the content of red bone marrow in these bone parts changes with age. In addition, it is to be examined whether the proportion of the measured bone in the X-ray image changes with increasing age. Finally, the effective dose calculated for each examination should be evaluated and whether it varies with the amount of red bone marrow in each age group.

Methods

In this retrospective study, the length of the partly depicted long bone portion of each x-ray image is determined. After defining the procedures and establishing 5 age groups, up to 50 x-ray examinations from 2015 including January 2016 from openMedocs will be used per procedure and age group. After consideration of the exclusion criteria, a total of 1527 X-ray cases will be examined in both projections.

Based on T1-weighted MRI scans, the proportion of red bone marrow in the measured part of the bone is determined. The two age groups in which most extremity x-rays were taken during the examined period are taken into account. For this purpose, 5 MRI images per bone and age group are used, resulting in a case number of 58 after consideration of the exclusion criteria.

To answer the research questions, the Mann-Whitney-U-Test and the Pearson correlation coefficient are calculated.

Discussion

It could be shown that red bone marrow is still present in the measured bone parts, which is exposed to radiation during an X-ray examination. For the majority of the measured bones, a statistically significant change in the arithmetic mean values between two age groups of the red bone marrow portion on the one hand and the bone portion on the other hand could be shown. A correlation between age and red bone marrow percentage was also found in all cases.

In conclusion, it was shown that in many cases a reduction of the red bone marrow included in the X-ray image could be achieved. Under the assumption that the minimum measured proportion of bone that is not 0% is the maximum proportion that must be imaged according to the correct adjustment technique, a reduction in the proportion of red bone marrow of approximately 41% can be achieved. If only those bones are included for which a reduction can be achieved at all, the savings rate is almost 60%. An effective dose of less than 0.01mSv was specified for almost all X-ray examinations. Nevertheless, it is important to keep the radiation exposure of the red bone marrow as low as possible and to pay special attention to the proportion of red bone marrow when calculating the effective dose.

1 Einleitung

„Kinder sind keine kleinen Erwachsenen“ (Sorantin et al. 2016), sie unterscheiden sich in Anatomie, Metabolismus und Kreislauf von Erwachsenen. Ebenso weisen sie eine unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit zu Erwachsenen auf. Diese Eigenschaft stellt die Grundlage der vorliegenden Arbeit dar (vgl. Sorantin et al. 2016).

1.1 Besonderheiten der Strahlenbelastung bei Kindern

Die Bedeutung der ionisierenden Strahlung ist nicht zu unterschätzen, da sie nicht direkt vom Menschen wahrgenommen wird und ihre Wirkung zeitlich verzögert auftritt. Grundsätzlich wird natürliche von zivilisatorisch bedingter Strahlenexposition unterschieden. Letztere bezieht sich hauptsächlich auf das Gebiet der Medizin, insbesondere der Röntgendiagnostik. Das Risiko, infolge der Exposition durch ionisierende Strahlung an Krebs zu erkranken oder andere strahleninduzierte Schäden davonzutragen, hängt von der Dosisbelastung, nicht von der Strahlungsquelle ab. (vgl. Breitenseher et al. 2012: 91-93). Gewebe, welches eine hohe Mitoserate aufweist und somit dem strahlenempfindlichen DNA-Stoffwechsel unterliegt, ist am anfälligsten für einen Schaden durch ionisierende Strahlung. Bei Erwachsenen sind das nur jene Gewebe, die das ganze Leben über eine hohe Zellteilungsrate besitzen wie beispielsweise Schleimhaut, Haut und Keimzellen in den Gonaden. Aufgrund des vermehrten allgemeinen Wachstums und der Zellentwicklung von Säuglingen und Kleinkindern haben diese das höchste Risiko für bleibende Strahlenschäden (vgl. Alzen et al. 2011: 407f).

Wenn speziell bei Kindern von Wachstum gesprochen wird, ist nicht von Hypertrophie der Zellen die Rede, sondern von Zellteilung. Die verschiedenen Phasen, die notwendig sind, um das Genom zu reduplizieren, zeichnen sich durch erhöhte Strahlenempfindlichkeit aus. Durch das, verglichen mit Erwachsenen, schnelle Wachstum von Säuglingen und Kleinkindern – Säuglinge verdoppeln ihr Gewicht innerhalb der ersten sechs Monate und verdreifachen es innerhalb des ersten Lebensjahres – haben sie statistisch gesehen eine höhere Zellteilungsrate und sind damit strahlenempfindlicher (vgl. Sorantin et al. 2016).

Bei Säuglingen und Kleinkindern werden die häufigsten Röntgenuntersuchungen durchgeführt. Diese Untersuchungen nehmen dann bis hin zum Schulalter ab und häufen sich ab Schuleintritt wieder. Im Erwachsenenalter bleibt die Häufigkeit annähernd gleich und nimmt erst im Alter wieder zu (vgl. Alzen et al. 2011: 407).

An diesem Punkt ist zu beachten, dass sich die Strahlenempfindlichkeit mit fortschreitendem Alter ändert, da die Reifung des Körpers verschiedene Stadien durchläuft. Im Zuge dessen werden einerseits strahlenempfindliche Zellen durch strahlenunempfindlichere ersetzt, andererseits nimmt die Strahlenempfindlichkeit auch ab, da die Geschwindigkeit des Wachstums und die damit verbundene Zellteilungsrate abnehmen. Beim Knochenmark, welches Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist, nimmt die Strahlensensitivität aufgrund der Konversion des Markes mit dem Alter ab, während, wie in Abbildung 1 ersichtlich, beispielsweise die Empfindlichkeit der Gonaden für ionisierende Strahlung mit dem Alter zunimmt (vgl. Sorantin et al. 2016).

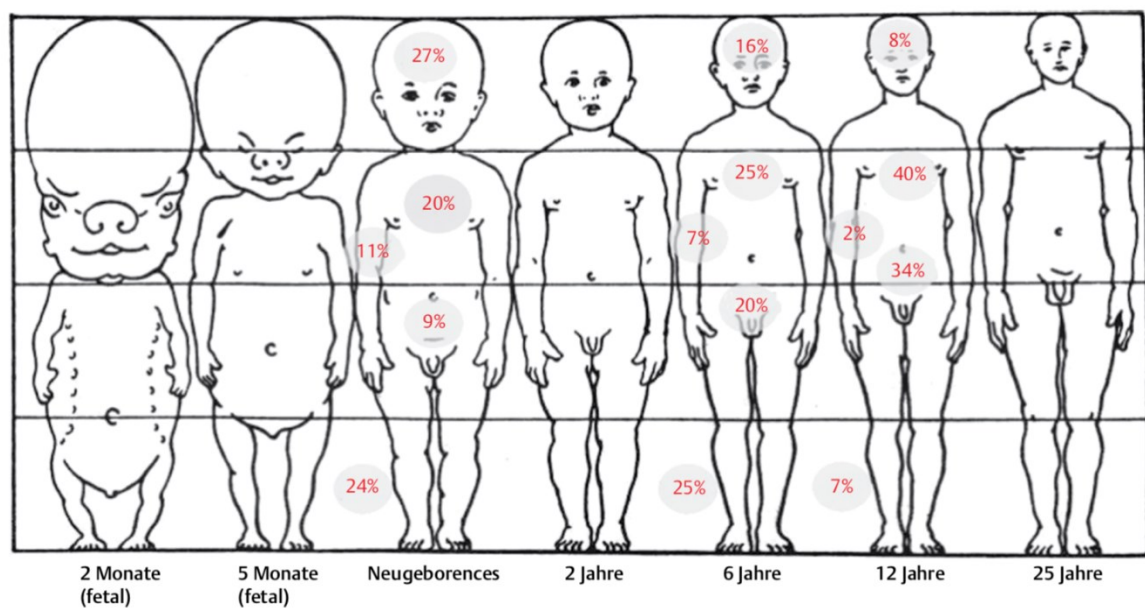


Abbildung 1: Relative Strahlenempfindlichkeit in Abhängigkeit des Alters (Sorantin et al. 2016)

Gewebe von Kindern und Jugendlichen hat einen höheren Wassergehalt, was zu einer höheren Strahlenabsorption führt, weswegen zum Durchdringen des Gewebes eine höhere Dosis notwendig ist. Das individuelle und kollektive Risiko von Säuglingen und Kleinkindern wird zusätzlich durch ihre höhere Lebenserwartung gesteigert. Als weiteres Risiko gilt das genetische Risiko: werden die Zellen der Gonaden von Schäden durch ionisierende Strahlung betroffen, kann dies zur Schädigung der Nachkommen führen (vgl. Alzen et al. 2011: 407).

Leukämien und ZNS Tumoren sind die häufigsten Tumoren im Kindesalter. Gleichzeitig sind es die einzigen, bei denen ionisierende Strahlung nachgewiesen einen Risikofaktor darstellt. Leukämien entstehen im roten Knochenmark. Nachgewiesen wurde die Beziehung zwischen ionisierender Strahlung und Krebsentstehung bei Atombombenüberleben-

den und bei Patientinnen und Patienten, die einer Strahlentherapie mit einer insgesamt hohen kumulativen Dosis ausgesetzt wurden. Ob niedrig-dosierte ionisierende Strahlung einen Risikofaktor für die Entstehung von Leukämien darstellt, ist umstritten (vgl. Spycher et al. 2015).

1.2 Strahlenschutz

Für den praktischen Strahlenschutz gibt es vereinfachte Prinzipien: das ALARA-Prinzip – ALARA steht in diesem Fall für *as low as reasonably achievable* – und die drei A des praktischen Strahlenschutzes – Abstand vergrößern, Abschirmung verstärken und Aufenthaltsdauer verringern (vgl. Breitenseher et. al. 2012: 99).

Bereits im Aufbau der Röntgengeräte ist Strahlenschutz ein wichtiges Thema. Grundsätzlich trägt das Röhrengehäuse durch Abschirmung mittels Blei wesentlich zum Strahlenschutz der Patientinnen und Patienten bei. Weiters wird durch Aufhärtung der Strahlung der Teil der Röntgenstrahlung eliminiert, der sonst im Gewebe absorbiert würde, ohne zur Untersuchung beziehungsweise zur Bildgebung beizutragen. Dieser Effekt wird mittels Erhöhung der mittleren Energie des Spektrums der Röntgenstrahlung erreicht, wodurch die niederenergetischen Anteile jenes Spektrums geschwächt werden (vgl. Breitenseher et. al. 2012: 20).

1.3 Knochenmark

Knochenmark zählt zusammen mit Knochen, Haut und Fettgewebe zu den größten Organen des menschlichen Körpers. Das Knochenmark wird in rotes und gelbes eingeteilt: rotes oder aktives ist für die Blutzellbildung verantwortlich, während gelbes inaktives Fettmark ist. Das rote Knochenmark erhält seine Farbe durch seinen Hämoglobingehalt und besteht zu 60% aus haematopoetischen Stammzellen. Deren Aufgabe ist die Bildung roter Blutzellen zum Sauerstofftransport, weißer Blutzellen zur Immunabwehr und Blutplättchen zur Koagulation. Weiters machen 40% Fettzellen das rote Knochenmark aus. In gelben Knochenmark ist der Fettgehalt wesentlich höher und beträgt 80% (vgl. Chan et al. 2016: 1911ff).

Da rotes Knochenmark aufgrund der Stammzellen mehr Teilungspotenzial hat und auch die Zellteilungsrate betreffend wesentlich aktiver ist, als das gelbe Knochenmark oder andere Gewebe wie Muskulatur oder Sehnen, gilt es zu berücksichtigen, dass Strahlung – im Rahmen dieser Arbeit besonders ionisierende Strahlung – eine größere Auswirkung darauf

haben kann. Denn die Reduplikation des Genoms trägt, wie zuvor bereits beschrieben, zu einer erhöhten Strahlenempfindlichkeit bei.

Bei Neugeborenen ist das gesamte Knochenmark blutzellenbildend, davon befinden sich alleine 25% des roten Knochenmarks im Schädel. Bei Erwachsenen ist nur das Mark weniger Knochen, dazu zählen Sternum, Rippen, Wirbeln, Teile der Ossa coxae und die proximalen Enden der Knochen des Oberarms und des Oberschenkels, dafür zuständig. Die große Entwicklung der Ausbreitung des blutbildenden Knochenmarks wird in Abbildung 2 dargestellt (vgl. Sorantin et al. 2016).

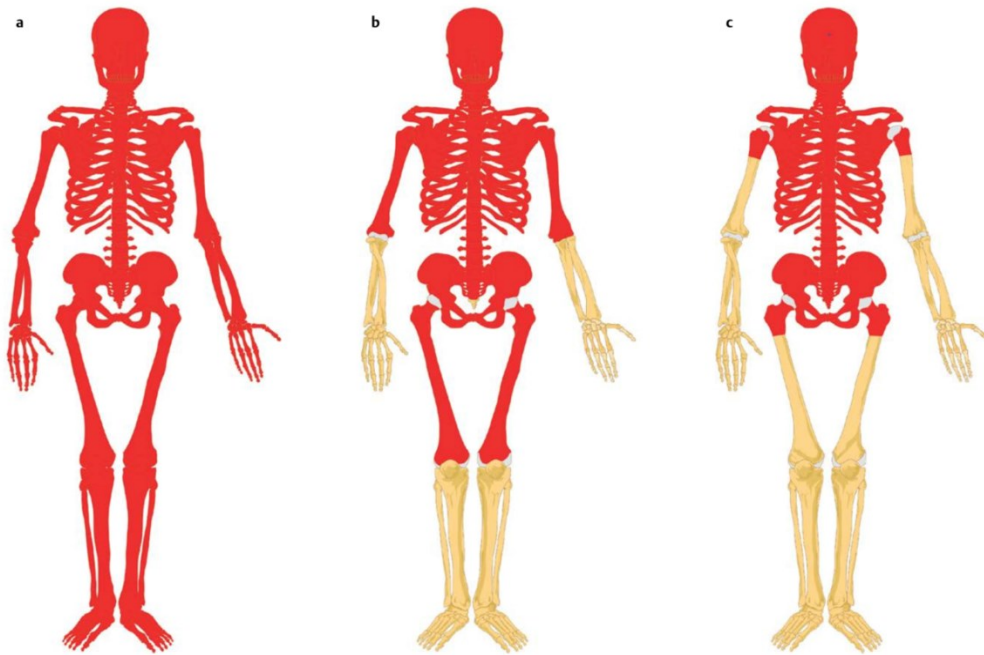


Abbildung 2: Fettmarkskonversion in Abhängigkeit vom Alter; a Neugeborenes b Kind c Erwachsener (Sorantin et al. 2016)

Die Konversion von rotem Knochenmark ist erst mit dem 25. Lebensjahr abgeschlossen, erst dann gilt die vorher genannte Verteilung im Erwachsenenalter. Der größte Prozess der Transformation findet jedoch im Kleinkind- und Kindesalter statt, später verlangsamt sich der Ablauf. In den Röhrenknochen bildet sich das rote Knochenmark im Kindes- bzw. Jugendalter von peripher nach zentral zurück. Die Umwandlung von rotem Knochenmark in gelbes beginnt dabei in den Epiphysen und Apophysen und erreicht dann die Diaphysen. Erst zum Schluss findet die Konversion in den Metaphysen statt, wobei die distalen den proximalen vorangehen.

In der Bildgebung speziell im MRT kann man rotes von gelbem Knochenmark auf T1-gewichteten Bildern voneinander unterscheiden. Dabei erkennt man das rote Knochenmark

im Vergleich zum subkutanen Fettgewebe als hypointens, also am Bild dunkler, während das gelbe Knochenmark aufgrund seines höheren Fettgehalts hyperintens erscheint und somit der Darstellung des subkutanen Fettgewebes gleicht (vgl. Chan et al. 2016: 1911ff).

1.4 Dosisbegriffe

Unter dem Begriff Dosis versteht man eine Messgröße, die ionisierende Strahlung in Bezug auf ihre Wirkung charakterisiert. Des Weiteren gibt es noch die Dosisleistung, die sich auf die Dosis pro Zeiteinheit bezieht. Unter Dosimetrie versteht man die Messung der Dosis (vgl. Breitenseher et al. 2012: 93).

Die Energiedosis ist die von ionisierender Strahlung auf ein Material übertragene Energie, die sich auf dessen Masse bezieht. Energie pro Masse wird in der SI-Einheit Gray angegeben wird, wobei ein Gray einem Joule pro Kilogramm entspricht. Praktisch wird die Energiedosis meist aus anderen Dosisgrößen, die leichter zu messen sind – meistens Ionendosis –, berechnet (vgl. Breitenseher et al. 2012: 93).

Im Unterschied zur Energiedosis ist bei der Äquivalenzdosis die Art der Materie, auf die Energie übertragen wird, als biologisches Gewebe definiert. Energiedosis wird dabei mit einem Qualitätsfaktor multipliziert, wobei dieser bei Röntgenstrahlung gleich eins ist. Deshalb sind in diesem Fall die Energiedosis und die Äquivalenzdosis gleich. Der Qualitätsfaktor beschreibt die Strahlung mit Dichte und räumlicher Verteilung der Ionisation (vgl. Breitenseher et al. 2012: 94).

Um die Strahlenempfindlichkeit der unterschiedlichen Gewebe zu beschreiben, wird für jedes Gewebe anhand der vorkommenden Zellen ein Wichtungsfaktor definiert. Dieser ist ein Maß für die Wahrscheinlichkeit bzw. das Risiko, dass ein Gewebe eine letale stochastische Strahlenwirkung oder einen strahlenbedingten genetischen Defekt erfährt, der auf die folgende Generation übertragen wird. Empfohlen werden die Wichtungsfaktoren für die einzelnen Organe von der internationalen Strahlenkommission (ICRP), die diese immer wieder evaluiert und korrigiert. Rotes Knochenmark hat mit einem Wichtungsfaktor von 0,12 denselben Faktor wie die Lunge, Mamma, Magen und Darm. Gleichzeitig stellt 0,12 den höchsten beschriebenen Wert eines Gewebes dar (vgl. Breitenseher et al. 2012: 94f).

Der Wichtungsfaktor spielt eine große Rolle in der Berechnung der effektiven Dosis. Diese ist definiert durch die Summe der mit dem jeweiligen Wichtungsfaktor multiplizierten einzelnen Äquivalenzdosen der Organe und wird in Sievert angegeben. Die effektive Dosis dient zum Vergleich des Gesundheitsrisikos verschiedener Strahlenexpositionen, also der Gegenüberstellung deren biologische Wirkungen (vgl. Breitenseher et al. 2012: 94f).

1.5 Strahlenschäden

Ein Strahlenschaden durch ionisierende Strahlung kann an jedem Molekül innerhalb eines Gewebes stattfinden. Bedeutend sind vor allem Effekte an der DNA sowie an einzelnen Zellorganellen bzw. der Zellmembran. Man kann zwei Mechanismen unterscheiden, wie es zu einer Veränderung bzw. Zerstörung kommen kann: den direkten und den indirekten. Beim direkten Mechanismus wird das Molekül selber getroffen, während beim indirekten eine Wechselwirkung durch chemische Prozesse mit dem Zellwasser stattfindet. Wenn beim direkten Mechanismus beispielsweise DNA getroffen wird, können direkt strukturelle Veränderungen durch das Aufspalten von Wasserstoffbrückenbindungen stattfinden. Aufgrund der geringen Dichte von Makromolekülen in der Zelle findet der indirekte Mechanismus häufiger statt. Durch Radiolyse des Wassers entstehen freie Radikale, die lokal diffundieren. Diese freien Radikale treten in eine Wechselwirkung mit Biomolekülen, wobei in erster Linie die DNA betroffen ist.

Sowohl nach direkter als auch nach indirekter Strahlenwirkung kommt es zu Einzel- oder Doppelstrangbrüchen. In weiterer Folge können Schäden wie Chromosomenaberration bzw. verschiedene Basenschäden entstehen. Wenn diese Mutationen im Bereich von Protoonkogenen oder Tumorsuppressorgenen entstehen, können sich in weiterer Folge durch gestörte Zellproliferation Malignome bilden. Zellen haben Reparaturmechanismen sowohl auf DNA-Ebene als auch in Form von chemischen Prozessen im Zellwasser. Diese neutralisieren freie Radikale, sodass nicht jede Strahlenwirkung einen schwerwiegenden Schaden hervorruft. Proliferierende Zellen in Geweben mit hoher Teilungsaktivität haben eine höhere Empfindlichkeit gegenüber Strahlenwirkung als ruhende. Das rote Knochenmark zählt durch hohe Mitoseraten aufgrund seiner Fähigkeit zur Blutbildung dazu (vgl. Breitenseher et al. 2012: 96f).

1.5.1 Deterministische Strahlenschäden

Bei deterministischen Strahlenschäden gilt als Schwellendosis die Äquivalenzdosis der einzelnen Organe, in die der organspezifische Wichtungsfaktor einfließt. Die Schäden betreffen die Organe direkt durch beispielsweise Entzündungen oder Nekrosen (vgl. Reiser et al. 2017: 68). Die Dosis ist direkt proportional zu den Schäden in den Geweben. Tumorgeschehen werden nach heutigem Wissen nicht deterministisch, sondern nur stochastisch hervorgerufen (vgl. Kauffmann et al. 2011: 41).

1.5.2 Stochastische Strahlenschäden

Stochastische Strahlenschäden sind beispielsweise Schäden der DNA oder Tumorentstehung durch eine Dysregulation von Protoonkogenen, Tumorsuppressorgenen sowie Tumoronkogenen. Für diese Art des Strahlenschadens gibt es keine Schwellendosis, jedoch steigt die Wahrscheinlichkeit eines Schadens mit zunehmender Dosis. Hier wird vor allem die effektive Dosis berücksichtigt (vgl. Reiser et al. 2017: 68). Die Inzidenz für Mutationen und die darauffolgende Tumorentstehung wird durch eine höhere Dosis an ionisierender Strahlung erhöht (vgl. Kauffmann et al. 2011: 42).

1.6 Extremitätenröntgenuntersuchung bei Kindern

Das weltweit erste Röntgen in einem Kinderspital wurde von Prof. Escherich 1897 in Graz eingerichtet (vgl. Benz-Bohm et al. 2012: 2). Heute sind Extremitätenröntgen mit ca. 48% die häufigsten Röntgenuntersuchungen bei Kindern (vgl. European Commission. Directorate-General for Energy 2018: 95). Radiologische Untersuchungen sind bei Traumata, Skeletterkrankungen und anderen Fragestellungen zu Knochen und umliegenden Geweben zur Diagnostik unerlässlich. Sie entscheiden über Konsequenzen in der Therapie. Dies trifft nicht nur auf Erwachsene zu, sondern auch auf Kinder. Knochenbrüche im Kindesalter müssen aufgrund des Wachstums, aber auch aufgrund der anderen Zusammensetzung des Gewebes teilweise anders versorgt werden. Bei Kindern gilt es, besonders die Wachstumsfugen aber auch die Zusammensetzung des Knochenmarks in den verschiedenen Knochen zu unterschiedlichen Zeitpunkten, bezogen auf das Lebensjahr, zu berücksichtigen.

1.7 Einstelltechniken von Extremitätenröntgen

Röntgenaufnahmen der Extremitäten sollten in zwei aufeinander senkrecht stehenden Ebenen erfolgen, um Kortikalis, Kompakta, Spongiosa, Gelenkspalt und Weichteile der dreidimensionalen Extremität auf zwei zweidimensionalen Abbildungen beurteilen zu können. Bildbeispiele dafür sind in Anhang 1 zu sehen. Zusätzlich können für spezielle Fragestellungen weitere Aufnahmen erfolgen, die oft nur in einer Ebene durchgeführt werden. Neben den wichtigsten Fragestellungen nach Vorliegen von Gewebetraumata oder Frakturen aufgrund von Verletzungen bzw. Unfällen sind beispielsweise auch Schmerzen, Schwellungen, Entzündungen und Fehlbildungen Indikationen für ein Extremitätenröntgen (vgl. Reiser et al. 2017: 339).

1.7.1 Leistungen für die *obere Extremität*

Für die Leistung Oberarm werden grundsätzlich zwei Einstellungen verwendet: Oberarm im anterior-posterioren (ap) Strahlengang und Oberarm im seitlichen Strahlengang. Indikationen für diese Leistung sind Verdacht auf Frakturen – im Speziellen die subcapitale Humerusfraktur –, Zysten und Tumoren. Wichtig ist, dass der gesamte Oberarm mit den angrenzenden Gelenken also Schulter und Ellbogengelenk miterfasst, das sehr strahlenempfindliche Gewebe der Brustdrüse jedoch ausgespart wird (vgl. Oppelt 2010: 65f).

Indikationen für ein Ellbogenröntgen sind Fraktur und Luxation, auch hier gibt es die Abbildung mit Strahlengang in ap und seitlich. Grundlegend für die Bildqualität ist der frei projizierte Gelenkspalt in ap und die Deckung der beiden Humeruskondylen. Oberarm und Unterarm müssen auf einer Ebene sein. Zusätzlich gibt es folgende Spezialaufnahmen: Radiusköpfchen nach Greenspan und Ellbogen axial mit Olecranon. Die letzten beiden Aufnahmen werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, da Ellbogen ap und seitlich häufiger angefordert werden (vgl. Oppelt 2010: 67).

Bei Verdacht auf Fraktur im Bereich des Unterarms wird ein Unterarmröntgen ap und seitlich angefertigt. Dabei müssen auch die beiden angrenzenden Gelenke, also Ellbogengelenk und Handgelenk, vollständig mitabgebildet werden (vgl. Oppelt 2010: 69).

Handröntgen werden neben der Abklärung von Frakturen und Fehlbildungen vor allem für die Knochenaltersbestimmung verwendet (vgl. Oppelt 2010: 71).

1.7.2 Leistungen für die *untere Extremität*

Für die Abklärung von Frakturen oder Tumoren im Oberschenkelbereich muss beim Röntgen in ap und seitlich darauf geachtet werden, dass Hüftgelenk und Knie miterfasst werden und dass die Kniescheibe bei abgespreiztem Oberschenkel in Rückenlage parallel zum Tisch liegt. Des Weiteren ist auf Gonadenschutz zu achten (vgl. Oppelt 2010: 71ff).

Allgemein ist bei röntgenologischer Darstellung des Kniegelenks *Knie in Beugung nach Frick* indiziert, vor allem beim Verdacht auf Kondylusfraktur. Um die Patella frei darzustellen, wird die Aufnahmetechnik *Patella axial* verwendet, die jedoch in dieser Arbeit ebenfalls nicht berücksichtigt wird (vgl. Oppelt 2010: 73ff).

Bei der Leistung Unterschenkel ist der gesamte Unterschenkel mit den angrenzenden Gelenken – Kniegelenk und Sprunggelenk – in ap und seitlicher Projektion darzustellen, um Frakturen, Zysten und Tumoren in diesem Bereich beurteilen zu können (vgl. Oppelt 2010: 76).

Zum Frakturachweis ist die Art. talocruralis beim Röntgen des oberen Sprunggelenks so darzustellen, dass der radiologische Gelenkspalt bei der ap Aufnahme zwischen Talus und Malleolengabel frei einsehbar ist. Kriterien der seitlichen Aufnahme sind, dass sich die beiden Teile der Talusrolle decken und sich die Fibula im hinteren Drittel der Tibia zeigt. Die Schrägaufnahmen des Sprunggelenks nach Broden werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt (vgl. Oppelt 2010: 77f).

1.8 Hypothese und Ziele

Die Einstelltechniken bei Extremitätenröntgen geben vor, wie ein Röntgenbild für eine gewisse Leistung auszusehen hat. Oft wird jedoch ein größerer Teil des angrenzenden, nicht zur Gänze am Röntgenbild abgebildeten Knochens miterfasst, als unbedingt notwendig ist. Daher wird die Hypothese aufgestellt, dass in dem zusätzlich miterfassten Teil bei Kindern noch rotes, stammzellreiches und damit strahlenempfindlicheres Knochenmark vorhanden ist, das es zu schützen gilt. In der Arbeit soll einerseits gemessen werden, wie groß der Teil des zusätzlich erfassten Knochens ist. In einem zweiten Schritt soll untersucht werden, wie hoch der Anteil an rotem Knochenmark im jeweiligen Alter im von Röntgenstrahlung erfassten gemessenen Bereich ist.

Diesen beiden Messungen ermöglichen folgende Auswertungen: es kann eine Aussage über den durchschnittlich miterfassten Knochenteil am Röntgenbild pro Altersgruppe gemacht werden. Ebenso kann der generelle Verlauf der Umwandlung des roten in gelbes Knochenmark in den langen Röhrenknochen der Extremitäten anhand der vorgenommenen MRT-Messungen beobachtet werden. In weiterer Folge kann der gemessene Knochenteil im Röntgenbild dem Vorkommen des roten Knochenmarks in eben diesem Teil gegenübergestellt werden. Abschließend kann eine Aussage getätigt werden, wie viel rotes Knochenmark theoretisch vor Röntgenstrahlung geschützt werden könnte, indem der miterfasste Anteil der am Röntgenbild nur angeschnittenen Knochen so gering wie möglich gehalten wird.

2 Material und Methoden

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurde zuerst der Anteil der Knochen, die laut Einstelltechniken nicht in voller Länge am Röntgenbild miterfasst werden müssen, in Röntgenaufnahmen in anterior-posteriorer und seitlicher Projektion gemessen. Im nächsten Schritt wurde der Anteil des roten Knochenmarks in den langen Röhrenknochen der Extremitäten für zwei Altersgruppen in MRT-Untersuchungen quantitativ ermittelt. Abschließend wurde das Vorkommen roten Knochenmarks mit dem Anteil der in den Röntgen miterfassten, gemessenen Knochen verglichen.

2.1 Datenaufbereitung

Vor Beginn der Datenakquirierung aus openMedocs beziehungsweise dem DICOM-Archiv wurde ein Ethikantrag (28-544 ex 15/16) gestellt. Genehmigt und gefördert wurde diese retrospektive Studie von der Medizinischen Universität Graz.

Zur Analyse wurden alle Extremitätenröntgen für die Leistungen *Oberarm, Ellbogen, Unterarm, Handgelenk, Oberschenkel, Knie, Unterschenkel* und *Sprunggelenk* aus dem Jahr 2015 beziehungsweise bis einschließlich Jänner 2016 angefordert. Im Jahr 2015 einschließlich Jänner 2016 wurden für die Leistungen 8664 Fälle akquiriert. Anschließend wurden Altersgruppen bestimmt: diese wurden entsprechend der Vorschläge des Abschlussberichts *EC Tender Project PiDRL – Diagnostic Reference Values in Pediatric Imaging* der *EuroSafe Imaging Campaign* erstellt. Für Körperuntersuchungen wird eine gewichtsbasierte Einteilung vorgeschlagen, das Gewicht der Patientinnen und Patienten ist jedoch meist nicht dokumentiert. Daher wurde eine Äquivalenzliste erstellt, sodass das Alter verwendet werden kann. Diese Einteilung ist in den Tabelle 1 sowie Tabelle 2 dargestellt (vgl. European Commission. Directorate-General for Energy 2018: 35).

Tabelle 1: Gruppeneinteilung für Untersuchungen (European Commission. Directorate-General for Energy 2018: 35)

Recommended weight groups (intervals) for body examinations	Recommended age groups (intervals) for head examinations
< 5 kg 5 - < 15 kg 15 - < 30 kg 30 - < 50 kg 50 - < 80 kg	0 - < 3 months 3 months - < 1 y 1 - < 6 y ≥ 6 y

Tabelle 2: Äquivalenz Gewicht- zu Altersgruppen (European Commission. Directorate-General for Energy 2018: 35)

Description	Weight group	Age group based on weight-for-age charts	Most common age groups used for the NDRLs (or equivalent)
Neonate	< 5 kg	< 1 m	0 y
Infant, toddler and early childhood	5 - <15 kg	1 m - < 4 y	1 y
Middle childhood	15 - < 30 kg	4 - < 10 y	5 y
Early adolescence	30 - < 50 kg	10 - < 14 y	10 y
Late adolescence	50 - < 80 kg	14 - < 18 y	15 y

Für diese Arbeit wurden die Altersgruppen aus Tabelle 2 herangezogen. Um die Fälle den entsprechenden Altersgruppen zuteilen zu können, wurde das Alter bei der Untersuchung aus dem Geburtsdatum und dem Untersuchungsdatum berechnet. Für die statistischen Be-

rechnungen wurden für 0y alle bis unter einem Monat inkludiert. Für 1y wurden alle ab einem Monat bis unter vier Jahren berücksichtigt. Die Spanne für 5y geht ab vier Jahren bis unter 10 Jahre. 10y wurde für die Auswertung definiert als ab 10 Jahren bis unter 14 Jahre. Der Gruppe 15y wurden alle über 14 Jahre bis unter 18 Jahre zugeordnet.

Aus allen akquirierten Fällen wurde eine Stichprobe für die Messung an den Röntgenbildern ausgewählt: für jede Leistung wurde je vordefinierter Altersgruppe eine Untergruppe gebildet und innerhalb dieser jedem Fall eine Zufallszahl zugeordnet. Anschließend wurden die Fälle nach der Zufallszahl aufsteigend sortiert und die ersten 50 Fallnummern pro Altersgruppe und Leistung als Stichprobe definiert. Somit wurden pro Leistung für alle Altersgruppen maximal 250 Fälle inkludiert. Da es für die Leistung Oberarm insgesamt nur 257 Fälle gab, wurden alle davon möglichen in der Arbeit berücksichtigt.

Anschließend wurden die inkludierten Fälle pseudonymisiert, indem alle Nummern, die Rückschlüsse auf die Patientinnen und Patienten ermöglichen, gelöscht wurden. Stattdessen wurde jeder Fall mit dem jeweiligen Kürzel und aufsteigenden Zahlen versehen. Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die verwendeten Abkürzungen nach Pseudonymisierung.

Tabelle 3: Abkürzungen bei Pseudonymisierung

Oberarm	OA	Oberschenkel	OS
Ellbogen	EL	Knie	KN
Unterarm	UA	Unterschenkel	US
Handgelenk	HG	Sprunggelenk	SG

Für die MRT-Daten standen ab dem 01.01.2004 305 Fälle zur Verfügung. Das Untersuchungsalter der betroffenen Kinder lag zwischen null und 15 Jahren. Auf den MRT-Bildsequenzen wurden die obere Extremität, der Oberarm, der Ellbogen, der Unterarm, das Handgelenk, die untere Extremität, der Oberschenkel, das Knie, der Unterschenkel sowie das obere Sprunggelenk dargestellt. Bei der Analyse wurden alle Fälle inkludiert, bei denen der jeweils relevante Knochen zur Gänze zu sehen war. Ebenso musste eine T1-gewichtete Sequenz vorliegen und alle Ausschlusskriterien berücksichtigt werden (siehe Kapitel 2.3). Es werden nur MRT-Untersuchungen der Gruppen 5y und 10y berücksichtigt, da die meisten Extremitäten-Röntgenuntersuchungen im Jahr 2015 einschließlich Jänner 2016 in diesen beiden Altersgruppen durchgeführt wurden.

2.2 Analysierte Parameter

Für jeden Fall wurden das Geschlecht, das Geburtsdatum und das Datum der Untersuchung aus openMedocs erhoben. Dadurch konnte das Alter bei Untersuchung berechnet werden.

Aus dem eRöntgenpass in openMedocs wurden die effektive Dosis in mSv sowie die dosimetrische Messgröße in cGycm^2 , Dosisflächenprodukt, ermittelt.

Anschließend wurden die Röntgenbilder in PACs geladen. Mittels des vorinstallierten Lineals wurden pro Knochen pro Ebene drei Messungen in mm durchgeführt, damit bei schräg angeschnittenen Knochen der Durchschnitt innerhalb der miterfassten Markhöhle ermittelt werden konnte. Es handelt sich aufgrund der Divergenz der Röntgenstrahlen nach dem Abstandgesetz um leicht vergrößerte Werte, die für die weitere Bearbeitung unkorrigiert herangezogen wurden. In Abbildung 3 ist eine dieser drei Messungen exemplarisch dargestellt. Bis zum 10. Lebensjahr wurden die Epiphysen nicht mitgemessen, da diese in den Tabellen von Kuhn et al. (2003: 2043ff), *Linear Growth of Long Bones of Limbs from Infancy through Adolescence*, Werte für die 50. Perzentile siehe Anhang 2, die als Grundlage für die Prozent-Berechnungen des miterfassten Knochenanteils dienten, erst ab dem 10. Lebensjahr inkludiert sind.



Abbildung 3: OS, Tibia-Messung in Röntgenbild, Gruppe 5y

Die MRT-Messungen wurden mittels Horos Project, Onde Rulers und ImageJ analysiert. Dabei wurden die Gesamtknochenlänge sowie die Länge des Knochenabschnitts mit rotem Knochenmark in der Markhöhle in einer T1-gewichteten Sequenz gemessen. Dazu wurde in der Gruppe 5y die Länge von der Epiphysenplatte bis zu dem Teil der Diaphyse gemessen, an dem der Übergang von rotem zu gelben Knochenmark festgestellt wurde. In der Gruppe 10y wurden diese Längen inklusive Epiphyse gemessen, um die Längen später mit den durchschnittlichen Gesamtknochenlängen nach Kuhn et al. (2003: 2043ff) in Verhältnis setzen zu können. Ebenso wurden die untersuchte Körperseite sowie das Alter bei Untersuchung erfasst. Abbildung 4 zeigt die Messung des Knochenmarks einer rechten, proximalen Tibia in einer MRT-Untersuchung der Unterschenkel in T1-gewichteter Sequenz.

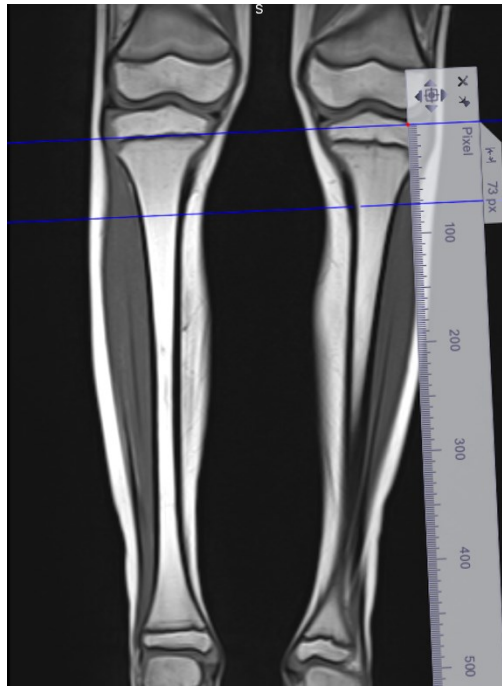


Abbildung 4: Knochenmarkslängenmessung, proximale Tibia, Gruppe 5y

2.3 Ausschlusskriterien

Fälle, die mittels Bildwandler im Operationssaal aufgenommen wurden, wurden nach Erstellung der Stichprobe nicht berücksichtigt. Mangels Vergleichbarkeit wurden auch jene Bilder nicht berücksichtigt, deren Messung nur in Pixel möglich war.

Die Ausschlusskriterien der Fälle für die MRT-Bilder wurden strenger definiert. Durch Pathologien im untersuchten Bereich wird das rote Knochenmark beeinflusst, wodurch die natürliche Konversion des roten ins gelbe Knochenmark nicht untersucht werden kann. Aus diesem Grund durfte in den gemessenen MRT-Untersuchungen kein Knochenbruch vorliegen und die Diagnose durfte nicht direkt den zur Messung herangezogenen Knochen betreffen. Auch durften weder Exostosen noch Tumore vorliegen. Zusätzlich wurden Fälle ausgeschlossen, bei denen ein Knochenmarködem bestand.

2.4 Datenverarbeitung und statistische Analyse

Die Datenverarbeitung fand in Microsoft Excel und Matlab statt. Für jeden Fall wurde ein arithmetischer Mittelwert der drei Längenmessungen pro Knochen für jedes Röntgen berechnet. Dieser wurde anschließend mit der Länge des entsprechenden Knochens verglichen. Die Längen beziehen sich auf die 50% Perzentile des linearen Wachstums der Röhrenknochen. Dafür wurden zwei Tabellen herangezogen (vgl. Kuhn et al. 2003: 2043ff), siehe Anhang 2, die den Wachstumsverlauf der Röhrenknochen der Extremitäten bei Mäd-

chen und Buben anführen. Es werden die durchschnittlichen Längen im Alter von zwei und vier Monaten sowie ab dem 6. Lebensmonat bis zum 18. Lebensjahr in 6-Monatsschritten aufgelistet. Bis zum 9. Lebensjahr und 6 Monaten wurde die Länge zwischen den Epiphysen angegeben, ab dem 10. Lebensjahr wurden die Epiphysen inkludiert.

Um die statistisch am ehesten zutreffende Gesamtlänge des entsprechenden Knochens auszuwählen, wurden Geschlecht und Alter bei Untersuchung berücksichtigt. Zur Approximierung der Gesamtknochenlänge der untersuchten Fälle mittels durchschnittlichem Längenknöchenwachstum wurde das Untersuchungsalter in 6-Monats-Schritte umgerechnet. Dabei wurden dem jeweiligen 6-Monats-Schritt alle Fälle zugeordnet, die bis zu zwei Monate jünger oder bis zu drei Monate älter waren. Beispielsweise wurden dem Alter von 6 Jahren und 6 Monaten, welches umgerechnet in Monate eine Zahl von 78 Monaten ergibt, somit Werte von 76 bis 81 Monate zugeteilt.

Anschließend konnte mithilfe der zugeordneten Gesamtlänge und des arithmetischen Mittelwertes der drei im Röntgenbild gemessenen Werte der prozentuelle Anteil des untersuchten Knochens berechnet werden. Somit können Aussagen darüber getätigt werden, wie viel Prozent eines Knochens bei einer Leistung je Altersgruppe auf einem Röntgenbild durchschnittlich mitabgebildet wurden.

Aus der von jeweils proximal bzw. distal ausgehend gemessenen Länge des roten Knochenmarks wurde jeweilige prozentuelle Anteil des roten Knochenmarks zur Gesamtknochenlänge in Verhältnis gesetzt. Je nach Leistung und gemessenem Knochen in den Röntgenbildern konnte so der für den Knochen repräsentative Wert für die weiteren Berechnungen herangezogen werden. Für die Messung des Tibiaanteils am Oberschenkelröntgen wurde beispielsweise der proximale Anteil des roten Knochenmarks der Tibia für die weiteren Berechnungen herangezogen.

Für die berechneten prozentuellen Anteile des roten Knochenmarks wurde pro Knochen und Altersgruppe der arithmetische Mittelwert errechnet. Anschließend wurde aus dem arithmetischen Mittelwerte und der altersdurchschnittlichen Gesamtlänge des Knochens der 50. Perzentile laut Kuhn et al. (2003: 2043ff), die Länge des Knochenmarks für jeden einzelnen Fall der Röntgenuntersuchungen ermittelt. Anhand der errechneten absoluten Knochenmarkslänge wurde der prozentuelle Teil des roten Knochenmarks im miterfassten Knochenteil am Röntgenbild erschlossen. Da sich das Knochenmark zwar über den gemessenen Knochenanteil hinaus in Richtung Diaphyse erstrecken kann, die Belastung durch

Röntgenstrahlung aber nur den Anteil an der am Röntgen miterfassten Knochenlänge betrifft, wurde der Wert auf 100% begrenzt.

Im Rahmen der Auswertung sollen folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

1. Befindet sich in den Altersgruppen 5y und 10y im vom Röntgenbild erfassten, gemessenen Knochenteil rotes Knochenmark?
2. Gibt es einen Unterschied zwischen den Gruppen 5y und 10y betreffend den roten Knochenmarksanteil im gemessenen Teil am Röntgenbild?
3. Unterscheiden sich die Altersgruppen 5y und 10y im Anteil des im Röntgenbild gemessenen miterfassten Knochens?
4. Verhält sich der Anteil des roten Knochenmarks im Anteil des gemessenen Knochenteils am Röntgenbild bezogen auf das Alter linear? Ist ein Trend zu erkennen, ob der Anteil des roten Knochenmarks mit zunehmendem Alter zu oder abnimmt?
5. Wie hoch ist die effektive Dosis pro Röntgenuntersuchung für jede Leistung und Altersgruppe? Ergeben sich Unterschiede zwischen den einzelnen Altersgruppen?
6. Wie viel rotes Knochenmark kann in Altersgruppen 5y und 10y je Leistung und Ebene durchschnittlich vor Strahlenbelastung geschützt werden, indem man den Anteil an angeschnittenen Knochen, die laut Einstelltechnik nicht vollständig am Röntgenbild abgebildet sein müssen, reduziert?

Die erste Forschungsfrage kann beantwortet werden, indem der Anteil an rotem Knochenmark im MRT-Bild für jede Leistung pro entsprechendem Knochenende und pro Altersgruppe gemessen wird. Um die zweite und dritte Forschungsfrage beantworten zu können, muss untersucht werden, ob es zwischen den zwei Altersgruppen Unterschiede hinsichtlich der zentralen Tendenz des Anteils an rotem Knochenmark im vom Röntgenbild mitabgebildeten Knochenteil gibt und ob es zwischen den Altersgruppen 5y und 10y Unterschiede am Anteil des bei der Röntgenuntersuchung miterfassten Knochenteils gibt. Als Maße der zentralen Tendenz werden Mittelwert und Median herangezogen. Es handelt sich um unabhängige Stichproben, da nicht dieselbe Person zu zwei verschiedenen Zeitpunkten untersucht wurde. Da keine Normalverteilung angenommen werden kann, wird zur Beantwortung der zweiten und dritten Forschungsfrage der Mann-Whitney-U-Test herangezogen, der als Nullhypothese annimmt, dass die Daten zwischen den beiden Altersgruppen Stichproben aus einer kontinuierlichen Verteilung mit gleichen Medianen sind.

Um die vierte Forschungsfrage beantworten zu können, gilt es zu testen, ob zwischen dem Alter und dem Anteil des roten Knochenmarks im gemessenen Knochenanteil am Röntgenbild ein Zusammenhang besteht. Wenn sich eine Korrelation bestätigt, soll herausgefunden werden, wie dieser Zusammenhang gerichtet ist. Um einen potenziellen linearen Zusammenhang zu messen, wird der Pearson-Korrelationskoeffizient berechnet. Zur Beantwortung der fünften Forschungsfrage werden die effektiven Dosen im eRöntgenpass in openMedocs ermittelt und verglichen.

Um die sechste Forschungsfrage beantworten zu können, müssen zuerst folgende Annahmen gemacht werden: Vorausgesetzt die überwiegende Mehrheit der in der Arbeit untersuchten Extremitätenröntgen sind bezugnehmend auf die Einstelltechniken aus Kapitel 1.7 korrekt aufgenommen, kann man schlussfolgern, dass die maximal benötigte Länge der Miterfassung der angrenzenden Knochen der kleinste Prozentsatz einer Altersgruppe aller durchschnittlichen miterfassten Knochenlängen pro Leistung und untersuchten Knochen ist. Wenn man davon ausgeht, dass alle untersuchten Röntgen den Voraussetzungen der Einstelltechniken aus Kapitel 1.7 gerecht werden, kann man pro Leistung und untersuchtem Knochen den prozentuellen Mindestanteilstwert der Knochenlänge als Maximum heranziehen. Wenn sich der Mindestprozentwert auf 0% beläuft, kann jedoch nicht von einer korrekten Einstelltechnik ausgegangen werden, da ein Gelenk eine Verbindung mindestens zweier Knochen ist und, wie in Kapitel 1.7 bereits beschrieben ist, beispielsweise beim Röntgen des Oberarms beide angrenzenden Gelenke miterfasst sein sollten. Somit kann der Anteil an rotem Knochenmark im miterfassten Knochenteil berechnet werden, der durch Reduktion der Miterfassung auf den neu definierten Maximalwert eingespart werden kann.

3 Ergebnisse – Resultate

Dieser Abschnitt ist in drei Ergebnisblöcke geteilt. Zuerst wird die deskriptive Statistik betreffend die Röntgenuntersuchungen beschrieben. Anschließend werden die Hypothesen anhand der MRT-Daten getestet. Dann werden die pro Röntgen angegebenen effektiven Dosen pro Leistung und Altersgruppe beschrieben.

3.1 Röntgenuntersuchungen

Es wurden Röntgenuntersuchungen der Leistungen Oberarm, Ellbogen, Unterarm, Handgelenk, Oberschenkel, Knie, Unterschenkel und Sprunggelenk in die Arbeit miteinbezogen und die durchschnittlich miterfassten Knochenanteile pro Altersgruppe in den nachfolgenden Tabellen mitsamt der Standardabweichung dargestellt. Die geschlechtsspezifischen Werte können den Tabellen in Anhang 4 entnommen werden. Je Leistung und Knochen werden die Fälle zusammenfassend dargestellt. Die Ergebnisse je Leistung werden in Boxplots abgebildet, der Median ist als Linie in der Box dargestellt, während die Rauten den arithmetischen Mittelwert markieren. Die Whisker kennzeichnen den Maximalwert innerhalb des 1,5-fachen Interquartilsabstandes. Ausreißer wurden mit x benannt.

3.1.1 Leistung Oberarm

Nach Berücksichtigung der Ausschlusskriterien wurden für die Leistung Oberarm 182 Fälle analysiert. Aufgrund der geringen Grundgesamtheit von 257 Fällen sind die analysierten Fälle nicht gleichmäßig auf die Altersgruppen verteilt. In der Altersgruppe 0y wurden nur Mädchen untersucht. Die Altersgruppe 1y teilt sich in 9 Mädchen und 7 Buben. Zur Gruppe 5y zählen 22 Mädchen und 18 Buben. Die größte Altersgruppe 10y besteht aus 33 Mädchen und 47 Buben. Die Gruppe 15y beinhaltet 12 Mädchen und 29 Buben. Die meisten Oberarmröntgen wurden in der Altersgruppe 10y durchgeführt. In der seitlichen Projektion wurde, im Gegensatz zur anterior-posterioren Aufnahme in allen Altersgruppen durchschnittlich ein größerer Teil des Unterarmes miterfasst.

3.1.1.1 Radius

Bei den jüngeren Altersgruppen wurde prozentuell ein größerer Teil des Radius am Röntgenfilm abgebildet. Das ist Tabelle 4 zu entnehmen. Der größte Anteil wird in seitlicher Projektion in der Gruppe 0y miterfasst und beträgt 35,61%, in ap-Projektion liegt der größte arithmetische Mittelwert mit 33,42% ebenfalls in der Gruppe 0y. Die hohe Standardabweichung in der Altersgruppe 0y in ap-Projektion lässt sich dadurch erklären, dass bei einem Fall über 75% des Radius beim Röntgen miterfasst wurden, wie am Boxplot 0y in

Abbildung 6 erkennbar ist. Der größte Interquartilsabstand findet sich in seitlicher Projektion in der Altersgruppe 0y, der kleinste in der Gruppe 10y. In ap-Projektion nimmt die Spannweite von Gruppe 0y und 1y zu den älteren Gruppen hin ab. Das bedeutet, dass mit zunehmendem Alter der vom Röntgen erfasste Knochenteil immer geringer variiert. Auffällig ist in ap Projektion ebenso, dass die unteren Whisker der Gruppen 5y, 10y und 15y den Wert null Prozent erreichen. Die Verteilung der Daten wird in Abbildung 5 für die seitliche und in Abbildung 6 für die ap-Projektion veranschaulicht.

Tabelle 4: OA, Radiusmessungen, gesamt

Gesamt					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	5	35.61	11.47	33.42	24.85
1y	16	33.78	12.05	20.97	14.72
5y	40	30.79	11.22	18.30	12.02
10y	80	23.28	7.78	17.43	10.33
15y	41	25.30	9.88	14.67	8.12

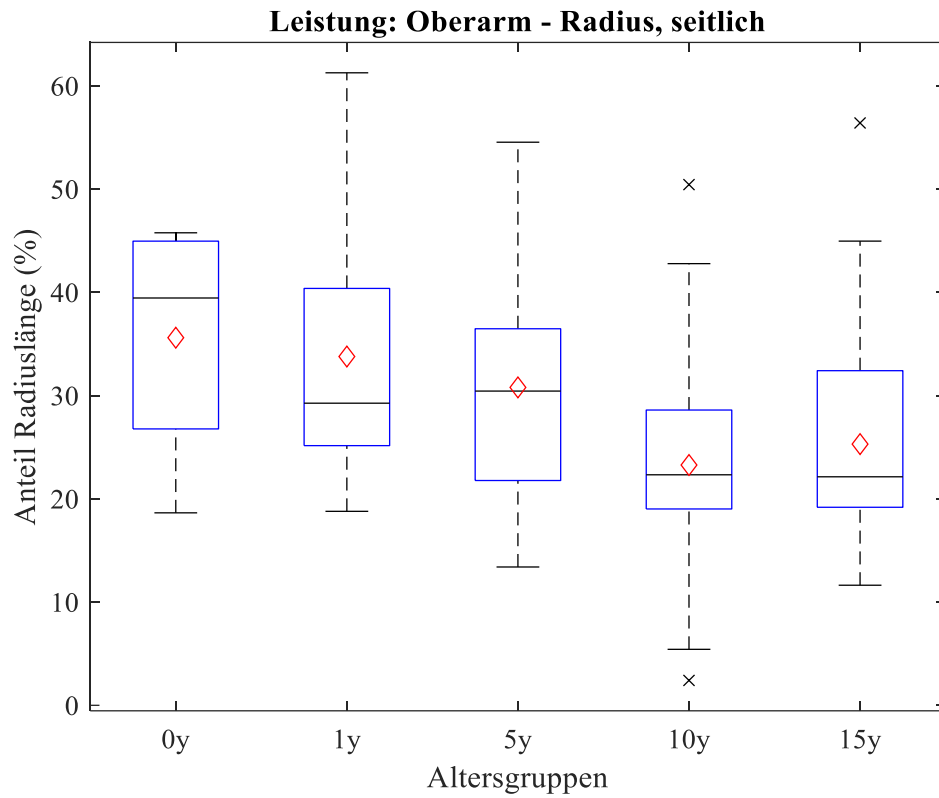


Abbildung 5: OA, Radiusmessungen, seitlich

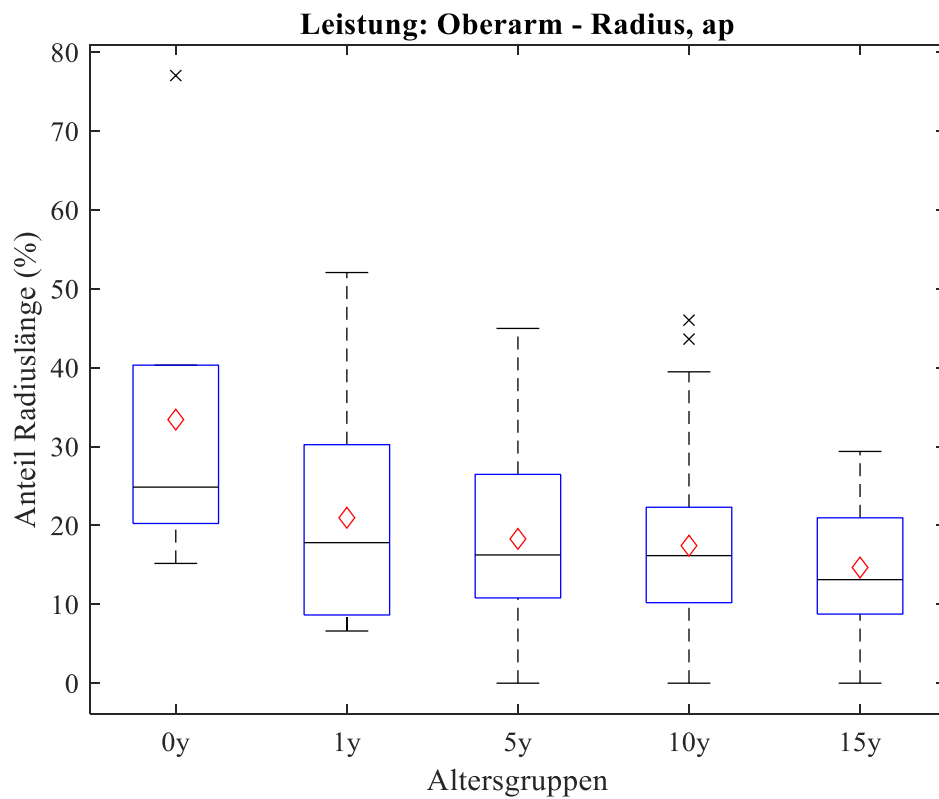


Abbildung 6: OA Radiusmessungen, ap

3.1.1.2 Ulna

Den größten durchschnittlichen Wert findet man in seitlicher Projektion in der Altersgruppe 1y. Gruppe 15y weist in seitlicher Projektion die größte Standardabweichung auf. In ap-Projektion liegt der größte arithmetische Mittelwert in Altersgruppe 0y und beträgt 31,48%. Das ist Tabelle 5 zu entnehmen. Ein Ausreißer in Gruppe 15y in seitlicher Projektion sowie ein Ausreißer in Gruppe 10y in ap-Projektion liegt bei 0%. Ebenso erreichen die unteren Whisker der Gruppen 5y und 15y in ap-Projektion den Wert 0%. Der größte Interquartilsabstand liegt bei Gruppe 1y in ap-Projektion. In Abbildung 7 und Abbildung 8 wird die Verteilung der Daten in den einzelnen Projektionen dargestellt.

Tabelle 5: OA, Ulnamessungen, gesamt

Gesamt					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	5	36.44	10.12	31.48	7.57
1y	16	44.03	10.35	29.95	12.69
5y	40	37.37	10.00	23.59	12.64
10y	80	32.15	7.62	24.31	10.59
15y	41	33.00	11.67	22.66	9.19

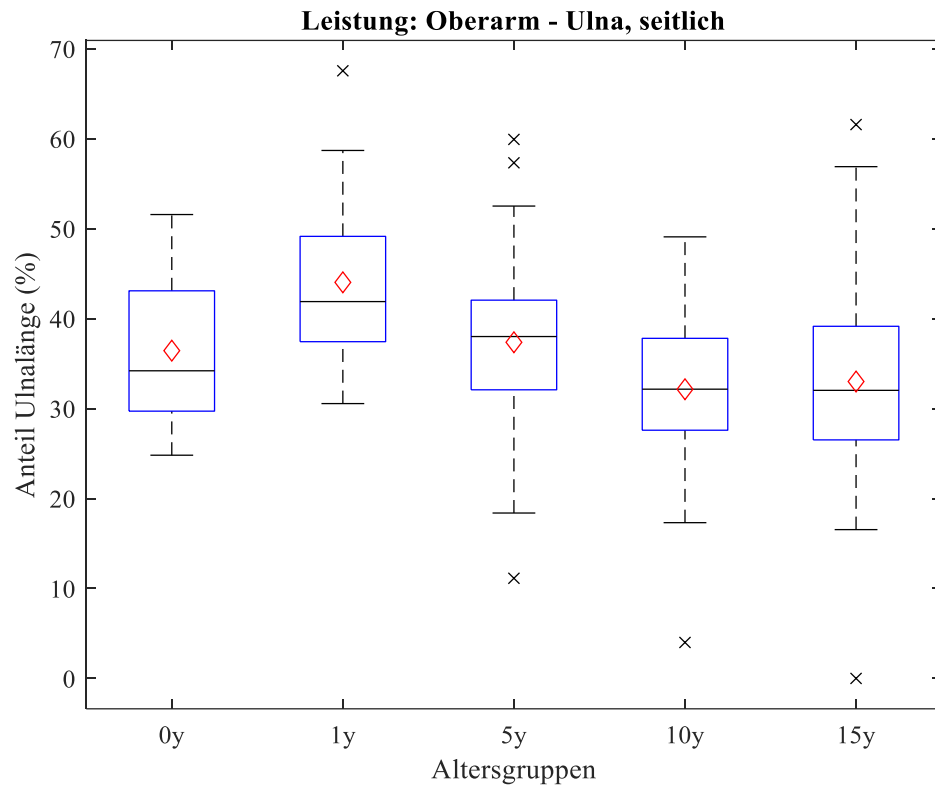


Abbildung 7: OA, Ulnamessungen, seitlich

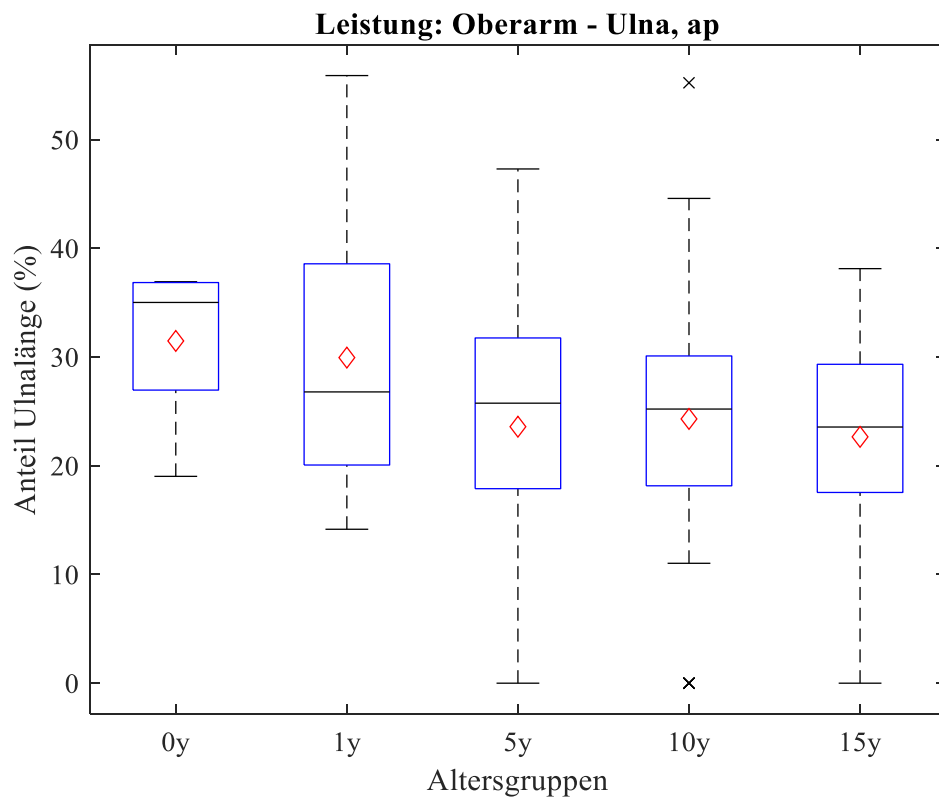


Abbildung 8: OA, Ulnamessungen, ap

3.1.2 Leistung *Ellbogen*

Beim Ellbogen wurden Humerus, Radius und Ulna gemessen, die gemeinsam den knöchernen Teil des Ellbogens bilden. Im untersuchten Zeitraum wurden 1285 Röntgen des Ellbogengelenkes angefertigt. Die Fallzahl der Röntgenuntersuchungen nach Berücksichtigung der Ausschlusskriterien beträgt 194. In der Altersgruppe 0y wurden für diese Leistung keine Röntgenuntersuchungen durchgeführt. Die Gruppe 1y wird aus 18 Mädchen und 28 Buben gebildet. Die Gruppe 5y besteht aus 28 Mädchen und 25 Buben. Bei der Altersgruppe 10y wurden die Knochen von 27 Mädchen und 25 Buben untersucht. Die Geschlechterverteilung der Gruppe 15y unterteilt sich in 8 Mädchen und 37 Buben.

3.1.2.1 Humerus

Bei der Leistung Ellbogen wurde bei den jüngeren Altersgruppen durchschnittlich ein größerer Teil des Humerus am Röntgenbild erfasst. In seitlicher Projektion beträgt der höchste arithmetische Mittelwert 48,54% und betrifft wie die höchste Standardabweichung in der Projektion die Altersgruppe 1y. In ap-Projektion beträgt der durchschnittlich höchste Wert 43,33% und liegt in der Gruppe 5y. Die größte Standardabweichung in ap-Projektion lässt sich in der Altersgruppe 5y beobachten. Das ist Tabelle 6 zu entnehmen. Abbildung 9 zeigt, dass die arithmetischen Mittelwerte mit zunehmendem Alter abnehmen. Ebenso verringert sich der Interquartilsabstand in seitlicher Projektion mit zunehmendem Alter. Ein hoher Ausreißer von über 80% in Altersgruppe 5y in ap-Projektion ist in Abbildung 10 ersichtlich. Ein Vergleich der beiden Abbildungen lässt erkennen, dass in seitlicher Projektion durchschnittlich ein größerer Anteil des Humerus abgebildet ist, als in ap-Projektion.

Tabelle 6: EL, Humerusmessungen, gesamt

Gesamt					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
1y	46	48.54	8.59	43.00	8.09
5y	53	41.99	7.15	43.33	9.51
10y	50	34.92	7.16	33.65	6.33
15y	45	33.60	6.61	32.23	6.64

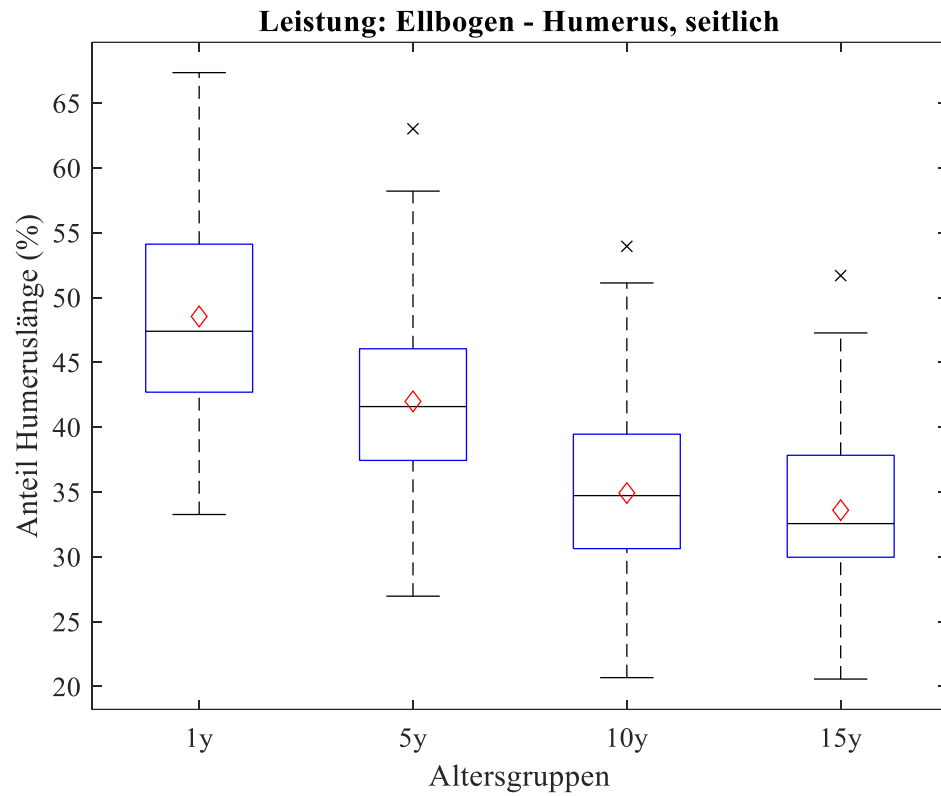


Abbildung 9: EL, Humerusmessungen, seitlich

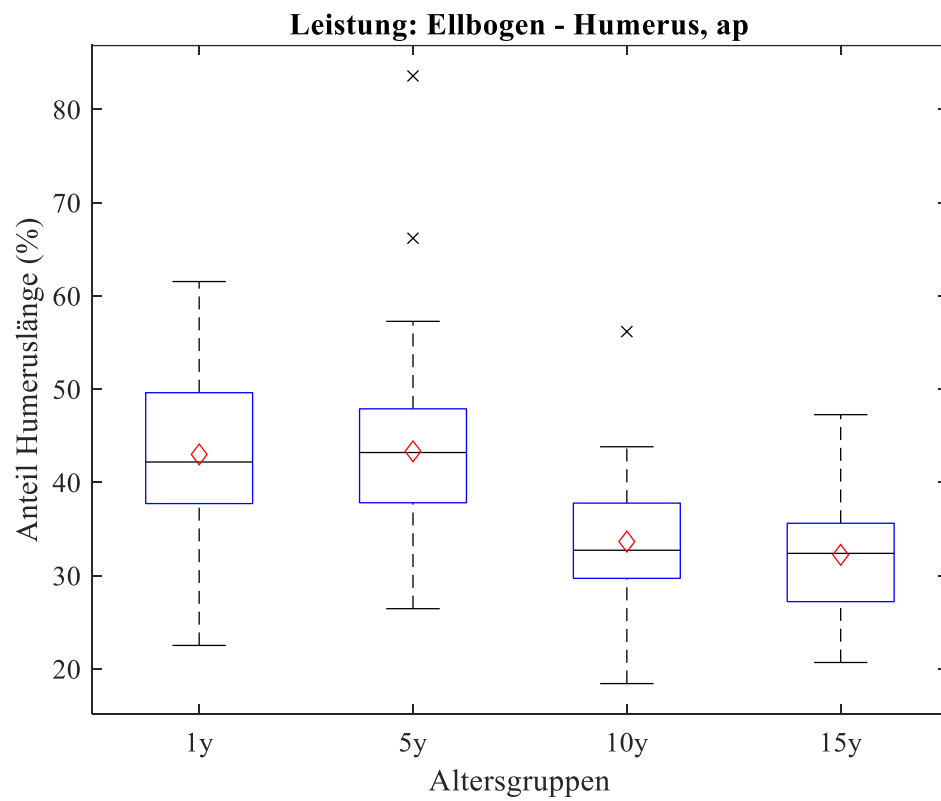


Abbildung 10: EL, Humerusmessungen, ap

3.1.2.2 Radius

Bei Betrachtung der Abbildung 11 und Abbildung 12 fällt auf, dass beim Ellbogenröntgen die Ausreißer bei der Miterfassung des Radius sehr hoch sind. Dieser Umstand kann dadurch zustande kommen, dass zur Berechnung des prozentuellen Anteils als Gesamtlänge die durchschnittliche Knochenlänge der 50. Perzentile herangezogen wurde. Es ist jedoch bei einem Wert von über 100% davon auszugehen, dass die Knochenlänge einer höheren Perzentile zuzuordnen ist. Tabelle 7 stellt dar, dass die durchschnittlich höchsten miterfassten Radiusanteile und die größten Standardabweichungen in beiden Projektionen in Gruppe 1y zu finden sind. Ebenfalls fällt auf, dass der arithmetische Mittelwert der miterfassten Radiusanteile mit zunehmender Altersgruppe abnimmt.

Tabelle 7: EL, Radiusmessungen, gesamt

Gesamt					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
1y	46	44.29	13.41	44.06	15.70
5y	53	39.70	12.85	36.13	13.23
10y	50	33.54	9.60	30.65	13.00
15y	45	30.77	6.61	30.41	8.42

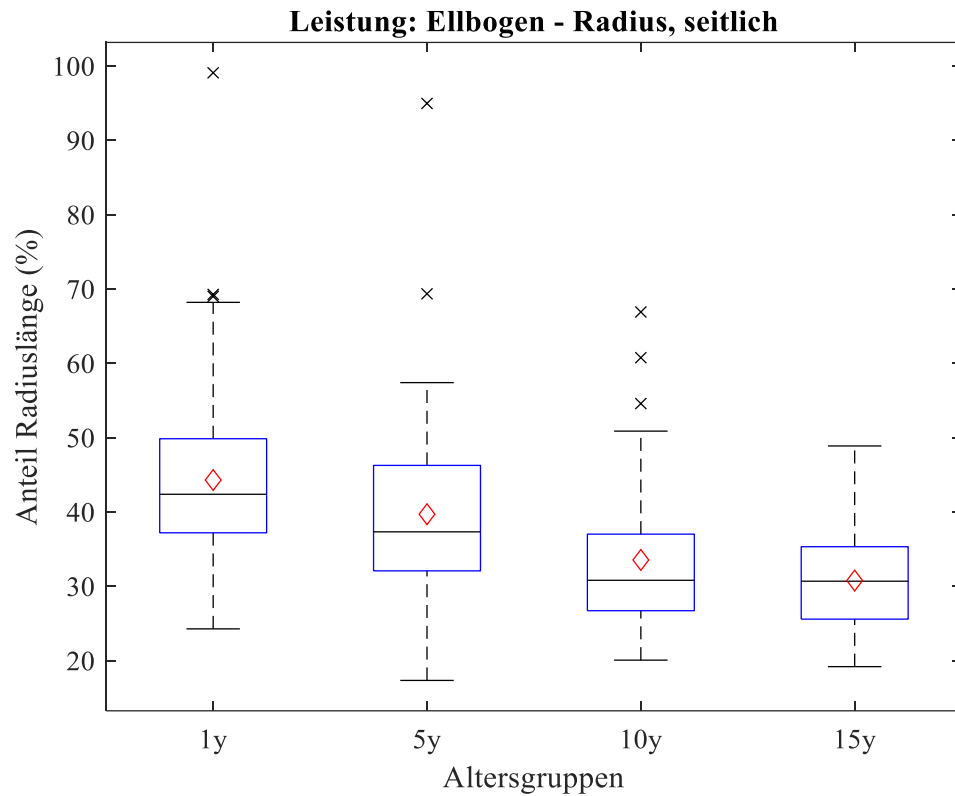


Abbildung 11: EL, Radiusmessungen, seitlich

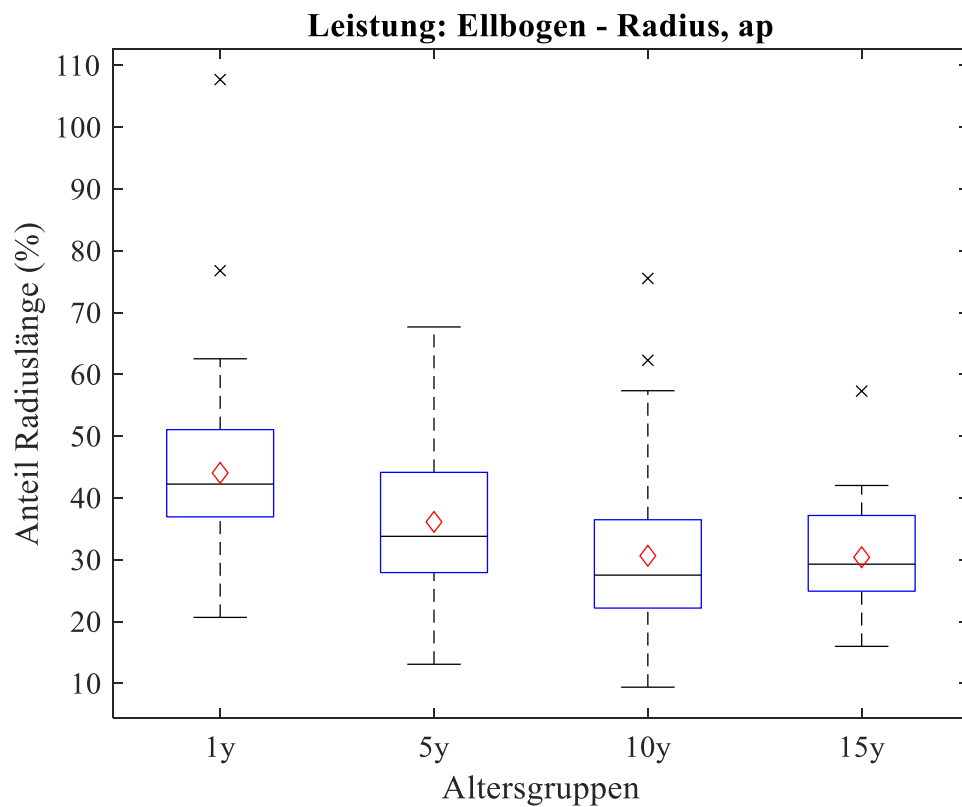


Abbildung 12: EL, Radiusmessungen, ap

3.1.2.3 Ulna

Analog zu den Messungen des Radius fallen bei Betrachtung der Abbildung 13 und Abbildung 14 die hohen Ausreißer auf, die aus oben beschriebenen Grundzustände kommen. Tabelle 8 ist zu entnehmen, dass in der seitlichen Projektion in der Gruppe 15y der geringste Knochenanteil miterfasst wurde, während in ap-Projektion diese Aussage auf Gruppe 10y zutrifft. In beiden Projektionen in Gruppe 1y wurde der durchschnittlich größte Anteil der Ulna im Ellbogenröntgenbild miterfasst. Auch die größten Standardabweichungen liegen bei beiden Projektionen in Altersgruppe 1y. Das ist in Tabelle 8 ersichtlich. Der größte Interquartilsabstand befindet sich ebenso in Altersgruppe 1y.

Tabelle 8: EL, Ulnamessungen, gesamt

Gesamt					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
1y	46	52.70	11.97	48.91	16.54
5y	53	46.21	11.67	39.13	12.93
10y	50	41.46	9.29	35.95	13.74
15y	45	39.71	7.39	37.89	9.07

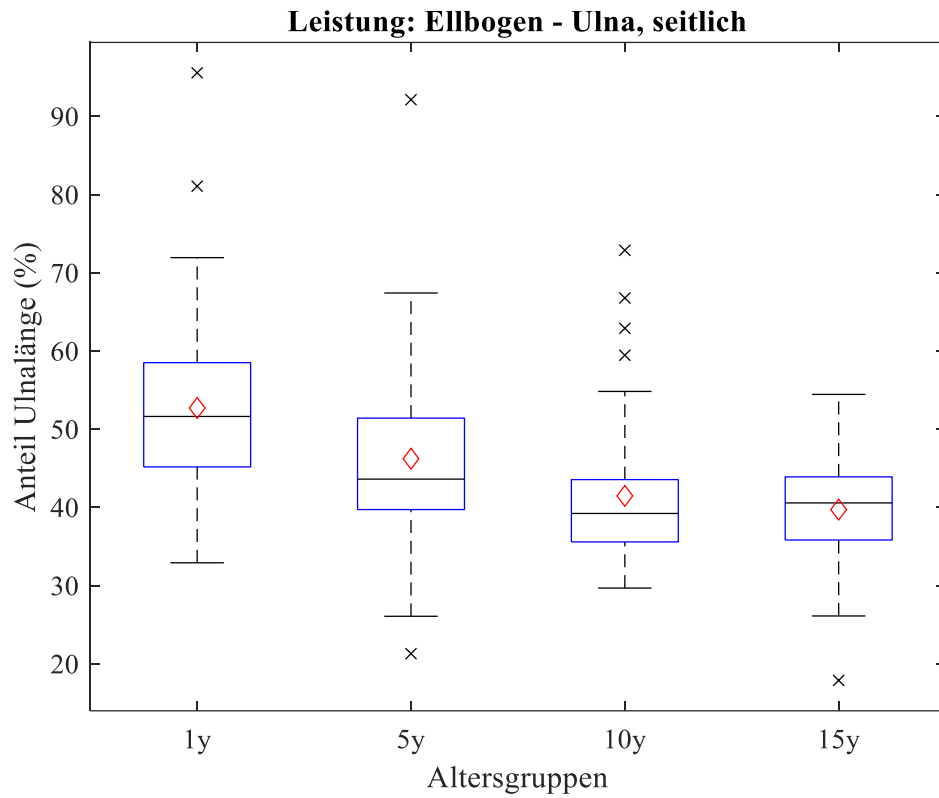


Abbildung 13: EL, Ulnamessungen, seitlich

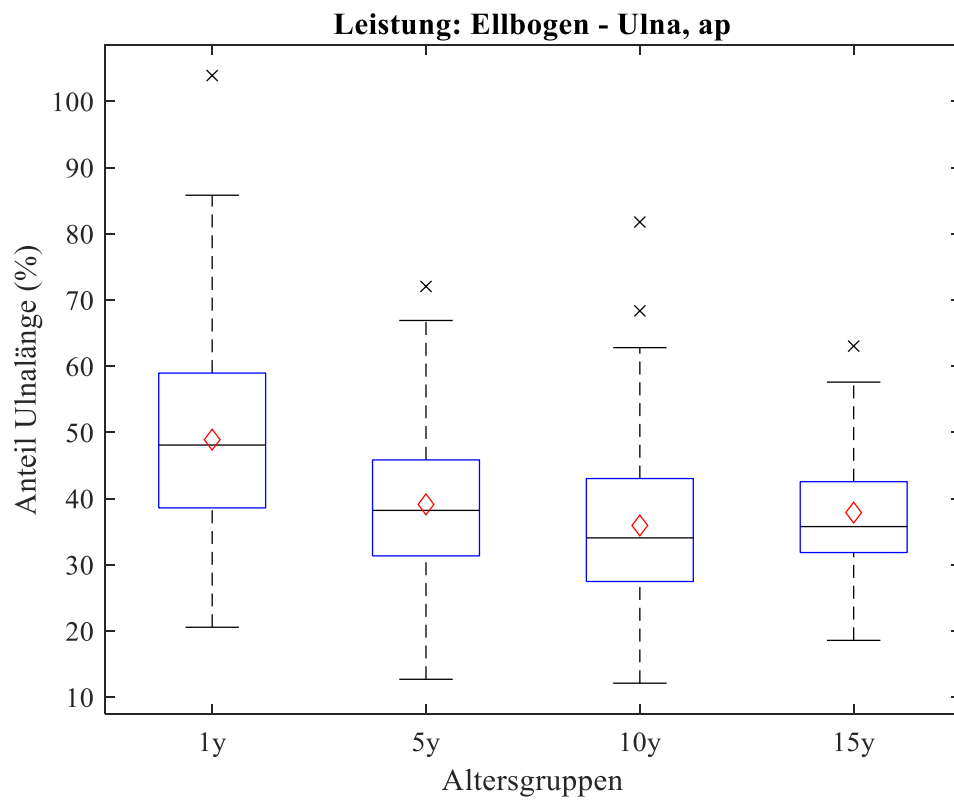


Abbildung 14: EL, Ulnamessungen, ap

3.1.3 Leistung Unterarm

Von ursprünglich 1328 Fällen wurden nach zufälliger Auswahl der Stichprobe und Berücksichtigung der Ausschlusskriterien 197 Untersuchungen bearbeitet, wobei kein Unterarmröntgen in der Altersgruppe 0y angefertigt wurde, wie Tabelle 9 zu entnehmen ist. Die Gruppe 1y besteht aus 30 Mädchen und 20 Buben, während die Gruppe 5y aus 19 Mädchen und 31 Buben besteht. In der Altersgruppe 10y wurden die Röntgenbilder von 24 Mädchen und 26 Buben untersucht. Zur Gruppe 15y zählen 10 Mädchen und 37 Buben.

In der seitlichen Projektion konnte ein durchschnittlich größerer Teil des Humerus am Röntgenbild gemessen werden. Mit 23,74% in seitlicher und 22,98% in ap-Projektion wurden die größten arithmetischen Mittelwerte in Gruppe 1y beobachtet. Auch die Standardabweichungen für beide Projektionen ist in Altersgruppe 1y am höchsten. Tabelle 9 stellt diese Gegebenheiten dar. Auffallend in Abbildung 15 ist, dass in jeder abgebildeten Altersgruppe ein Ausreißer bei null ist, also der Humerus nicht miterfasst wurde. In Abbildung 16 befindet sich in Gruppe 1y, 5y und 10y der untere Whisker bei null. Also gibt es ebenfalls Röntgenbilder in ap-Projektion, auf denen der Humerus beim Unterarmröntgen nicht mitabgebildet wurde. Der Interquartilsabstand nimmt in beiden Projektionen mit steigendem Alter ab.

Tabelle 9: UA, Humerusmessungen, gesamt

Gesamt					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
1y	50	23.74	9.89	22.98	12.26
5y	50	20.49	7.33	18.93	11.86
10y	50	17.88	4.83	15.45	8.93
15y	47	17.26	7.40	16.49	7.61

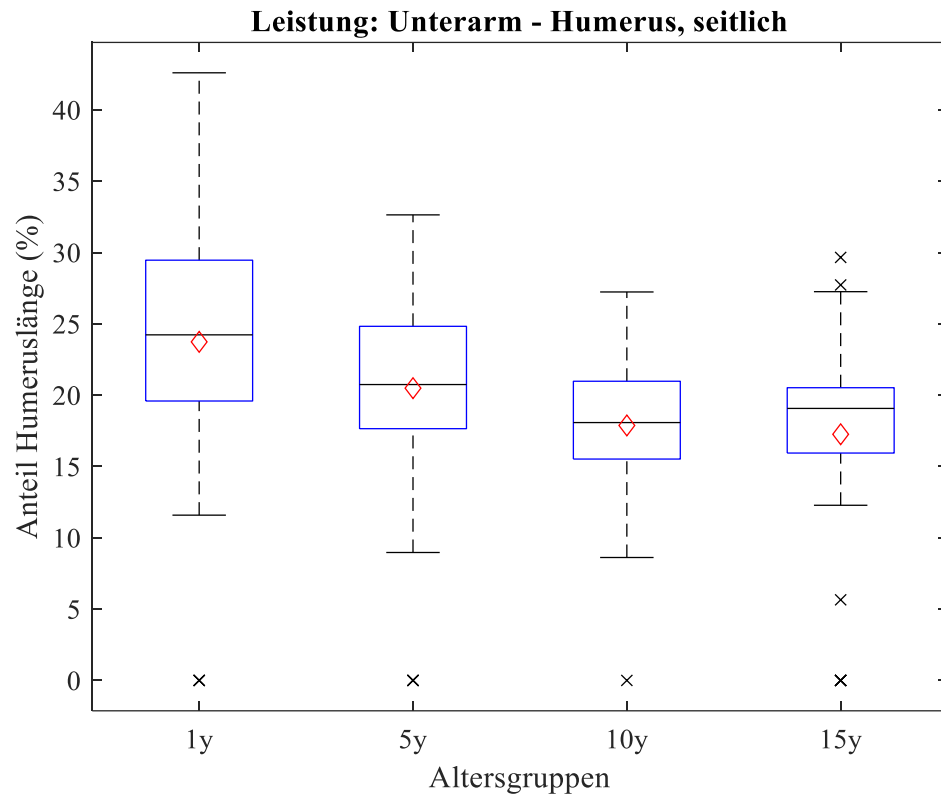


Abbildung 15: UA, Humerusmessungen, seitlich

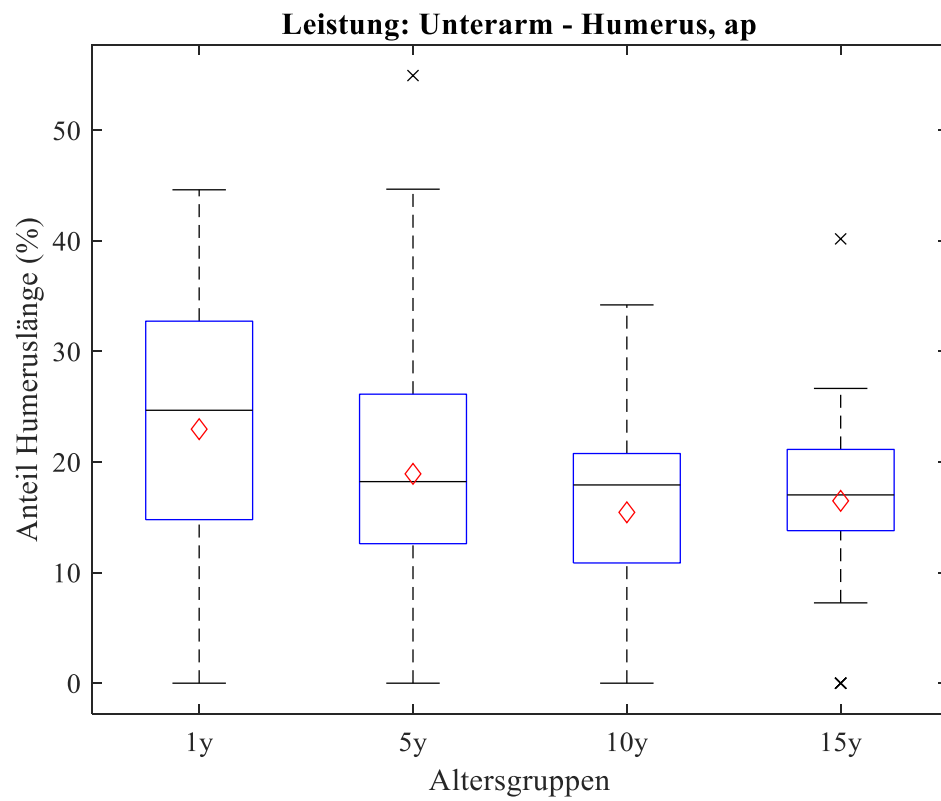


Abbildung 16: UA, Humerusmessungen, ap

3.1.4 Leistung *Handgelenk*

Im berücksichtigten Zeitraum wurden 1888 Handgelenkröntgen durchgeführt, diese wurden für diese Arbeit mittels zufälliger Auswahl unter Berücksichtigung der Ausschlusskriterien auf 196 eingegrenzt. In der Altersgruppe 0y wurden keine Handgelenksröntgen durchgeführt. Von den 50 untersuchten Fällen in Gruppe 1y und 5y war die Geschlechterverteilung genau ausgeglichen. In Gruppe 10y wurden 16 Mädchen und 34 Buben untersucht. Die Buben überwiegen in Gruppe 15y mit 41 Fällen gegenüber 5 Mädchen.

3.1.4.1 Radius

In seitlicher Projektion wurde etwas mehr Knochenanteil am Röntgenbild gemessen als in ap-Projektion. Der durchschnittlich größte Anteil des Radius wurde beim Handgelenksröntgen in beiden Ebenen in Altersgruppe 1y miterfasst. Gruppe 1y weist auch die größten Standardabweichungen in beiden Projektionen auf. Das ist Tabelle 10 zu entnehmen. Sowohl der Interquartilsabstand als auch der durchschnittlich miterfasste Knochenanteil nimmt mit zunehmendem Alter in seitlicher sowie in ap-Projektion ab. Das wird in Abbildung 17 sowie Abbildung 18 dargestellt.

Tabelle 10: HG, Radiusmessungen, gesamt

Gesamt					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
1y	50	60.66	15.37	56.44	16.51
5y	50	51.32	13.51	48.41	12.33
10y	50	44.48	13.00	42.18	11.39
15y	46	39.96	10.05	39.36	10.20

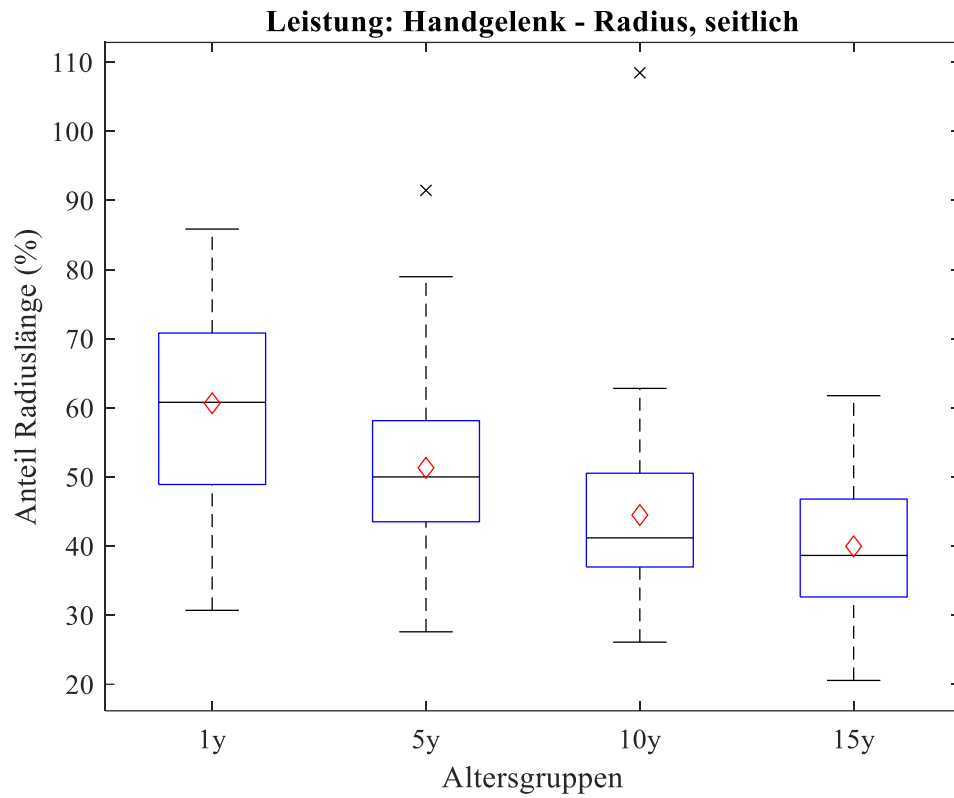


Abbildung 17: HG, Radiusmessungen, seitlich

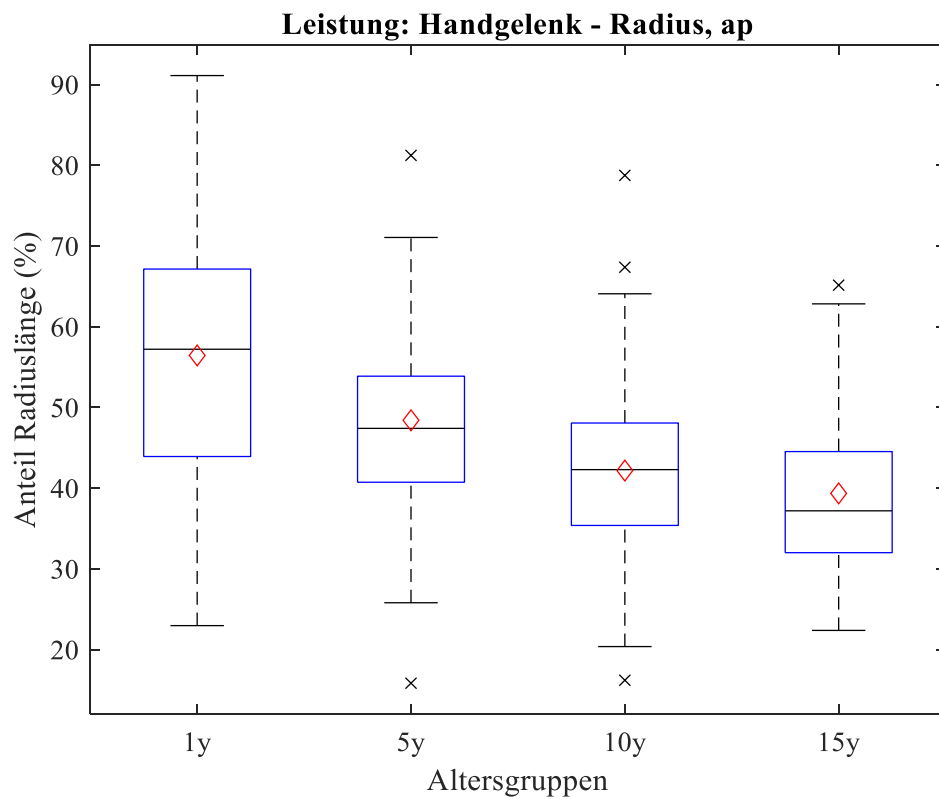


Abbildung 18: HG, Radiusmessungen, ap

3.1.4.2 Ulna

Mit 52,04% in seitlicher und 48,66% in ap-Projektion wurden in der Altersgruppe 1y die durchschnittlich größten Teile der Ulna im Handgelenksröntgen miterfasst. In seitlicher Projektion ist die höchste Standardabweichung in Gruppe 5y, in ap-Projektion jedoch in Gruppe 1y zu finden. Mit zunehmendem Alter der Kinder nimmt der durchschnittlich am Handgelenksröntgen miterfasste Ulnaanteil ab. Tabelle 11 und Abbildung 19 stellen das dar. In Abbildung 20 fällt der mit zunehmendem Alter geringer werdende Interquartilsabstand auf. Auch die gemessene Ulnalänge war in seitlicher Projektion mehr als in ap-Projektion, wie in Tabelle 11 zu sehen ist. Ebenso erkennt man anhand Abbildung 19 und Abbildung 20, dass mit zunehmendem Alter der Kinder die Miterfassung des gemessenen Knochens abnimmt.

Tabelle 11: HG, Ulnamessungen, gesamt

Gesamt					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
1y	50	52.04	13.77	48.66	14.65
5y	50	45.70	23.80	40.60	11.30
10y	50	38.40	12.30	37.00	10.93
15y	46	33.99	9.26	34.40	9.48

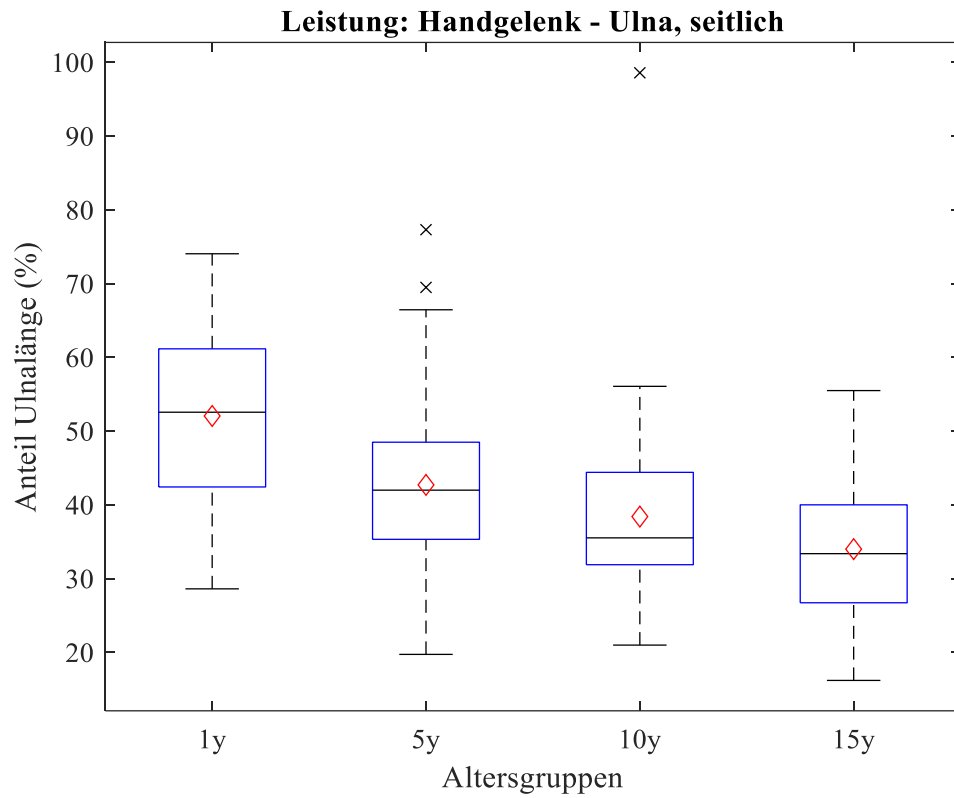


Abbildung 19: HG, Ulnamessungen, seitlich

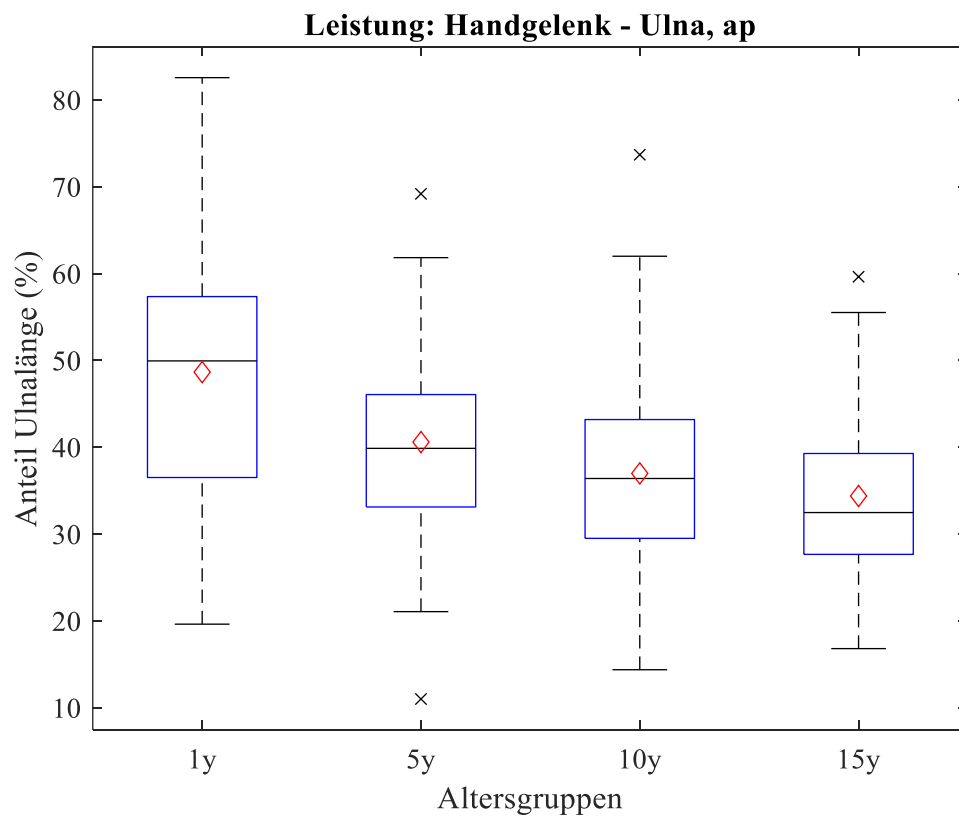


Abbildung 20: HG, Ulnamessungen, ap

3.1.5 Leistung Oberschenkel

Im untersuchten Zeitraum wurden 314 Oberschenkelröntgen angefertigt, von denen nach zufälliger Auswahl sowie Beachtung der Ausschlusskriterien 195 in der Arbeit verwendet wurden. Keine davon sind der Gruppe 0y zuzuzählen. Zur Gruppe 1y zählen 18 Mädchen und 35 Buben, in der Gruppe 5y ist die Verteilung ausgeglichener mit 18 Mädchen und 25 Buben. In den Altersgruppen 10y und 15y verhält sich die Geschlechterverteilung ähnlich: mit 10 Mädchen und 39 Buben in Gruppe 10y und 9 Mädchen und 38 Buben in Gruppe 15y.

3.1.5.1 Tibia

Bei Untersuchung der Oberschenkelröntgen der Altersgruppe 1y wurde in beiden Ebenen der durchschnittlich größte Anteil der Tibia miterfasst. Die größte Standardabweichung in seitlicher Projektion wurde in Gruppe 15y gemessen. Für ap-Projektion liegt die größte Standardabweichung in Gruppe 10y. Das ist aus Tabelle 12 ersichtlich. Anhand der mit zunehmendem Alter weiter unten zu liegen kommenden Boxen in Abbildung 21 kann man die Abnahme des miterfassten Tibiaanteils im Oberschenkelröntgen erkennen. Der größte Interquartilsabstand in ap-Projektion befindet sich in Altersgruppe 10y. Das ist in Abbildung 22 zu erkennen.

Tabelle 12: OS, Tibiamessungen, gesamt

Gesamt					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
1y	53	29.00	11.05	22.02	9.27
5y	46	17.67	10.21	10.93	7.57
10y	49	11.26	11.72	10.78	10.78
15y	47	7.32	11.90	7.29	9.36

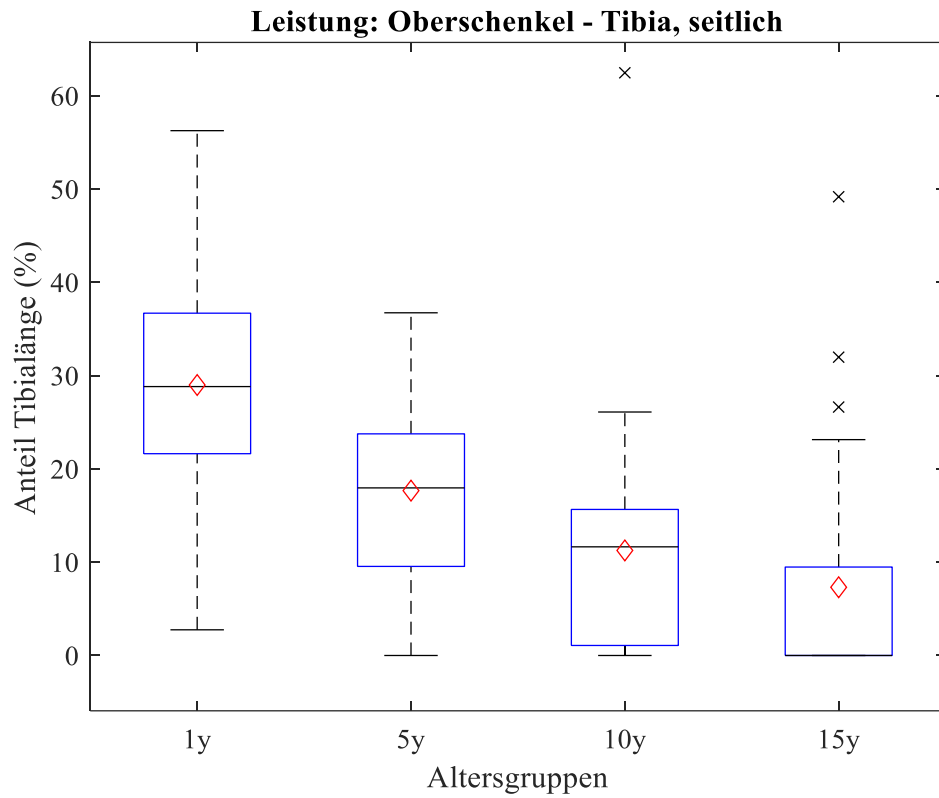


Abbildung 21: OS, Tibiamessungen, seitlich

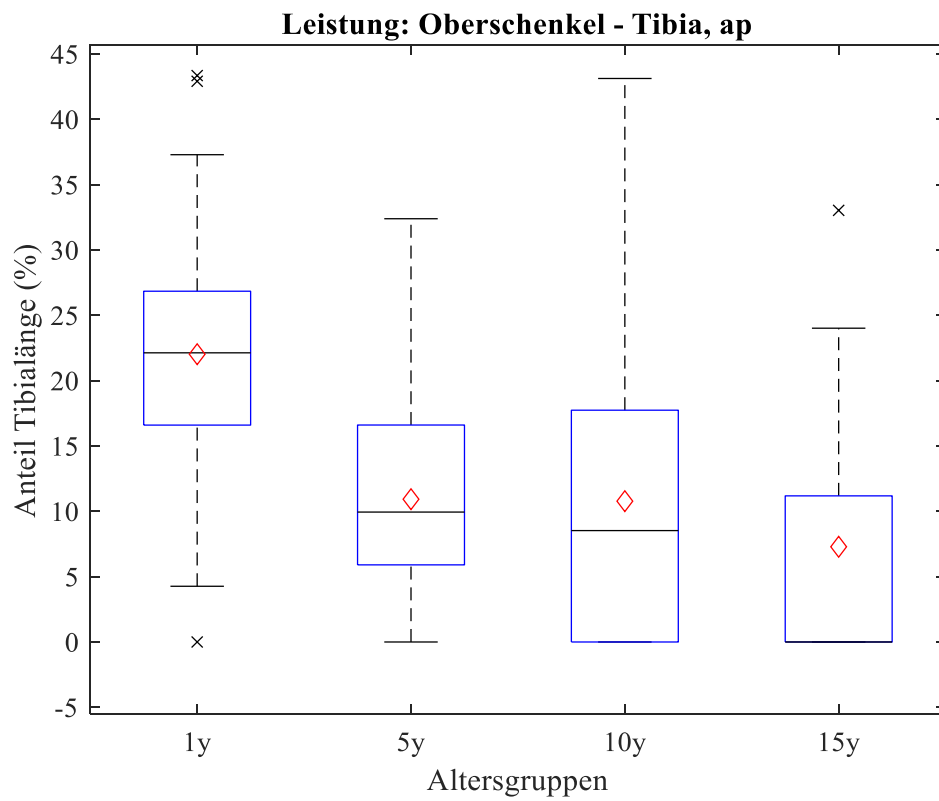


Abbildung 22: OS, Tibiamessungen, ap

3.1.5.2 Fibula

Bei Messung des miterfassten Fibulaanteils fällt auf, dass der Anteil seitlich größer ist als in ap-Projektion. Der größte durchschnittlich miterfasste Fibulaanteil im Oberschenkelröntgen wurde in beiden Ebenen in der Gruppe 1y gemessen. Ebenso liegt die größte Standardabweichung der seitlichen Projektion in der Altersgruppe 1y. Das ist in Tabelle 13 ersichtlich. In ap-Projektion wurde in Gruppe 10y die höchste Standardabweichung festgestellt. In seitlicher Projektion nehmen die Anteile der miterfassten Fibula mit zunehmendem Alter ab. In Gruppe 1y fällt in Abbildung 23 ein Ausreißer von über 70% auf. In ap-Projektion ist Abnahme des Fibulaanteils im Röntgenbild mit zunehmendem Alter nicht zu beobachten, da in Altersgruppe 10y durchschnittlich mehr miterfasst ist als in Altersgruppe 5y. Ebenso fällt in Abbildung 24 in Gruppe 10y ein hoher Interquartilsabstand auf. Insgesamt sticht hervor, dass in allen Ebenen und Altersgruppen auch Werte bei 0% vorkommen.

Tabelle 13: OS, Fibulamessungen, gesamt

Gesamt					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
1y	53	20.67	12.60	11.28	7.72
5y	46	14.04	8.88	5.46	5.90
10y	49	8.61	11.67	6.18	9.56
15y	47	5.11	10.03	4.67	8.07

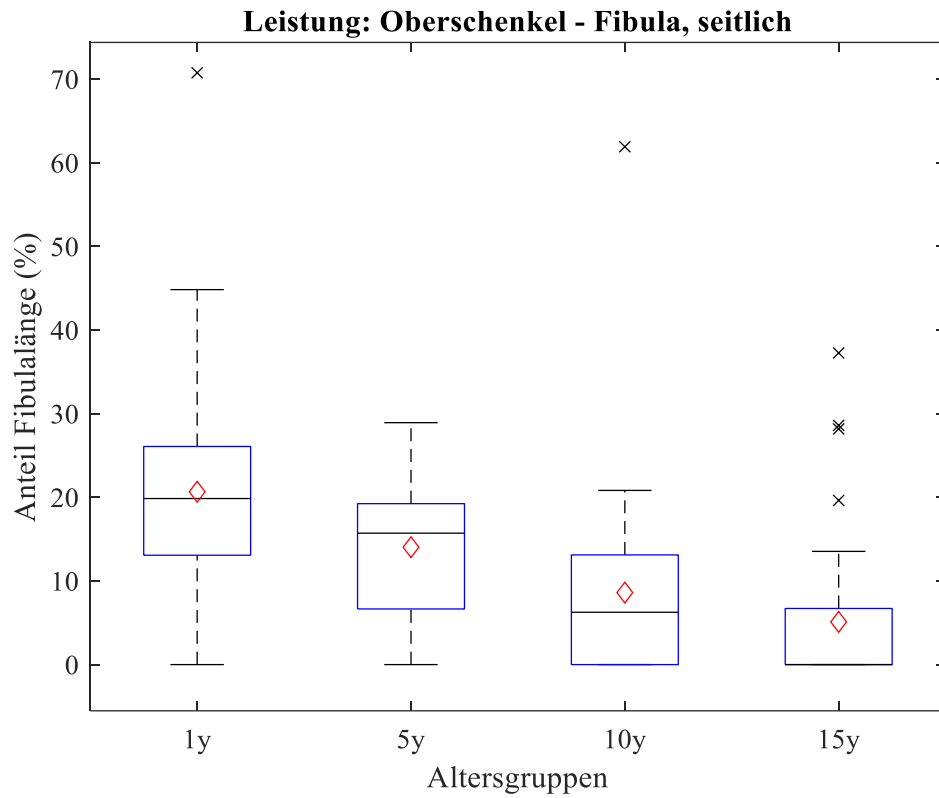


Abbildung 23: OS, Fibulamessungen, seitlich

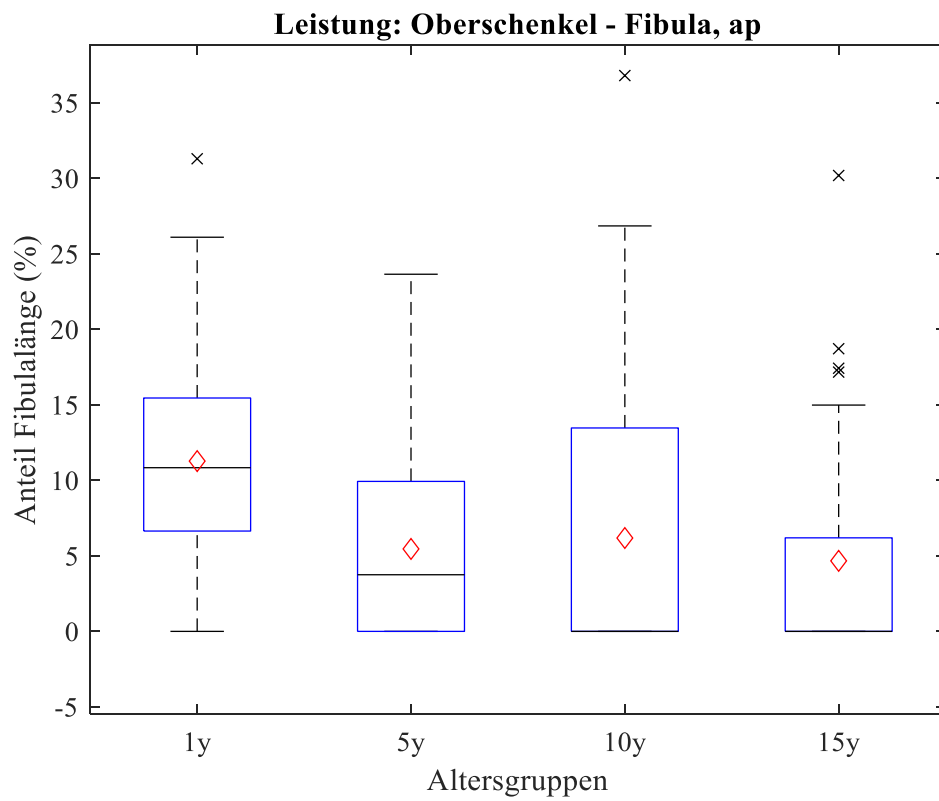


Abbildung 24: OS, Fibulamessungen, ap

3.1.6 Leistung Knie

Von ursprünglich 1099 Fällen wurde die Anzahl der untersuchten Fälle durch zufällige Auswahl und nach Berücksichtigung der Ausschlusskriterien auf 179 Fälle reduziert. In der Altersgruppe 0y wurden im untersuchten Zeitraum keine Knieröntgen gemacht. Die Gruppe 1y teilt sich in 13 Mädchen und 23 Buben. In der Gruppe 5y wurden die Röntgenbilder von 18 Mädchen und 32 Buben untersucht. Die geschlechtsspezifische Aufteilung in Altersgruppe 10y beläuft sich auf 16 Mädchen und 34 Buben. Die 43 Fälle der Gruppe 15y teilen sich in 10 Mädchen und 33 Buben.

3.1.6.1 Femur

Mit zunehmendem Alter nimmt der miterfasste Femuranteil am Knieröntgenbild in beiden Ebenen ab. Dadurch ergibt sich in beiden Projektion der größte miterfasste arithmetische Mittelwert in Gruppe 1y. Ebenso finden sich die größten Standardabweichungen für beide Projektionen in derselben Altersgruppe. Das kann Tabelle 14 entnommen werden. Aufgrund des geringen Interquartilsabstands in Altersgruppe 1y in seitlicher Projektion finden sich in Abbildung 25 drei Ausreißer. Da der Interquartilsabstand in Abbildung 26 in derselben Altersgruppe größer ist, fallen die hohen Werte noch in den Bereich des oberen Whiskers. In seitlicher Projektion ist die Abnahme des miterfassten Femuranteils am Knieröntgen besser sichtbar als in ap-Projektion, da die arithmetischen Mittelwerte in letzterer zwischen Gruppe 10y und 15y nur gering variieren.

Tabelle 14: KN, Femurmessungen, gesamt

Gesamt					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
1y	36	43.09	12.44	45.47	29.65
5y	50	36.08	5.91	32.25	5.76
10y	50	31.43	6.07	28.83	6.73
15y	43	30.26	5.64	28.23	8.00

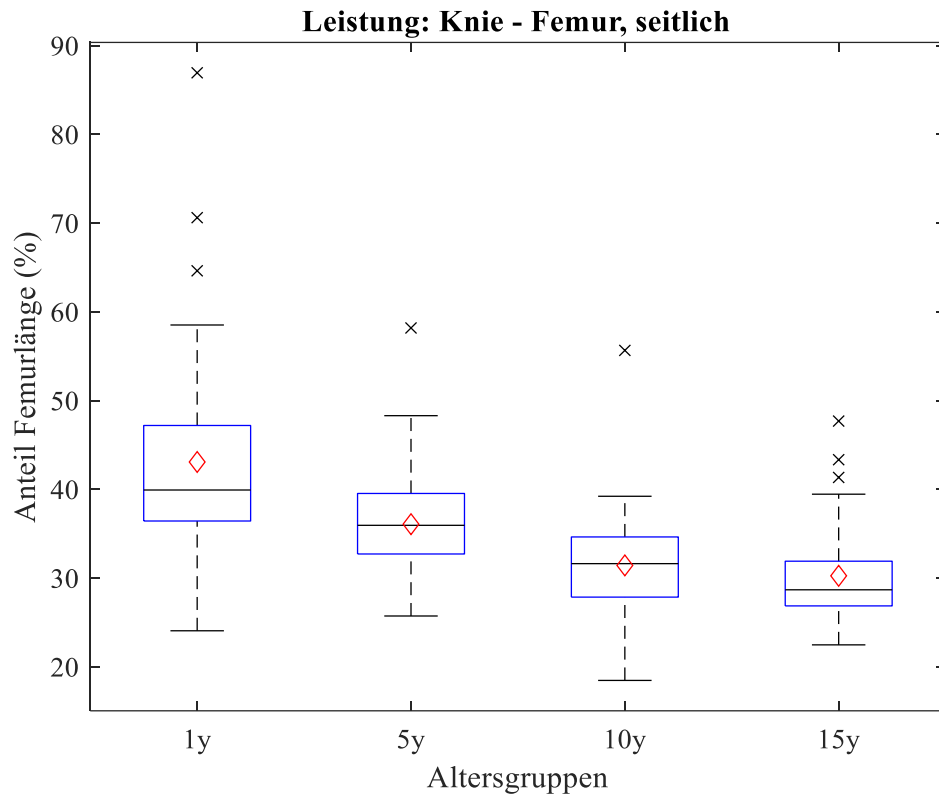


Abbildung 25: KN, Femurmessungen, seitlich

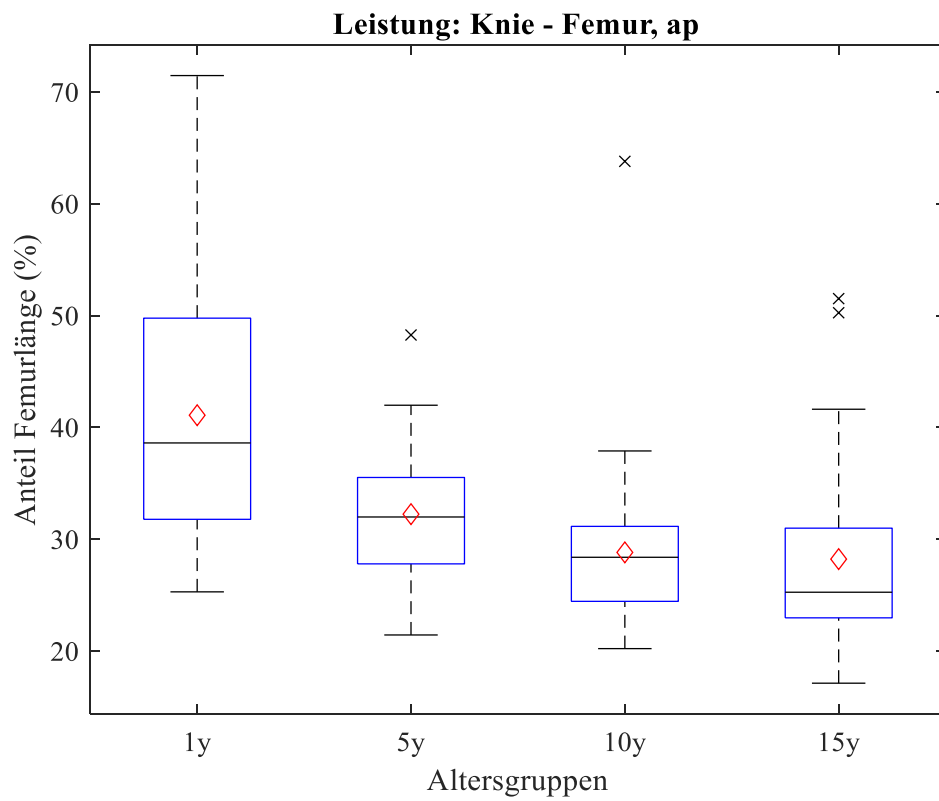


Abbildung 26: KN, Femurmessungen, ap

3.1.6.2 Tibia

Analog zu den miterfassten Femuranteilen der Kniegelenksröntgenuntersuchung fällt auch bei den miterfassten Tibiaanteilen auf, dass die größten arithmetischen Mittelwerte und größten Standardabweichungen in beiden Ebenen in Gruppe 1y liegen. Die durchschnittlich miterfassten Knochenanteile nehmen mit zunehmendem Alter in beiden Projektionen ab. Tabelle 15 stellt diese Begebenheiten dar. Die altersabhängige Abnahme der durchschnittlichen Werte der Tibia im Kniegelenksröntgen in seitlicher sowie in ap-Projektion ist deutlich an den Boxen in Abbildung 27 und Abbildung 28 zu beobachten.

Tabelle 15: KN, Tibiamessungen, gesamt

Gesamt					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
1y	36	45.95	8.12	45.54	7.79
5y	50	37.53	7.32	36.56	6.99
10y	50	28.85	6.43	30.05	5.88
15y	43	26.12	5.63	24.76	6.53

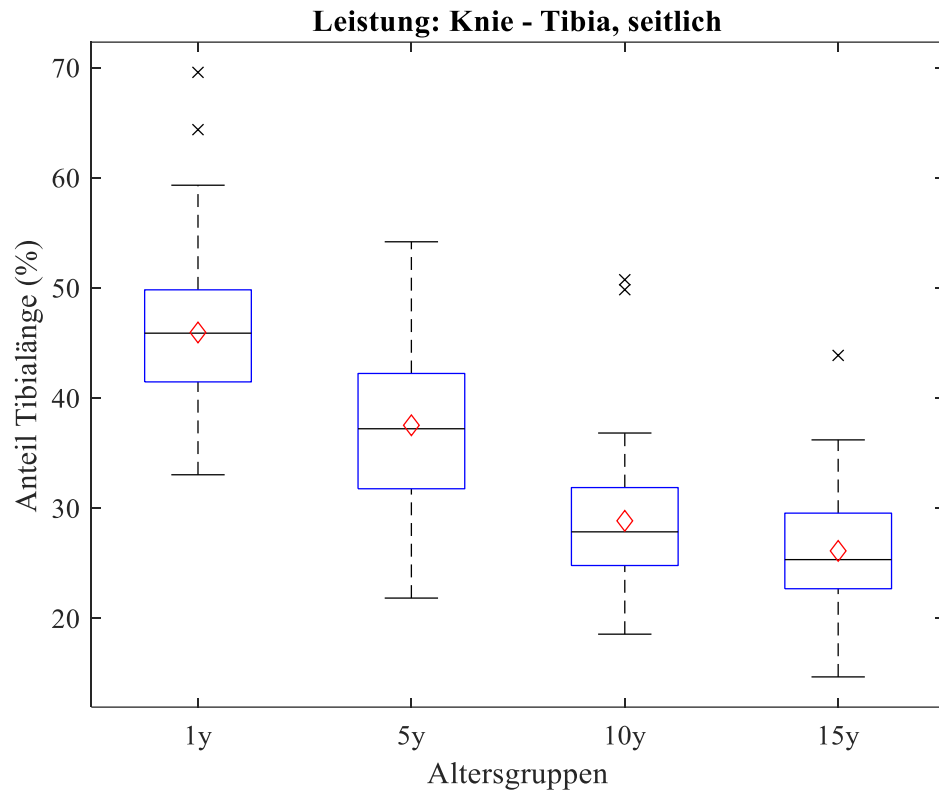


Abbildung 27: KN, Tibiamessungen, seitlich

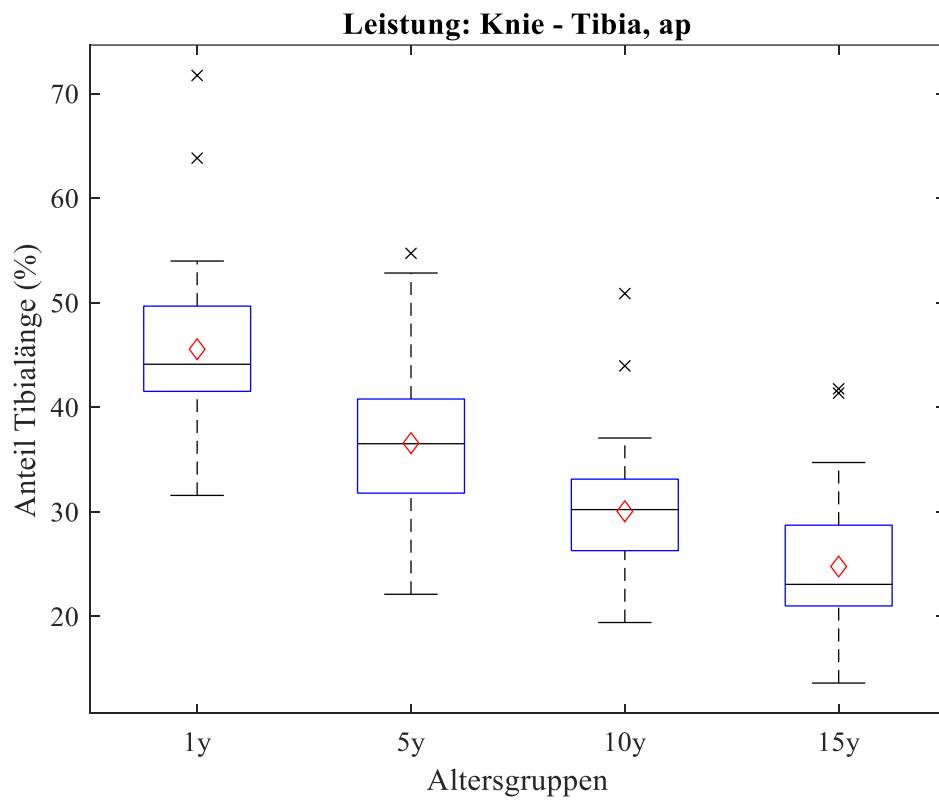


Abbildung 28: KN, Tibiamessungen, ap

3.1.6.3 Fibula

Je älter die Kinder sind, desto geringer ist der mitabgebildete Anteil der Fibula am Röntgenbild. In Altersgruppe 1y ist mit 34,36% in seitlicher Projektion und 33,99% in ap-Projektion durchschnittlich der größte Fibulaanteil im Knieröntgen miterfasst. Auch die größten Standardabweichungen liegen in beiden Ebenen in Altersgruppe 1y. Dies ist in Tabelle 16 ersichtlich. In Abbildung 29 und Abbildung 30 ist besonders auffällig, dass in der Gruppe 15y jeweils ein Ausreißer bei 0% liegt. Der höchste Interquartilsabstand liegt in beiden Ebenen in der Gruppe 5y.

Tabelle 16: KN, Fibulamessungen, gesamt

Gesamt					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
1y	36	34.36	7.50	33.99	7.47
5y	50	29.08	7.42	28.24	6.86
10y	50	22.82	6.65	24.72	5.75
15y	43	20.54	6.20	19.49	7.08

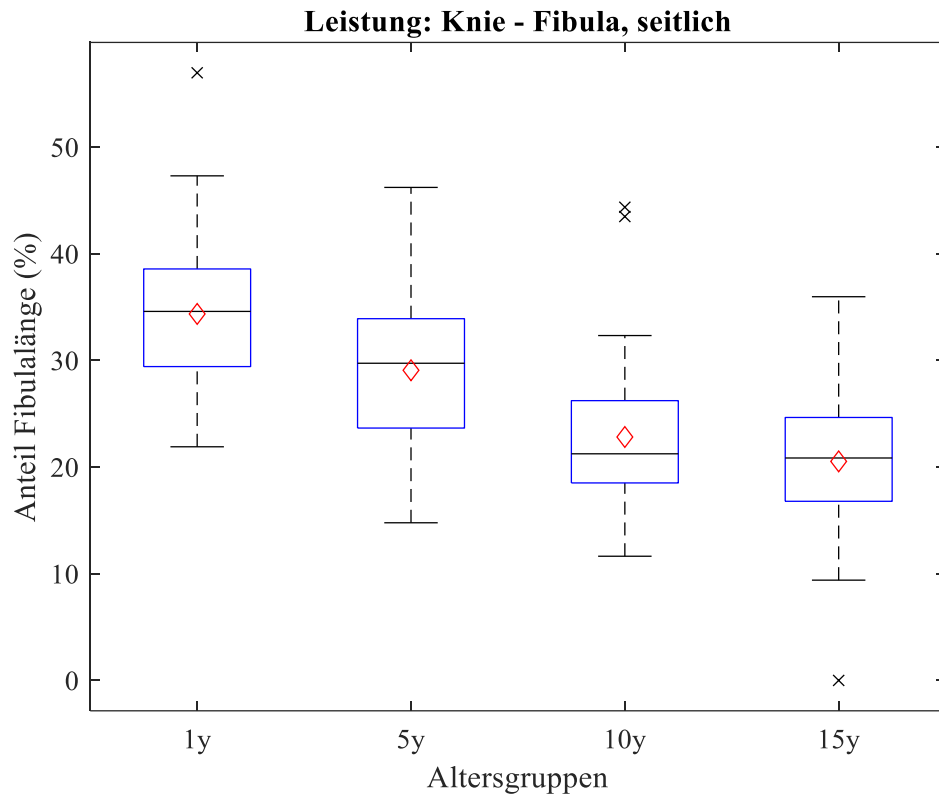


Abbildung 29: KN, Fibulamessungen, seitlich

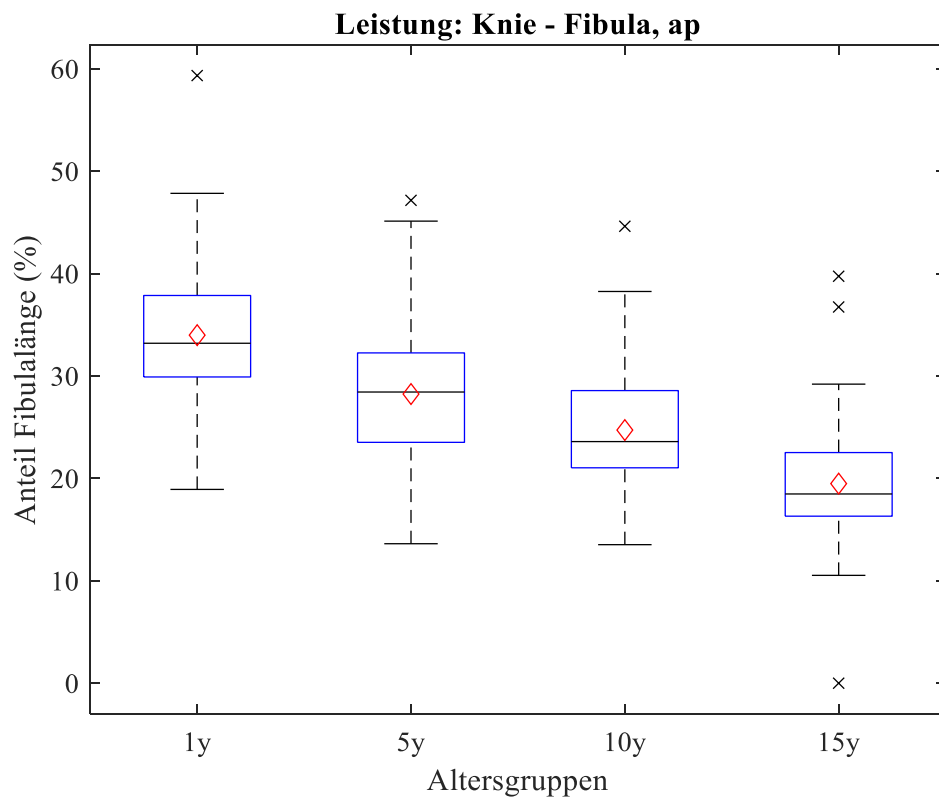


Abbildung 30: KN, Fibulamessungen, ap

3.1.7 Leistung Unterschenkel

Im Jahr 2015 bzw. Jänner 2016 wurden bei Kindern in Graz 840 Röntgen des Unterschenkels angefertigt. Davon wurden 192 nach zufälliger Auswahl und Berücksichtigung der Ausschlusskriterien in diese Arbeit inkludiert. Unterschenkelröntgen wurden in der Gruppe 0y nicht durchgeführt. In allen Altersgruppen wurden mehr Buben untersucht als Mädchen. Für Gruppe 1y wurden 23 Mädchen und 27 Buben untersucht. In Altersgruppe 5y beläuft sich die Aufteilung auf 14 Mädchen und 36 Buben. 22 Mädchen und 28 Buben bilden die Gruppe 10y. In Altersgruppe 15y wurden 5 Mädchen und 37 Buben untersucht.

Je älter die Kinder sind, desto weniger Femuranteil ist am Röntgen ersichtlich. Der größte Anteil wurde in beiden Projektionen in Altersgruppe 1y miterfasst. Ebenso verhält es sich mit den Standardabweichungen, diese sind in Gruppe 1y in beiden Ebenen am größten. Das ist Tabelle 17 zu entnehmen. In Abbildung 31 fällt auf, dass die Spannweite der gemessenen Werte in Altersgruppe 1y im Vergleich zu den anderen Gruppen weiter divergiert. Die Streuung der Werte in Gruppe 10y liegt besonders nahe beisammen. Das ist an der kleinen Standardabweichung und der kleinen Box in Abbildung 31 und Abbildung 32 zu erkennen. Der größte Interquartilsabstand wird in seitlicher Projektion in Gruppe 1y beobachtet.

Tabelle 17: US, Femurmessungen, gesamt

Gesamt					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
1y	50	28.31	12.91	26.49	11.33
5y	50	22.26	8.13	21.22	9.28
10y	50	12.80	5.71	13.51	5.59
15y	42	9.83	8.02	9.53	6.40

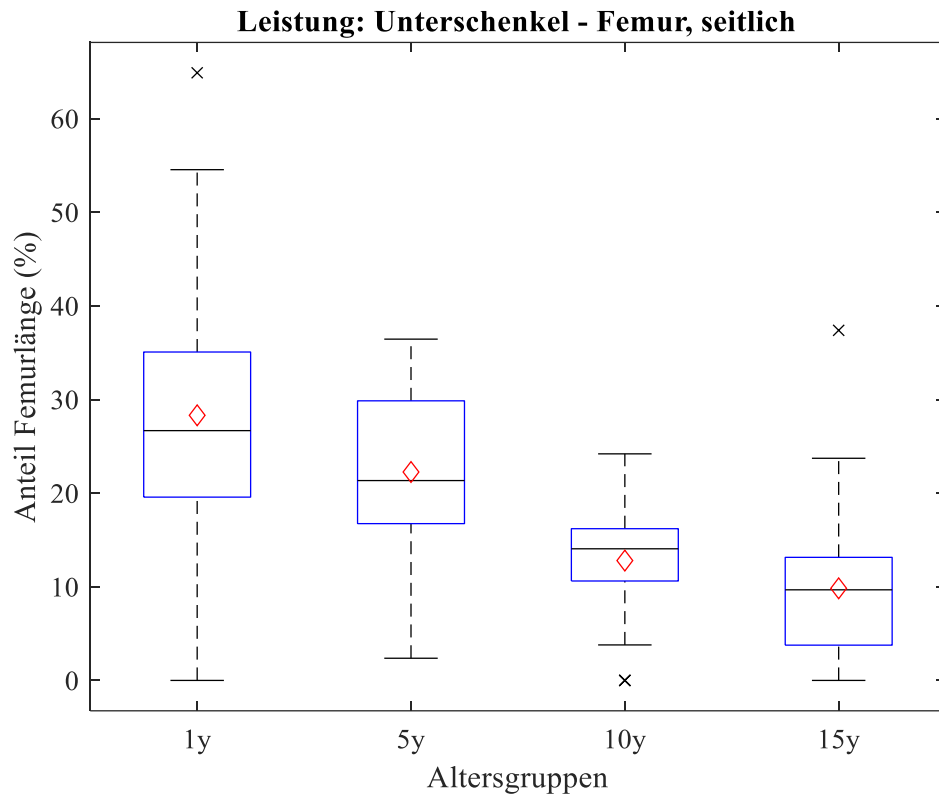


Abbildung 31: US, Femurmessungen, seitlich

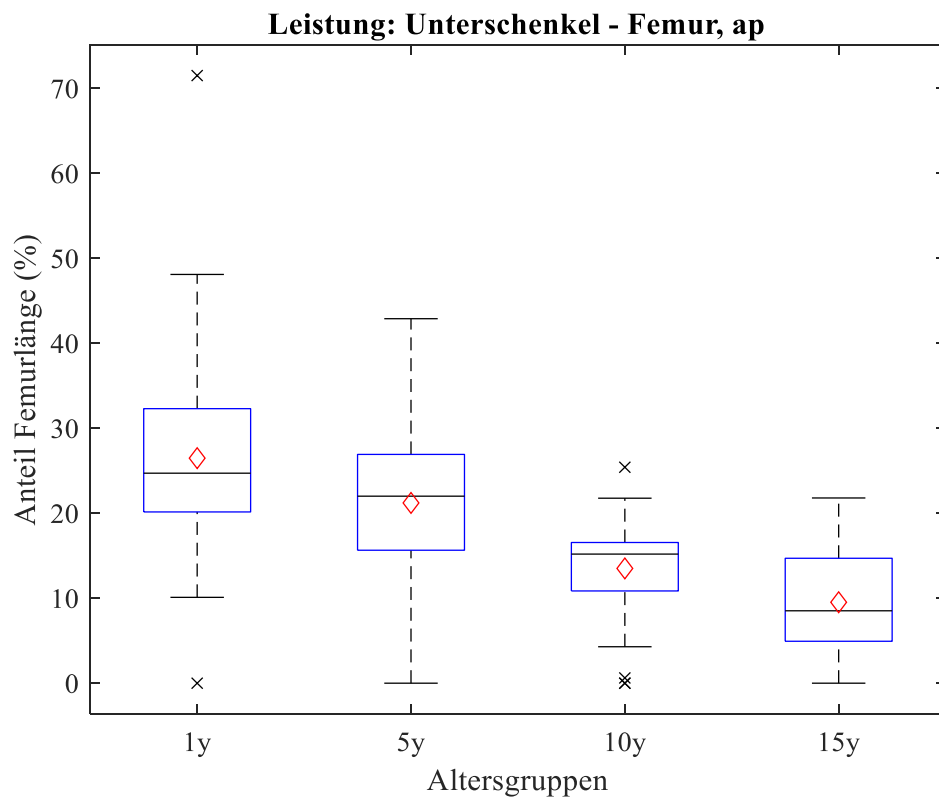


Abbildung 32: US, Femurmessungen, ap

3.1.8 Leistung Sprunggelenk

Im Zeitraum, der für diese Arbeit berücksichtigt wurde, wurden 1653 Sprunggelenksröntgen angefertigt. Davon wurden 198 Untersuchungen per Zufall ausgewählt und nach Berücksichtigung der Ausschlusskriterien 192 Fälle analysiert. Aus Tabelle 18 und Tabelle 19 ist ersichtlich, dass nur ein Fall der Altersgruppe 0y zuzurechnen ist, weswegen die Standardabweichung in dem Fall null beträgt.

3.1.8.1 Tibia

In Altersgruppe 0y wurde in seitlicher Projektion mit 57,89% der größte durchschnittliche Tibiaanteil im Sprunggelenk miterfasst. Da die Fallzahl in dieser Gruppe eins beträgt, handelt es sich um einen Wert. In ap-Projektion beläuft sich der größte arithmetische Mittelwert auf 57,46% und ist in Altersgruppe 1y angesiedelt. Ebenso sind die größten Standardabweichungen beider Projektionen in Gruppe 1y zu finden. Das wird in Tabelle 18 gezeigt. Aufgrund dessen, dass in Gruppe 0y nur ein Fall berücksichtigt wurde, entsteht beim Boxplot keine Box, sondern eine Linie, die den Median darstellt, sowie eine Raute, die den arithmetischen Mittelwert darstellt. Dies ist sowohl in Abbildung 33 als auch in Abbildung 34 ersichtlich. Im Übrigen fällt auf, dass in Gruppe 1y in beiden Projektionen der Interquartilsabstand am größten ist. Danach nimmt dieser mit zunehmendem Alter ab.

Tabelle 18: SG, Tibiamessungen, gesamt

Gesamt					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	1	57.89	0.00	54.96	0.00
1y	47	55.48	18.42	57.46	17.85
5y	50	35.13	11.60	37.50	10.64
10y	50	25.96	8.43	27.71	8.90
15y	44	24.64	5.88	26.47	7.30

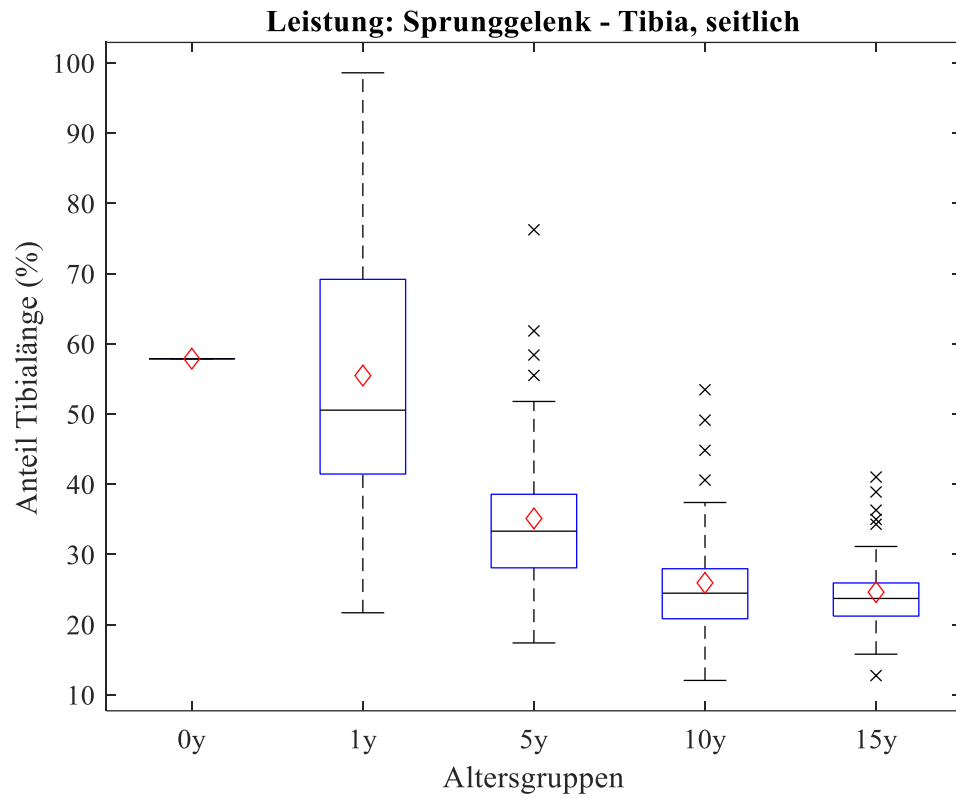


Abbildung 33: SG, Tibiamessungen, seitlich

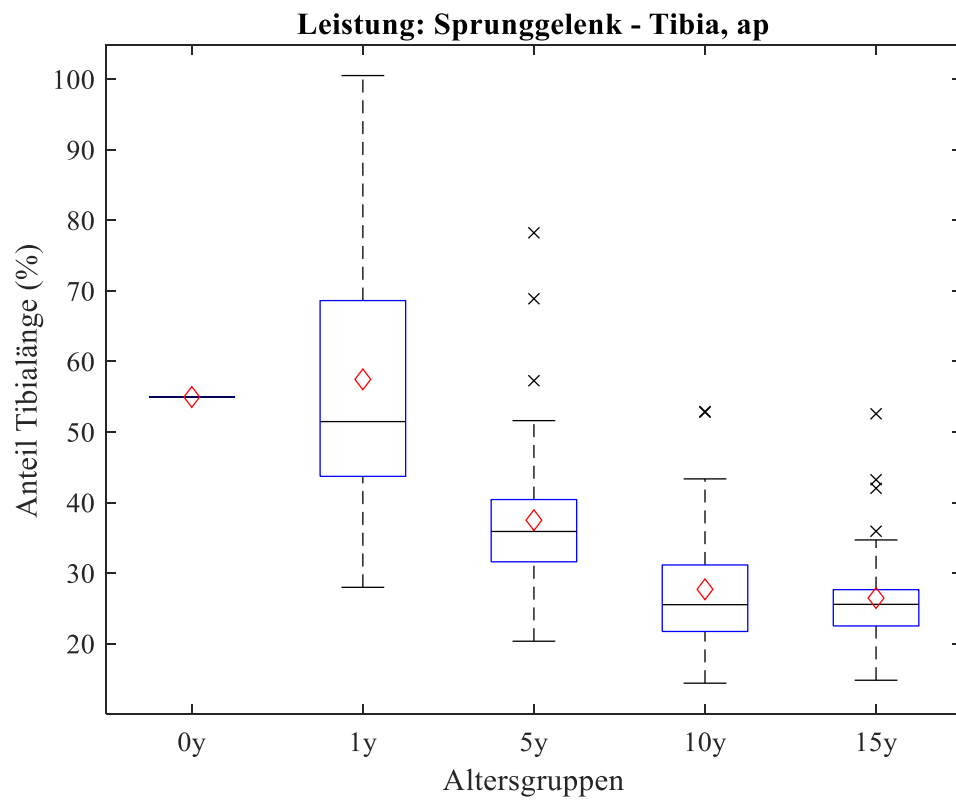


Abbildung 34: SG, Tibiamessungen, ap

3.1.8.2 Fibula

Die große Box in Altersgruppe 1y kennzeichnet in Abbildung 35 und Abbildung 36 den großen Interquartilsabstand im Vergleich zu den Werten der anderen Gruppen. Aus Tabelle 19 ist ersichtlich, dass in Altersgruppe 0y die Fallzahl bei eins liegt. Daher findet man analog zu den Abbildungen des Tibiaanteils im Sprunggelenksröntgen in dieser Altersgruppe in den Boxplots keine Boxen, sondern lediglich Mittelwert und Median. Es fällt auf, dass der durchschnittlich miterfasste Fibulaanteil am seitlich projizierten Sprunggelenksröntgen mit zunehmendem Alter abnimmt. Der größte arithmetische Mittelwert für die seitliche Projektion liegt in Altersgruppe 0y. In ap-Projektion findet sich der größte durchschnittliche miterfasste Fibulaanteil in der Altersgruppe 1y. Auch die größten Standardabweichungen in beiden Ebenen befinden sich in Gruppe 1y.

Tabelle 19: SG, Fibulamessungen, gesamt

Gesamt					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	1	61.62	0.00	56.62	0.00
1y	47	60.50	18.03	63.45	17.01
5y	50	42.10	11.39	45.41	10.81
10y	50	31.92	8.87	34.75	9.25
15y	44	29.89	6.09	32.81	7.56

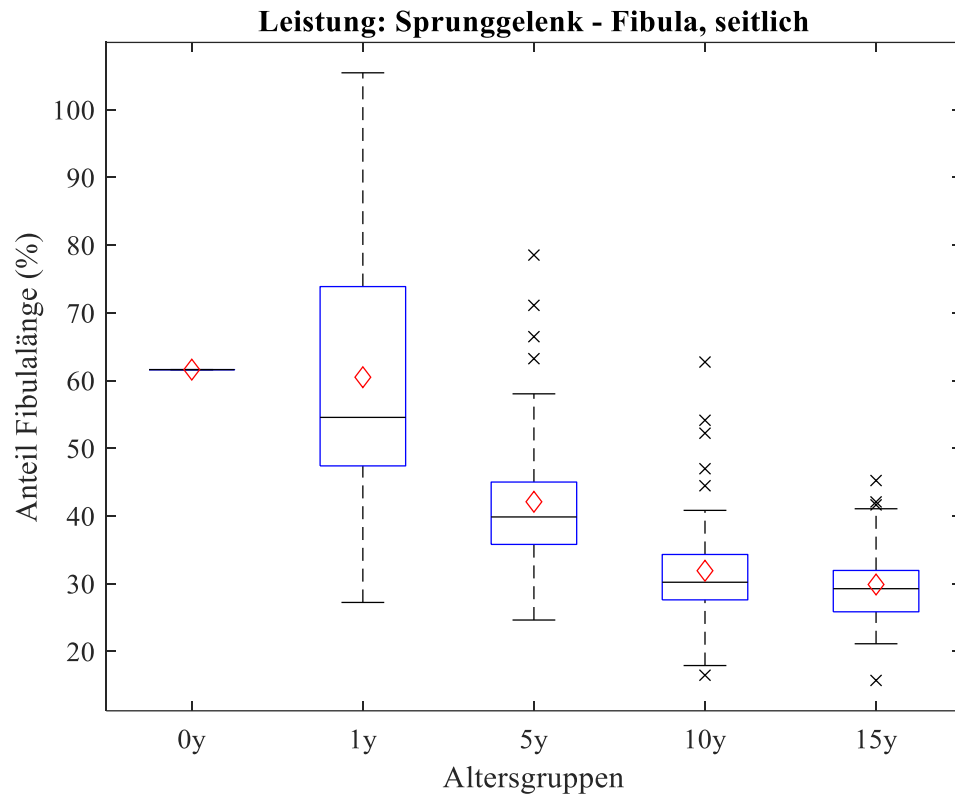


Abbildung 35: SG, Fibulamessungen, seitlich

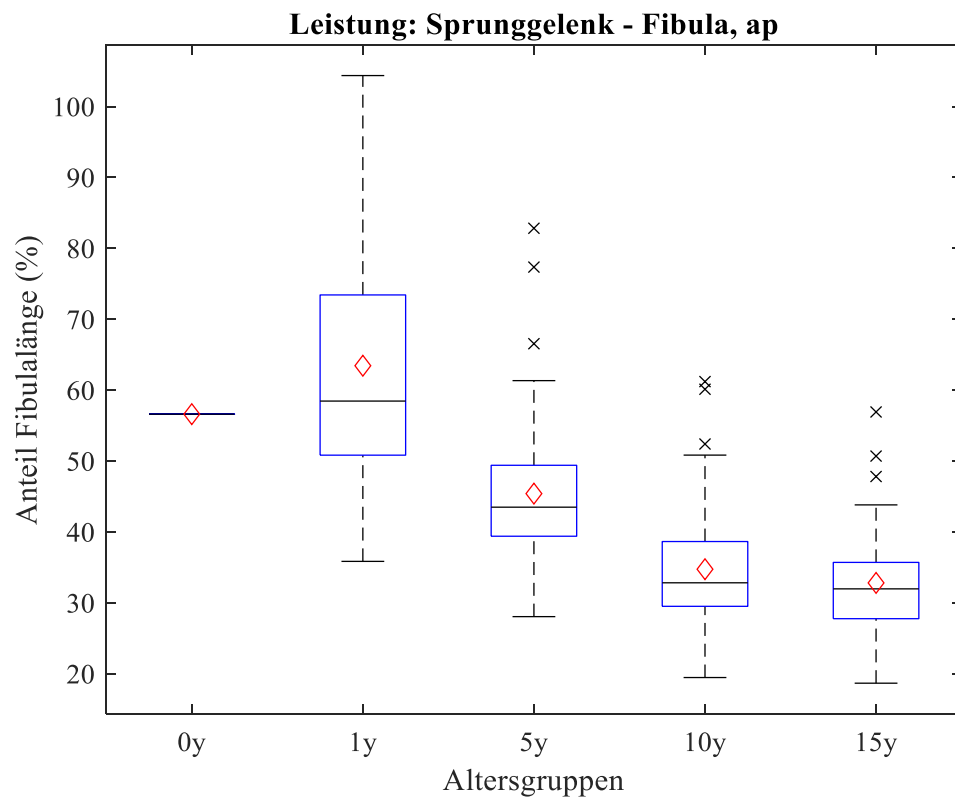


Abbildung 36: SG, Fibulamessungen, ap

3.2 MRT-Untersuchungen

Aus Tabelle 20 geht hervor, wie viele Extremitätenröntgen mit den in der Arbeit berücksichtigten Leistungen im Jahr 2015 einschließlich Jänner 2016 am Landeskrankenhaus Graz an der Abteilung für Kinderradiologie durchgeführt wurden. Dabei ist deutlich sichtbar, dass die meisten Röntgen in der Altersgruppe 5y gefolgt von Gruppe 10y erfolgten. Die meisten der Arbeit zur Verfügung stehenden MRT-Untersuchungen belaufen sich ebenfalls auf Fälle, die den Altersgruppen 5y und 10y zuzuordnen sind.

Tabelle 20: Röntgen 2015/16

Altersgruppe	0y	1y	5y	10y	15y
Untersuchungen	10	639	3085	2788	2079

Auf Basis der Annahme, dass sich in diesen beiden Altersgruppen noch rotes Knochenmark im miterfassten Teil auf dem Röntgenbild befindet, welches somit einer Strahlenbelastung ausgesetzt ist, werden im folgenden Abschnitt diese beiden Gruppen behandelt.

Die Fallzahl der MRT-Untersuchungen aller 6 langen Röhrenknochen beläuft sich nach Evaluierung anhand der Ausschlusskriterien auf 58. Davon zählen 40 Fälle zur Altersgruppe 5y und 18 Fälle zur Altersgruppe 10y. Abbildung 37 stellt dar, wie sich das rote Knochenmark im proximalen Anteil der langen Röhrenknochen der Extremitäten im Verlauf mit zunehmendem Alter entwickelt. Es konnte gezeigt werden, dass die Rückbildung von rotem Knochenmark zwischen den Altersgruppen 5y und 10y statistisch signifikant ist (p-Wert = 0,02). In Abbildung 38 sieht man die gemessene Entwicklung des roten Knochenmarks in den distalen Abschnitten der Extremitätenröhrenknochen. Diese Veränderungen stellen sich anhand der vorliegenden Messungen als nicht statistisch signifikant dar (p-Wert = 0,37). Im Durchschnitt findet man im proximalen Knochenanteil der gemessenen Knochen in Altersgruppe 5y noch 26,21% rotes Knochenmark, im distalen Anteil derselben Altersgruppe noch 16,47% der Gesamtknochenlänge. Im proximalen Anteil der gemessenen Knochen der Altersgruppe 10y beläuft sich der durchschnittliche Anteil des roten Knochenmarks auf 16,41% und im distalen Anteil der untersuchten Knochen auf 12,64% der Gesamtknochenlänge.

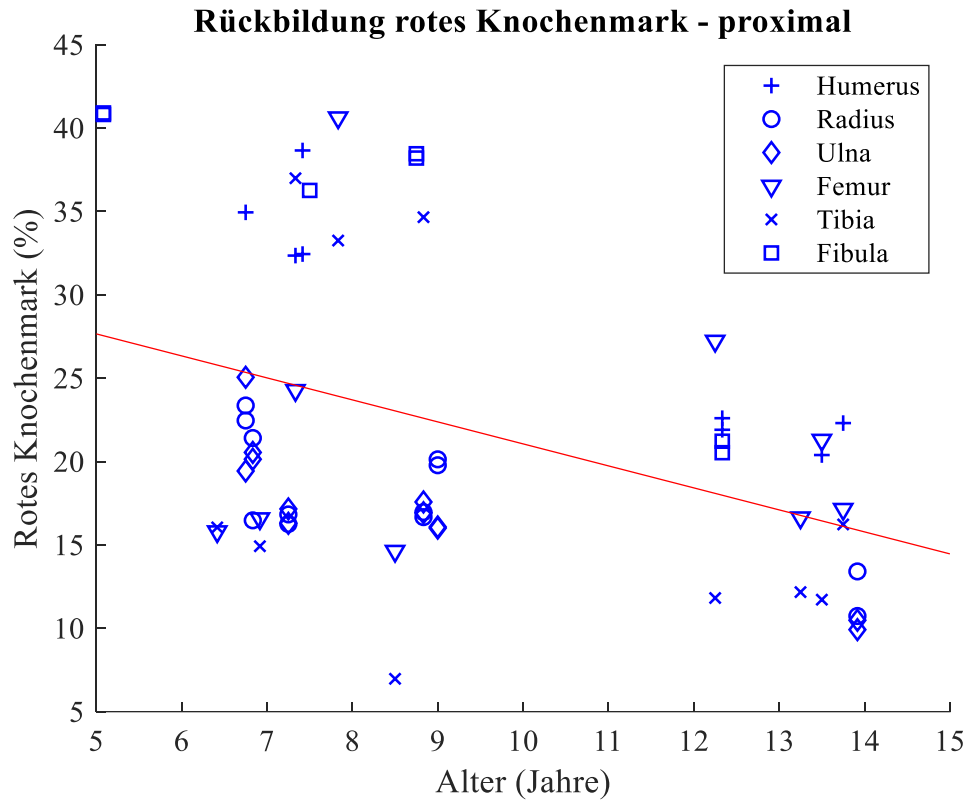


Abbildung 37: Rückbildung rotes Knochenmark – proximal

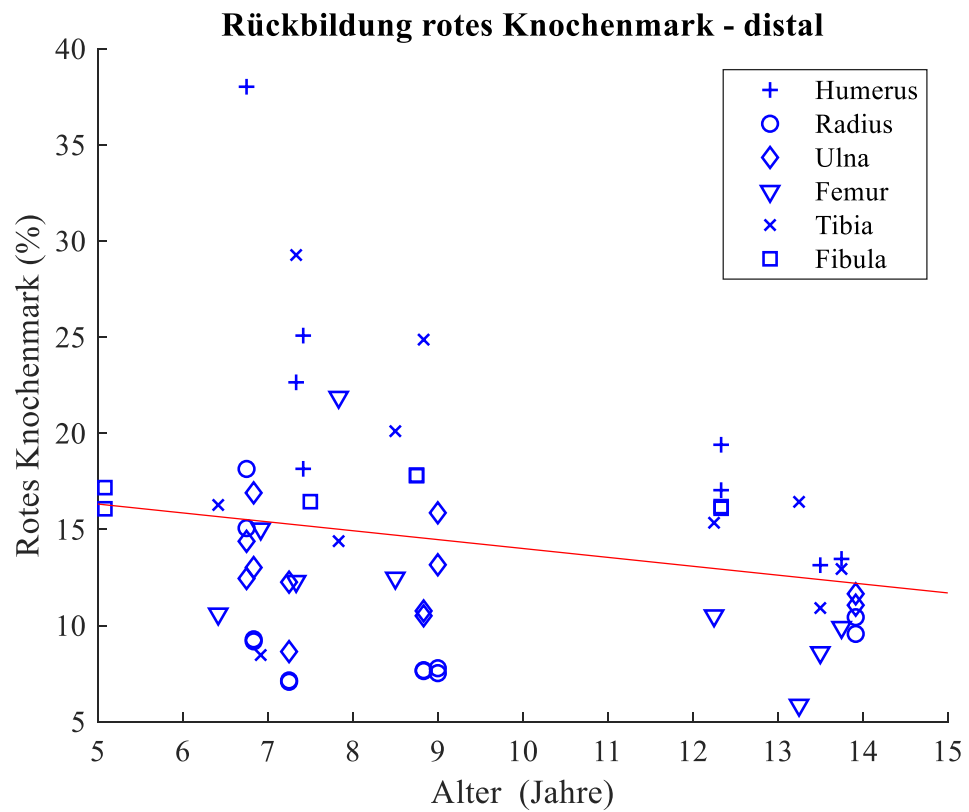


Abbildung 38: Rückbildung rotes Knochenmark – distal

In den folgenden Abschnitten werden die Veränderungen der einzelnen Werte in Zusammenschau mit dem vorher gemessenen Knochenanteil auf den Röntgenbildern dargestellt.

3.2.1 Leistung Oberarm

Bei der Leistung Oberarm ist am Röntgenbild der Humerus mit den jeweils angrenzenden Gelenken abgebildet. Im Falle des Radius und der Ulna, die auf dem Röntgenbild miterfasst wurden, handelt es sich um den proximalen Knochenanteil. Daher mussten für die weiteren Berechnungen die proximal gemessenen Werte des Anteils an rotem Knochenmark herangezogen werden. Diese belaufen sich in der Gruppe 5y beim Radius durchschnittlich auf 23,80% und bei der Ulna auf 22,38% der Gesamtknochenlänge. In Altersgruppe 10y findet man im proximalen Teil des Radius durchschnittlich in 12,98% und im gleichen Teil der Ulna im Schnitt in 20,57% der Gesamtknochenlänge rotes Knochenmark. Im gesamten Bereich des Humerus findet man in Gruppe 5y insgesamt in ca. 60,57% des Gesamtknochens rotes Knochenmark, in der Altersgruppe 10y sind es durchschnittlich 37,55%.

3.2.1.1 Radius

In Tabelle 21 ist ersichtlich, dass sich bei der Leistung Oberarm der Anteil des roten Knochenmarks im Radius zwischen den Altersgruppen 5y und 10y statistisch signifikant verändert. Zwischen Alter und Anteil des roten Knochenmarks besteht sowohl in seitlicher als auch ap-Projektion ein leicht negativer Zusammenhang (Pearson-Korrelationskoeffizient, seitlich = -0,36, ap = -0,34). Auch anhand der arithmetischen Mittelwerte und der Mediane in Abbildung 39 ist ersichtlich, dass der Anteil an rotem Knochenmark abnimmt. Ebenso zeigt sich, dass der prozentuelle Anteil an rotem Knochenmark im miterfassten Teil der Röntgenuntersuchung in der ap-Projektion höher ist und weniger stark abnimmt. Das lässt sich darauf zurückführen, dass in der seitlichen Projektion durchschnittlich mehr Knochenanteil miterfasst wurde als in ap-Projektion. Mittels Mann-Whitney-U-Test konnte gezeigt werden, dass sich die Mediane der auf den Röntgenbildern miterfassten Knochenlängen in seitlicher Projektion statistisch signifikant voneinander unterscheiden. In Abbildung 39 wird deutlich, dass beide Boxen der 5y-Gruppen und die Box der 10y Gruppe in ap-Projektion mit ihrem oberen Ende die 100% Marke erreichen.

Tabelle 21: OA, Radius, Mann-Whitney-U-Test

	Knochenmarksanteil, %					Längenanteil, %				
	Mittelwert		Median		Z – Wert	Mittelwert		Median		Z – Wert
	5y	10y	5y	10y	P – Wert	5y	10y	5y	10y	P – Wert
s	79.04	60.15	78.23	58.15	4.5659 4.97E-06	30.79	23.28	30.44	22.33	3.4763 5.08E-04
ap	92.51	76.19	100.00	80.27	4.0860 4.39E-05	18.30	17.43	16.26	16.17	0.3214 0.7479

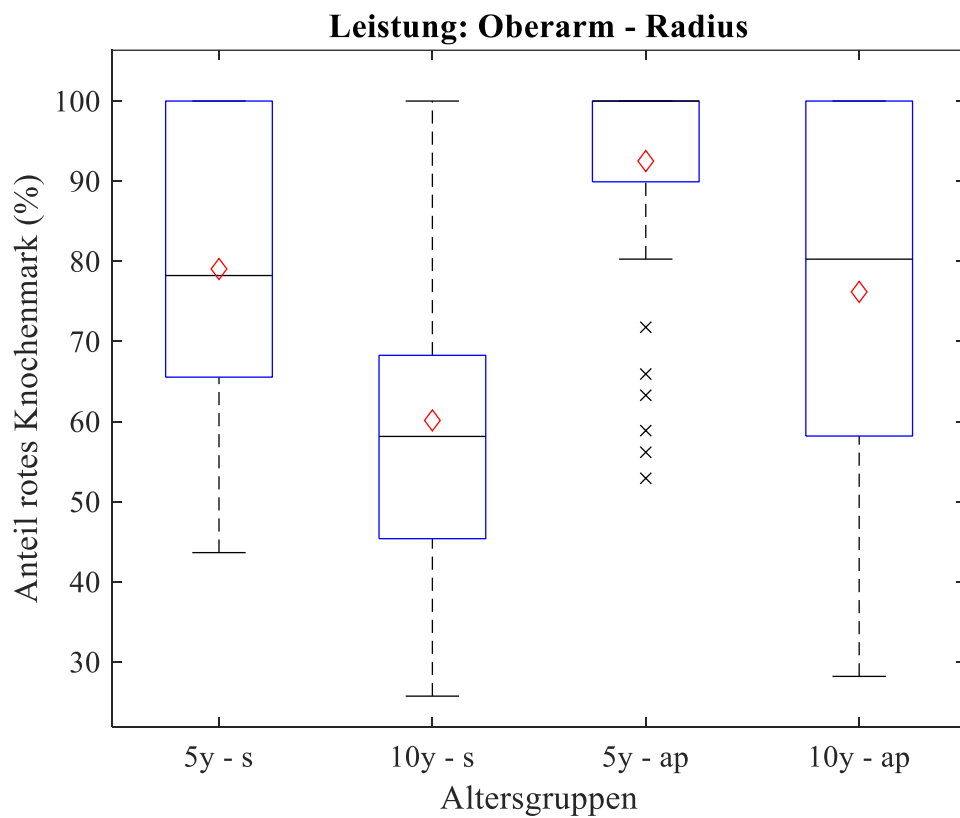


Abbildung 39: OA, rotes Knochenmark in gemessenem Radiusanteil

3.2.1.2 Ulna

Bei Testung des Anteils des roten Knochenmarks in der Ulna bei der Leistung Oberarm konnte zwischen den beiden Altersgruppen keine statistisch signifikante Veränderung festgestellt werden. Das ist aus Tabelle 22 abzulesen. In seitlicher Projektion besteht zwischen Alter und Anteil roten Knochenmarks in der miterfassten Ulna beim Oberarmröntgenbild ein leicht positiver Zusammenhang. Dieser Zusammenhang ist in ap-Projektion leicht negativ (Pearson-Korrelations-Koeffizient: s = 0,14; ap = -0,08). In Abbildung 40 ist in seitlichen Projektion zwischen den Altersgruppen 5y und 10y ein Anstieg des arithmetischen Mittelwertes sowie ein Anstieg des Medians zu erkennen. In der ap-Projektion lässt sich ein Rückgang der Werte ablesen, der jedoch nicht statistisch signifikant ist. Für den prozentuell miterfassten Ulnaanteil in Oberarmröntgen in seitlicher Projektion konnte mittels Mann-Whitney-U-Test gezeigt werden, dass sich die Mediane zwischen Altersgruppe 5y und Altersgruppe 10y statistisch signifikant voneinander unterscheiden.

Tabelle 22: OA, Ulna, Mann-Whitney-U-Test

	Knochenmarksanteil, %					Längenanteil, %				
	Mittelwert		Median		Z – Wert	Mittelwert		Median		Z – Wert
	5y	10y	5y	10y	P – Wert	5y	10y	5y	10y	P – Wert
s	62.96	66.35	58.89	63.99	-1.2619 0.207	37.37	32.15	38.01	32.15	3.0192 0.0025
ap	83.77	81.23	86.89	81.59	0.8522 0.3941	23.59	24.31	25.76	25.22	0.0732 0.9417

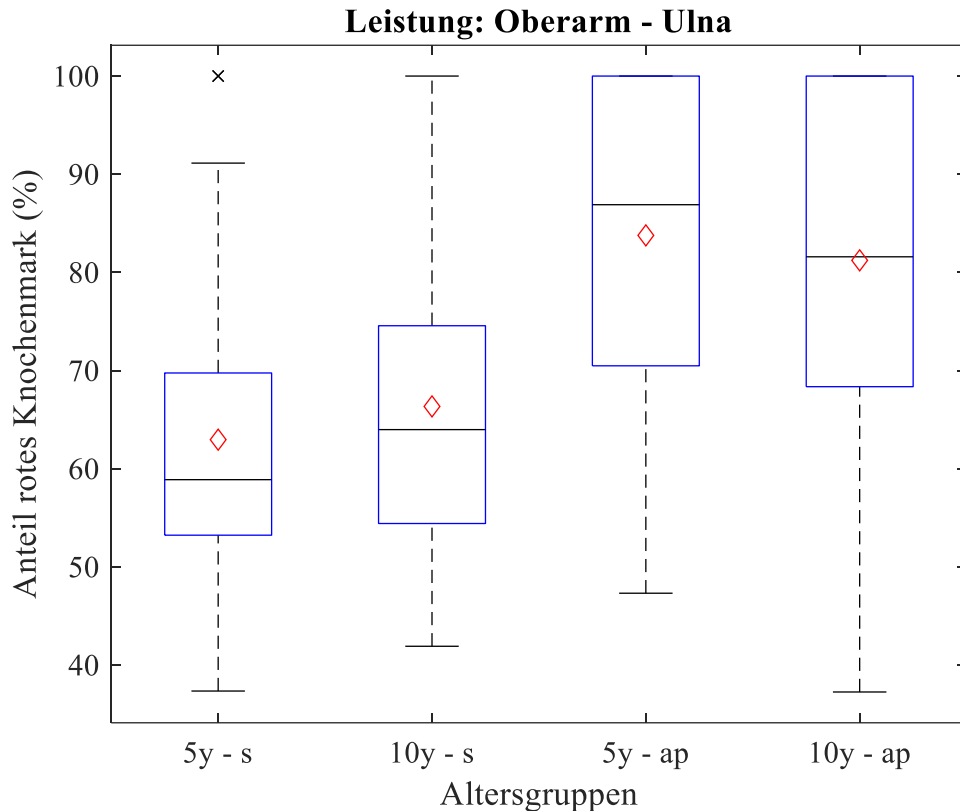


Abbildung 40: OA, rotes Knochenmark in gemessenem Ulnaanteil

3.2.2 Leistung *Ellbogen*

Das Ellbogengelenk wird aus dem distalen Anteil des Humerus, sowie den proximalen Anteilen von Radius und Ulna gebildet. Dementsprechend werden diese Knochenteile für die Berechnungen in diesem Kapitel herangezogen. Im distalen Teil des Humerus konnte in Altersgruppe 5y durchschnittlich in 25,97% und in Gruppe 10y in 15,75% der Gesamtknochenlänge rotes Knochenmark gemessen werden. Die Messungen der proximalen Anteile des roten Knochenmarks von Radius und Ulna sind in Kapitel 3.2.1 zu finden.

3.2.2.1 Humerus

Bei Betrachtung der Werte des Humerus bezogen auf die Leistung Ellbogen fällt in Abbildung 41 sowohl in seitlicher als auch in ap-Projektion eine deutliche statistisch signifikante Abnahme der arithmetischen Mittelwerte und Mediane des Anteils an rotem Knochenmark auf. Bei Zusammenschau mit der statistisch signifikanten Veränderung der Längenanteile, die in Tabelle 23 als abnehmend dargestellt sind, bedeutet das einen deutlichen Rückgang des roten Knochenmarks im distalen Ende des Humerus. Mittels Mann-Whitney-U-Test konnte die statistisch signifikante Veränderung der Mediane nicht nur bei der Betrachtung

des Anteils des roten Knochenmarks in beiden Projektionen gezeigt werden, sondern auch die statistisch signifikante Veränderung der Mediane der Anteile der miterfassten Humeruslängen bei Ellbogenröntgenbildern in seitlicher und ap-Projektion. Der Zusammenhang zwischen Alter und Anteil an rotem Knochenmark konnte sowohl in seitlicher als auch in ap-Projektion als leicht negativ nachgewiesen werden (Pearson-Korrelationskoeffizient: seitlich = - 0,46; ap = -0,40).

Tabelle 23: EL, Humerus, Mann-Whitney-U-Test

	Knochenmarksanteil, %					Längenanteil, %				
	Mittelwert		Median		Z – Wert	Mittelwert		Median		Z – Wert
	5y	10y	5y	10y	P – Wert	5y	10y	5y	10y	P – Wert
s	63.64	47.09	62.45	45.39	6.3678 1.92E-10	41.99	34.92	41.59	34.72	4.4914 7.08E-06
ap	62.54	48.49	60.12	48.16	5.8382 5.28E-09	43.33	33.65	43.20	32.73	5.696 1.23E-08

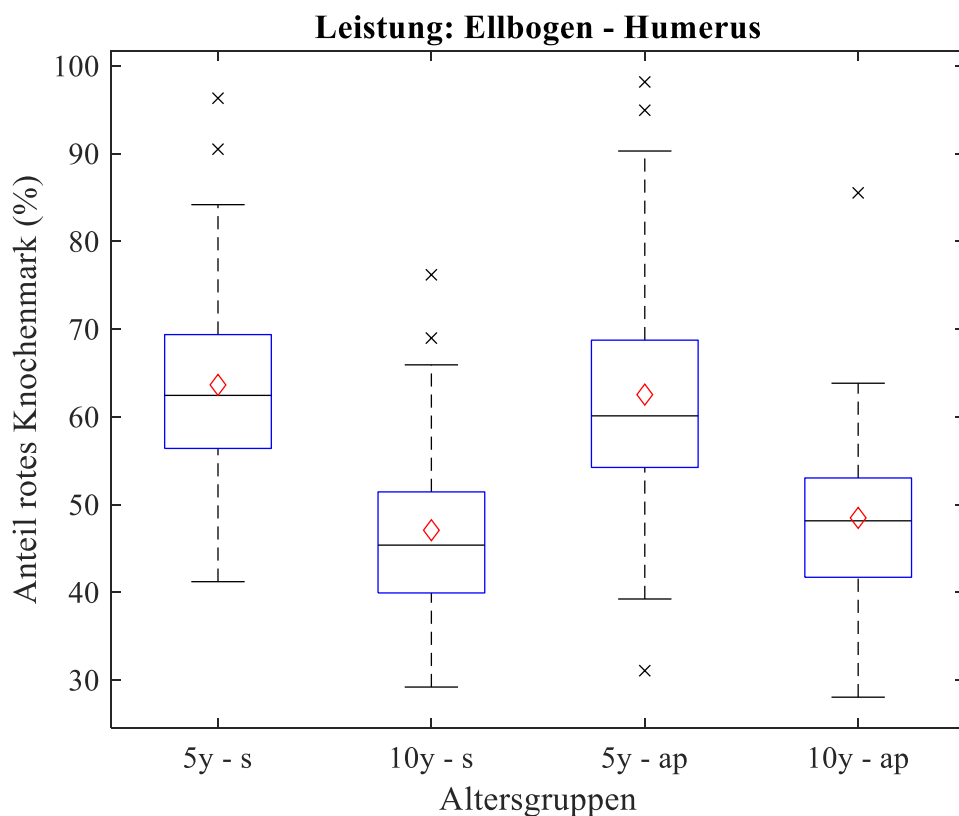


Abbildung 41: EL, rotes Knochenmark in gemessenem Humerusanteil

3.2.2.2 Radius

Abbildung 42 und Tabelle 24 befassen sich mit dem proximalen Radius der Leistung Ellbogen. Es ist eine statistisch signifikante Veränderung des Anteils an rotem Knochenmark und des Längenanteils im Röntgenbild zu erkennen. Anhand der arithmetischen Mittelwerte und Mediane der Längenanteile im Röntgenbild fällt auf, dass die signifikante Veränderung sich abnehmend verhält. Zwischen Alter und Anteil des roten Knochenmarks besteht sowohl in seitlicher als auch in ap-Projektion ein leicht negativer Zusammenhang (Pearson-Korrelationskoeffizient: seitlich = -0,45; ap = -0,32). Bei Betrachtung der Boxplots in Abbildung 42 fallen in ap-Projektion bei der Altersgruppe 10y zwei Ausreißer auf.

Tabelle 24: EL, Radius, Mann-Whitney-U-Test

	Knochenmarksanteil, %					Längenanteil, %				
	Mittelwert		Median		Z – Wert	Mittelwert		Median		Z – Wert
	5y	10y	5y	10y	P – Wert	5y	10y	5y	10y	P – Wert
s	64.35	41.21	63.79	42.16	6.6829 2.34E-11	39.70	33.54	37.32	30.81	3.1751 0.0015
ap	70.80	48.83	70.44	47.17	4.9457 7.59E-07	36.13	30.65	33.80	27.52	2.3467 0.0189

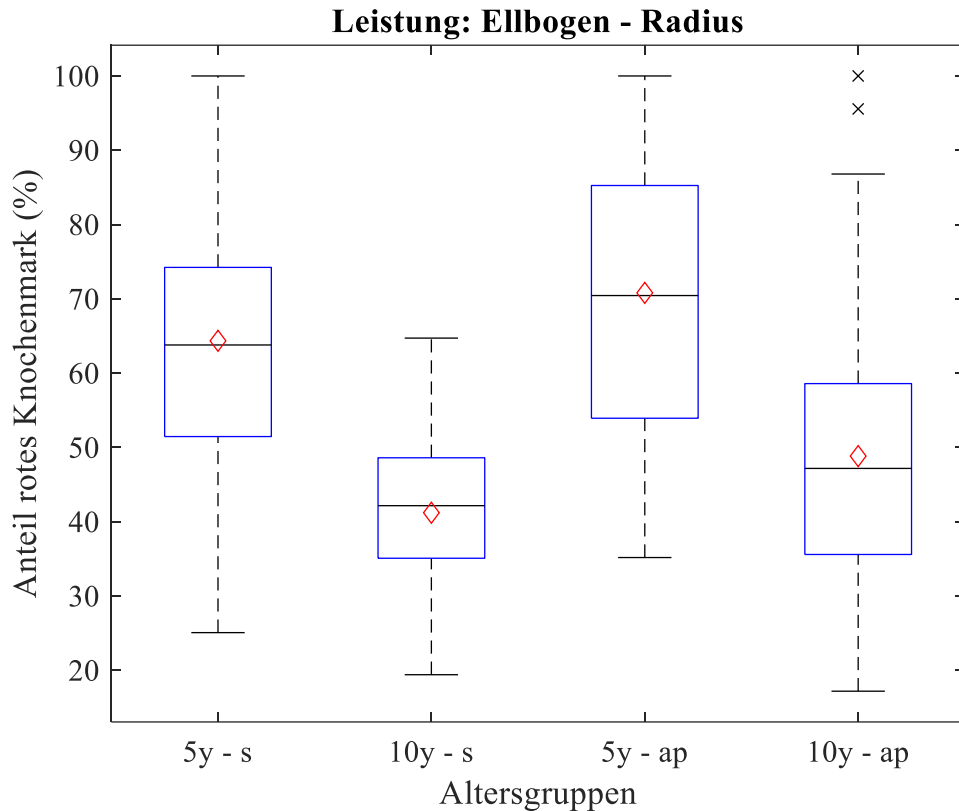


Abbildung 42: EL, rotes Knochenmark in gemessenem Radiusanteil

3.2.2.3 Ulna

Die Veränderung der Knochenmarksanteile der Ulna bei der Leistung Ellbogen zwischen Gruppe 5y und Gruppe 10y stellt sich in Tabelle 25 als nicht signifikant dar. Ebenso stellen die Boxplots in Abbildung 43 zwischen Gruppe 5y und 10y sowohl in seitlicher als auch ap-Projektion kaum Veränderung dar. Eine signifikante Veränderung des miterfassten Längenanteils der Ulna, wie in Tabelle 25 ersichtlich ist, fällt lediglich in seitlicher Projektion auf. Der mittels Pearson-Korrelationskoeffizient ermittelte Zusammenhang zwischen Alter und Anteil an rotem Knochenmark stellt sich in beiden Projektionen als sehr leicht positiv dar (Pearson-Korrelationskoeffizient: seitlich = 0,13; ap = 0,09). Der Interquartilsabstand der Werte in ap-Projektion ist größer als der der Werte in seitlicher Projektion.

Tabelle 25: EL, Ulna, Mann-Whitney-U-Test

	Knochenmarksanteil, %					Längenanteil, %				
	Mittelwert		Median		Z – Wert P – Wert	Mittelwert		Median		Z – Wert P – Wert
	5y	10y	5y	10y		5y	10y	5y	10y	
s	51.29	51.63	51.33	52.47	-0.9067 0.3646	46.21	41.46	43.61	39.21	2.713 0.0067
ap	61.82	62.96	58.56	60.39	-0.3343 0.7382	39.13	35.95	38.22	34.07	1.536 0.1245

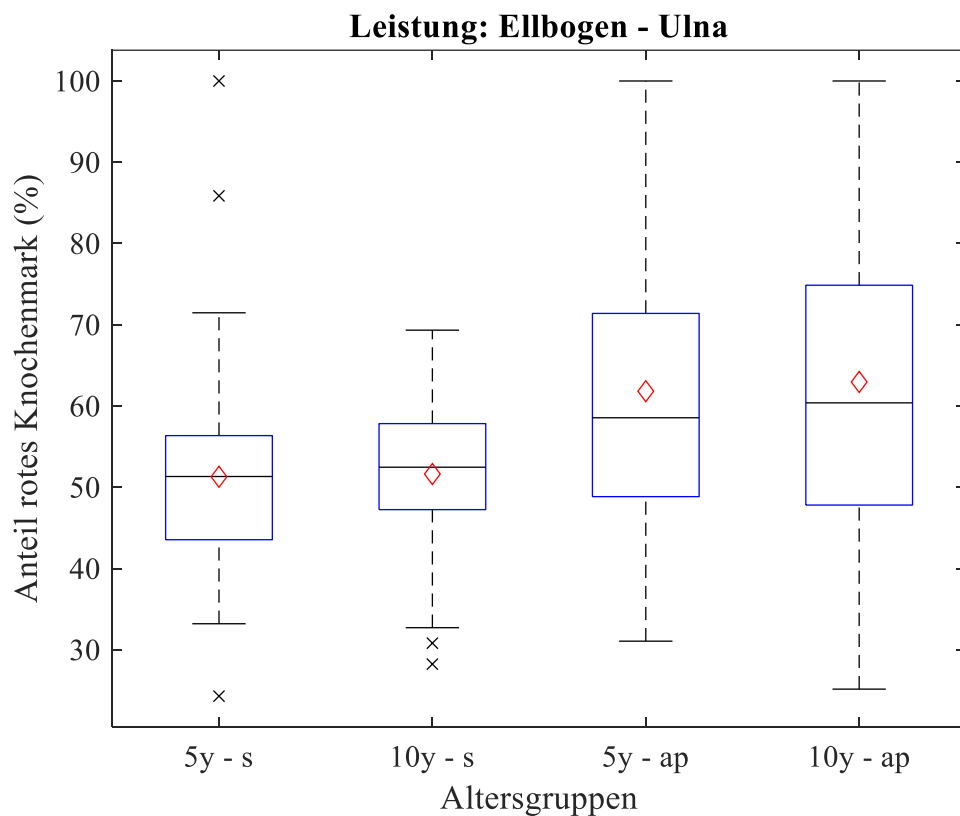


Abbildung 43: EL, rotes Knochenmark in gemessenem Ulnaanteil

3.2.3 Leistung Unterarm

Neben der vollständigen Abbildung des Radius und der Ulna sollte laut Einstelltechnik aufgrund der Miterfassung der angrenzenden Gelenke im Falle des Ellbogengelenks der distale Teil des Humerus am Röntgenbild sichtbar sein. Im gesamten Radius sind in Altersgruppe 5y im Schnitt in 42,69%, in Gruppe 10y in 26,88% der Gesamtknochenlänge rotes Knochenmark zu messen. In der Ulna findet man in Gruppe 5y durchschnittlich in 36,83%, in Altersgruppe 10y in 29,28% der Gesamtknochenlänge rotes Knochenmark. Die gemessenen Werte des roten Knochenmarks im distalen Humerusteil sind Kapitel 3.2.2 zu entnehmen.

Im Fall der Leistung Unterarm wurde die statistische Signifikanz der Veränderung des Anteils des roten Knochenmarks im distalen Anteil des Humerus untersucht. Aus Tabelle 26 geht in sowohl seitlicher als auch ap-Projektion hervor, dass es sich um eine statistisch signifikante Änderung handelt ($p < 0,01$). Wie in eben genannter Tabelle ist auch in Abbildung 44 anhand der arithmetischen Mittelwerte und Mediane die starke Veränderung ersichtlich. Zwischen Alter und Anteil des roten Knochenmarks besteht sowohl in seitlicher als auch in ap-Projektion ein leicht negativer Zusammenhang (Pearson-Korrelationskoeffizient: seitlich = -0,40; ap = -0,26). Es handelt sich um eine leichte Abnahme des Anteils an rotem Knochenmark. Das Fehlen der Box der Gruppe 5y in seitlicher Projektion sowie die kleine Box der Gruppe 5y in ap-Projektion weisen darauf hin, dass sich im Großteil der miterfassten Knochenanteile der Extremitätenröntgen fast nur rotes Knochenmark in der Markhöhle befindet.

Tabelle 26: UA, Humerus, Mann-Whitney-U-Test

	Knochenmarksanteil, %					Längenanteil, %				
	Mittelwert		Median		Z – Wert	Mittelwert		Median		Z – Wert
	5y	10y	5y	10y	P – Wert	5y	10y	5y	10y	P – Wert
s	97.64	85.73	100.00	87.17	5.3701 7.87E-08	20.49	17.88	20.75	18.08	2.6735 0.0075
ap	95.59	85.53	100.00	87.89	3.8021 1.43E-04	18.93	15.45	18.23	17.93	1.3474 0.1779

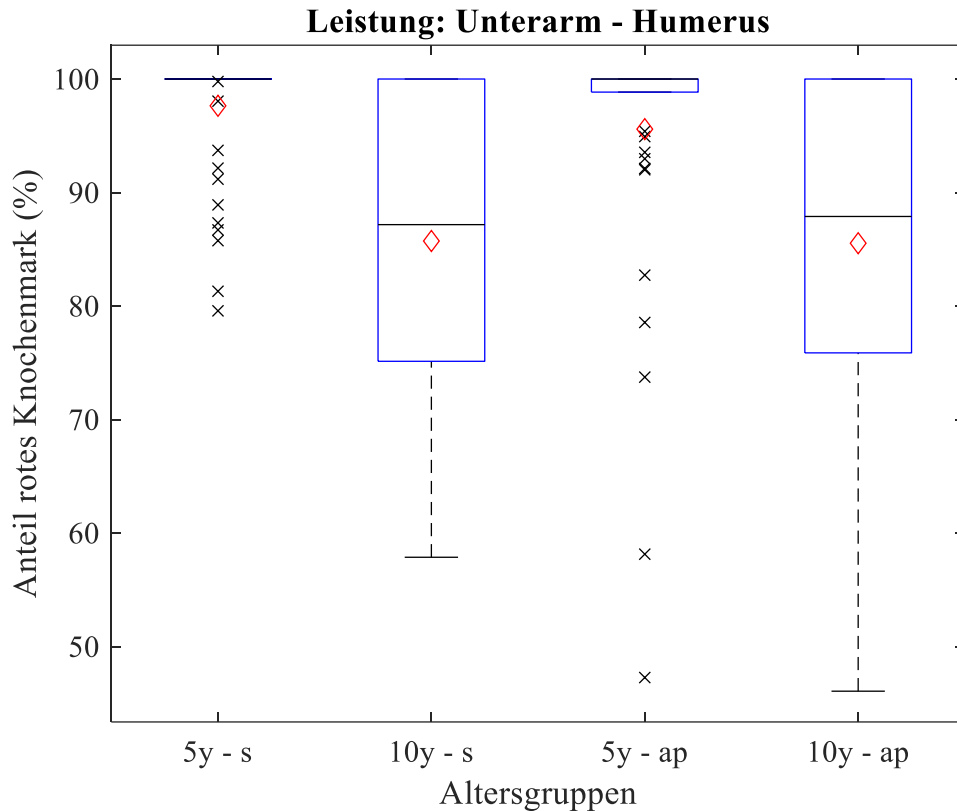


Abbildung 44: UA, rotes Knochenmark in gemessenem Humerusanteil

3.2.4 Leistung *Handgelenk*

Radius und Ulna sind die am Handgelenksröntgen mitabgebildeten langen Röhrenknochen. Es handelt sich dabei um die distalen Enden, die für die weiteren Berechnungen herangezogen werden müssen. Im distalen Radius der Altersgruppe 5y sind durchschnittlich in 18,89% des Gesamtknochens rotes Knochenmark zu finden. In Gruppe 10y beträgt die gemessene Menge an rotem Knochenmark 13,90% der Gesamtknochenlänge. In der Gruppe 5y sind im distalen Anteil der Ulna ca 14,45% der Gesamtknochenlänge rotes Knochenmark. Bei Altersgruppe 10y findet man im distalen Anteil der Ulna durchschnittlich in 8,71% der Gesamtknochenlänge rotes Knochenmark.

3.2.4.1 Radius

Die Änderung des roten Knochenmarksanteils und die Änderung des Längenanteils des Radius von Gruppe 5y auf Gruppe 10y sind, wie in Tabelle 27 zu erkennen ist, in seitlicher als auch in ap-Projektion statistisch signifikant ($p < 0,01$). Mit zunehmenden Alter nimmt der Anteil an rotem Knochenmark leicht ab, denn es besteht ein leicht negativer Zusammenhang zwischen Alter und Anteil des roten Knochenmarks (Pearson-Korrelations-

koeffizient: seitlich = -0,16; ap = -0,11). Bei Betrachtung der arithmetischen Mittelwerte und Mediane in Tabelle 27 und Abbildung 45 lässt sich die Veränderung von Altersgruppe 5y zu Gruppe 10y als Abnahme interpretieren.

Tabelle 27: HG, Radius, Mann-Whitney-U-Test

	Knochenmarksanteil, %					Längenanteil, %				
	Mittelwert		Median		Z – Wert P – Wert	Mittelwert		Median		Z – Wert P – Wert
	5y	10y	5y	10y		5y	10y	5y	10y	
s	39.49	33.36	37.79	33.78	2.8675 0.0041	51.32	44.48	50.00	41.18	2.9315 0.0034
ap	41.78	35.64	39.85	32.87	3.1589 0.0016	48.41	42.18	47.41	42.30	2.8320 0.0046

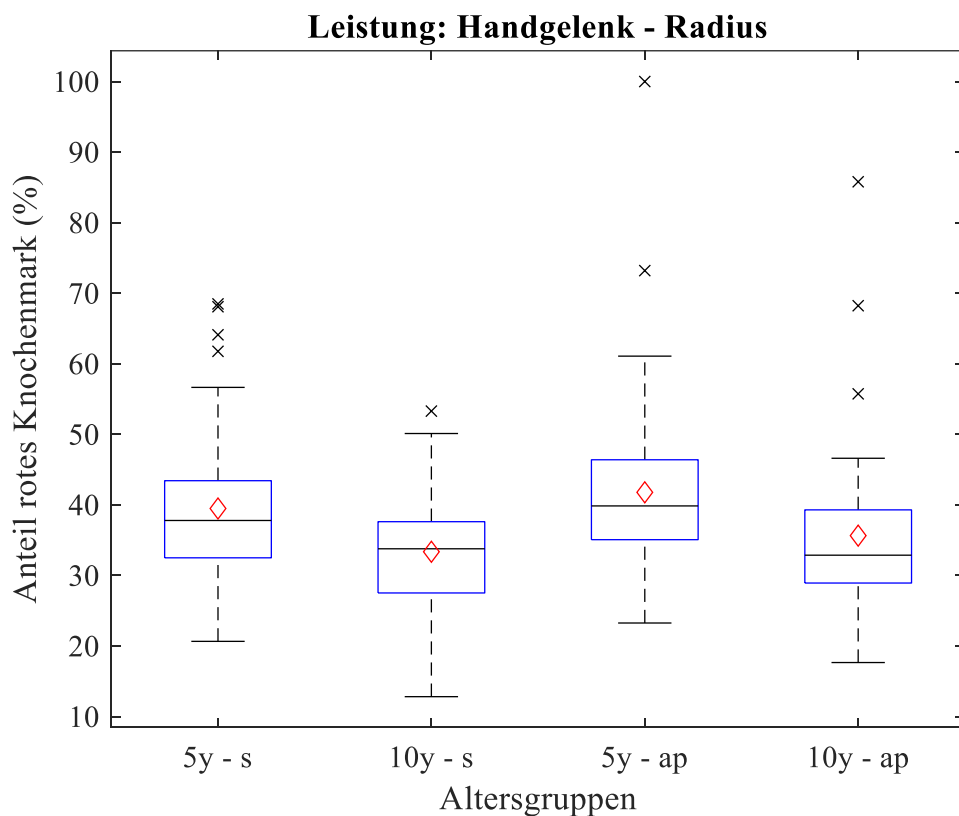


Abbildung 45: HG, rotes Knochenmark in gemessenem Radiusanteil

3.2.4.2 Ulna

Analog zur Signifikanz der Abnahme des Anteils an rotem Knochenmark im Radiusanteil, lässt sich aus Tabelle 28 ablesen, dass die Veränderung der Knochenmarksanteile in der Ulna in seitlicher und ap-Projektion ebenfalls signifikant ist ($p < 0,01$). Zwischen Alter bei Untersuchung und Anteil des roten Knochenmarks am miterfassten Ulnaanteil auf Handgelenksröntgenbildern besteht ein leicht negativer Zusammenhang, das bedeutet, dass der Anteil des roten Knochenmarks mit zunehmendem Alter leicht abnimmt (Pearson-Korrelationskoeffizient: seitlich = -0,39; ap = -0,36). Abbildung 46 zeigt einen Ausreißer in ap-Projektion in Altersgruppe 5y, der bei 100% liegt.

Tabelle 28: HG, Ulna, Mann-Whitney-U-Test

	Knochenmarksanteil, %					Längenanteil, %				
	Mittelwert		Median		Z – Wert	Mittelwert		Median		Z – Wert
	5y	10y	5y	10y	P – Wert	5y	10y	5y	10y	P – Wert
s	37.06	24.54	34.43	24.54	5.8168 6.00E-09	42.70	38.40	41.99	35.52	1.9792 0.0478
ap	38.63	25.80	36.24	23.94	6.0300 1.64E-09	40.60	37.00	39.88	36.41	1.7376 0.0823

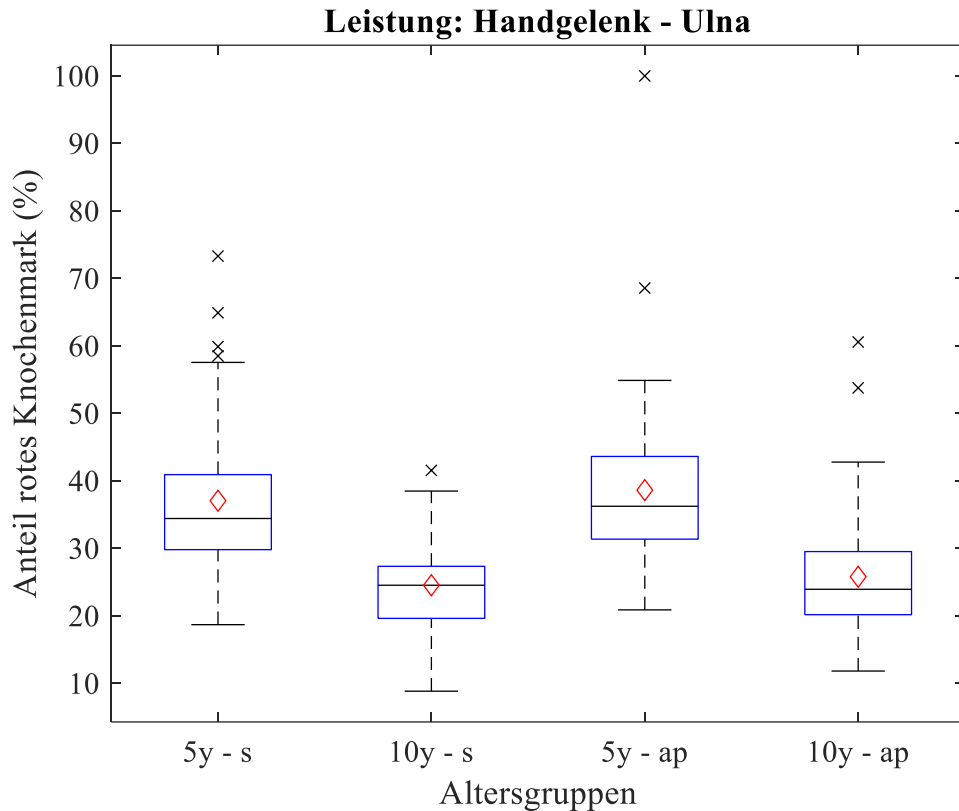


Abbildung 46: HG, rotes Knochenmark in gemessenem Ulnaanteil

3.2.5 Leistung Oberschenkel

Das Femur und seine angrenzenden Gelenke sind auf einem Oberschenkelröntgen abgebildet. Im Falle des Kniegelenks wurde der proximale Teil der Tibia und der Fibula miterfasst. Für die weiteren Berechnungen muss somit der am proximalen Anteil des jeweiligen Knochens gemessene Anteil an rotem Knochenmark berücksichtigt werden. Diese belaufen sich in der Gruppe 5y bei der Tibia durchschnittlich auf 18,52% und bei der Fibula auf 19,03% der Gesamtknochenlänge. In Altersgruppe 10y findet man im proximalen Teil der Tibia durchschnittlich in 10,20% und im gleichen Teil der Fibula im Schnitt in 12,07% der Gesamtknochenlänge rotes Knochenmark. Im gesamten Bereich des Femurs findet man in Gruppe 5y insgesamt in ca. 55,98% des Gesamtknochens rotes Knochenmark, in der Altersgruppe 10y sind es durchschnittlich 37,01%.

3.2.5.1 Tibia

Die Veränderung des Knochenmarksanteils der Tibia bei der Leistung Oberschenkel in ap-Projektion zeigt Tabelle 29 als statistisch signifikant, allerdings konnte in seitlicher Projektion mittels Mann-Whitney-U-Test kein signifikanter Unterschied gezeigt werden. Die Mittelwerte der miterfassten Längenanteile der Tibia für die Leistung Oberschenkel unterscheiden sich in seitlicher Projektion signifikant. Weiters fällt in Tabelle 29 auf, dass im ap-Längenanteil keine signifikante Veränderung stattfindet. In Abbildung 47 fällt besonders in ap-Projektion die deutliche Abnahme des arithmetischen Mittelwerts des roten Knochenmarksanteils zwischen den beiden Altersgruppen 5y und 10y auf. Insgesamt zeigen die folgenden zwei Abbildungen, dass der Anteil des roten Knochenmarks beim im Oberschenkelröntgen miterfassten Teil der Tibia in sehr vielen Fällen 100% beträgt. Es konnte gezeigt werden, dass zwischen Alter und Anteil des roten Knochenmarks ein leicht negativer Zusammenhang besteht (Pearson-Korrelationskoeffizient: seitlich = -0,07; ap = -0,29).

Tabelle 29: OS, Tibia, Mann-Whitney-U-Test

	Knochenmarksanteil, %					Längenanteil, %				
	Mittelwert		Median		Z – Wert	Mittelwert		Median		Z – Wert
	5y	10y	5y	10y	P – Wert	5y	10y	5y	10y	P – Wert
s	87.35	80.63	100	87.56	1.0787 0.2807	17.67	11.26	17.96	11.65	3.0645 0.0022
ap	97.35	81.62	100	100	2.6476 0.0081	10.92	10.77	9.94	8.52	0.5276 0.5978

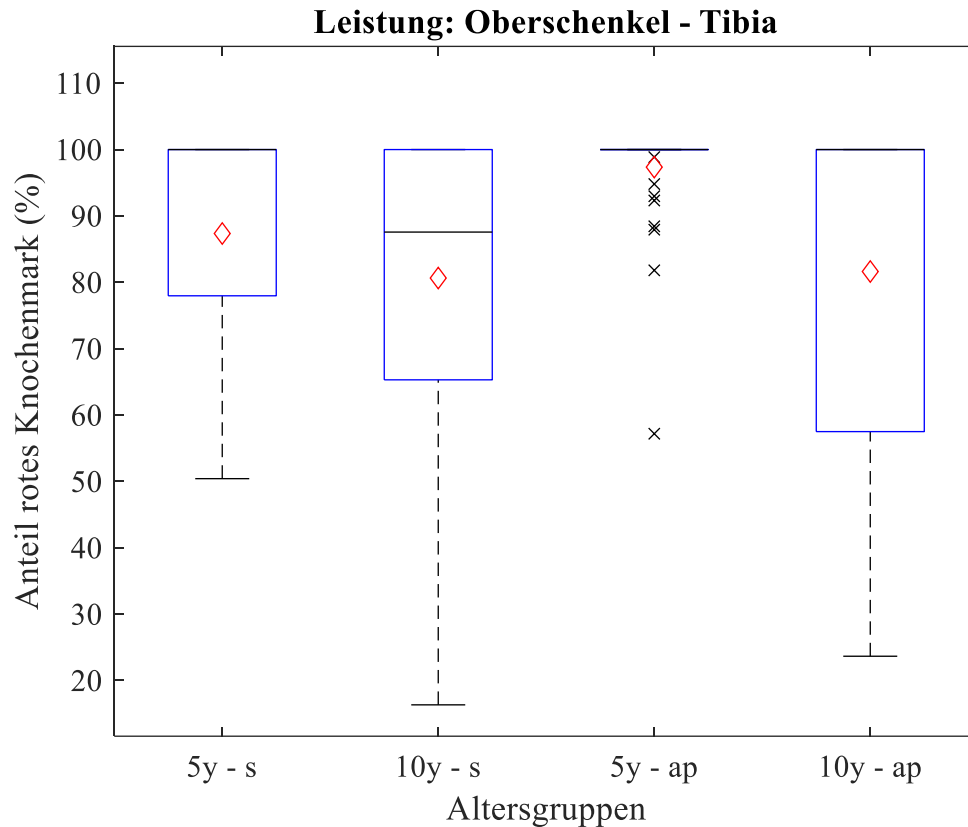


Abbildung 47: OS, rotes Knochenmark in gemessenem Tibiaanteil

3.2.5.2 Fibula

Abbildung 48 und Tabelle 30 verdeutlichen, dass der arithmetische Mittelwert des Anteils des roten Knochenmarks sowohl in seitlicher als auch in ap-Projektion in beiden Altersgruppen über 93% liegt und die Mediane alle 100% entsprechen. Die größte Verteilung der Werte liegt bei 100%. Mittels Mann-Whitney-U-Test konnte gezeigt werden, dass sich die Mediane in ap-Projektion statistisch signifikant voneinander unterscheiden, für die seitliche Projektion kann diese Aussage jedoch nicht gemacht werden. In ap-Projektion besteht ein geringer negativer Zusammenhang zwischen Alter und Anteil des roten Knochenmarks (Pearson-Korrelationskoeffizient: seitlich = -0,005; ap = -0,24).

Tabelle 30: OS, Fibula, Mann-Whitney-U-Test

	Knochenmarksanteil, %					Längenanteil, %				
	Mittelwert		Median		Z – Wert	Mittelwert		Median		Z – Wert
	5y	10y	5y	10y	P – Wert	5y	10y	5y	10y	P – Wert
s	94.18	93.45	100	100	-0.4667 0.6407	14.04	8.61	15.71	6.26	3.0900 0.0020
ap	99.49	93.83	100	100	2.2623 0.0237	5.46	6.18	3.75	0.00	0.6774 0.4981

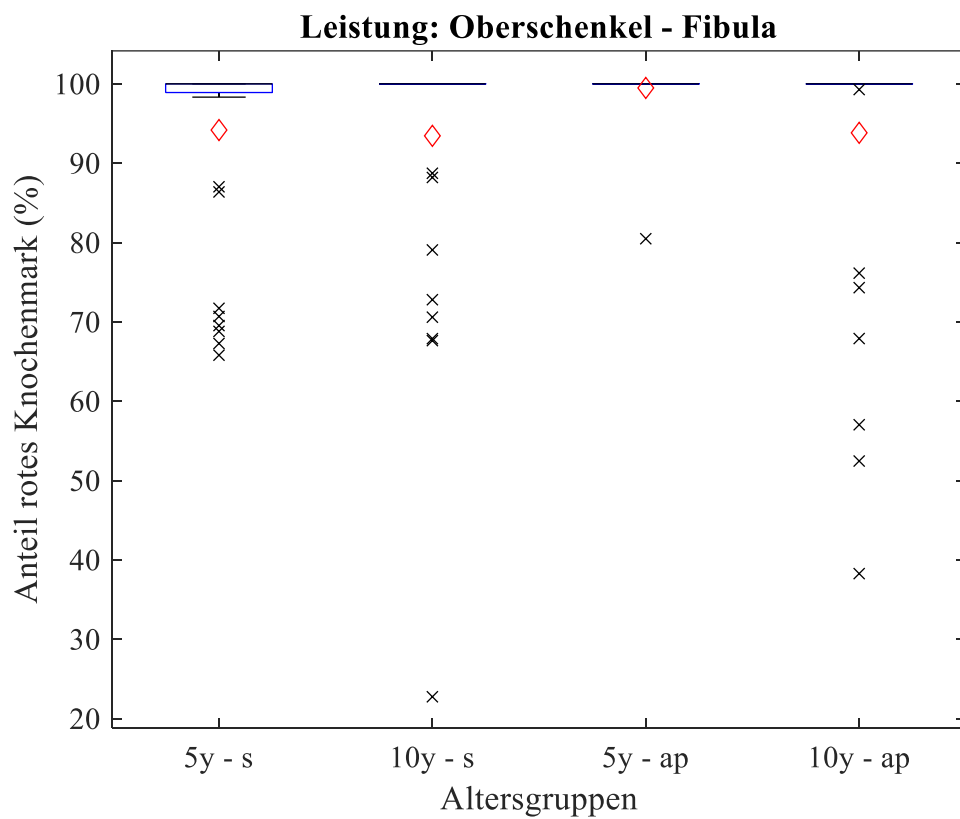


Abbildung 48: OS, rotes Knochenmark in gemessenem Fibulaanteil

3.2.6 Leistung Knie

Beim Kniegelenksröntgen sind Anteile des Femurs, der Tibia und der Fibula miterfasst. Im Falle des Femurs muss der distale Teil des im Knochen teil gemessenen roten Knochenmarks für die weiteren Berechnungen herangezogen werden. Im Falle der Tibia und der Fibula handelt es sich beim miterfassten Teil und bei den für weitere Berechnungen eingesetzten Werten um die des proximalen Knochenendes. Im distalen Teil des Femur konnte in Altersgruppe 5y durchschnittlich in 17,05% und in Gruppe 10y in 16,14% der Gesamtknochenlänge rotes Knochenmark gemessen werden. Die Messungen der proximalen Anteile des roten Knochenmarks von Tibia und Fibula sind in Kapitel 3.2.5 zu finden.

3.2.6.1 Femur

Der miterfasste Längenanteil des Femurs bei der Leistung Knie verändert sich von Altersgruppe 5y zur Altersgruppe 10y statistisch signifikant. Wie in Tabelle 31 anhand der arithmetischen Mittelwerte und Mediane zu sehen ist, handelt es sich um eine Zunahme des miterfassten Teils in Röntgenuntersuchungen. In seitlicher Projektion verändert sich der Anteil des roten Knochenmarks im miterfassten Femuranteil im Röntgenbild statistisch signifikant ($p < 0,05$). An den arithmetischen Mittelwerten und Medianen des Anteils an rotem Knochenmark in Tabelle 31 und in Abbildung 49 sieht man eine Zunahme von Altersgruppe 5y zu 10y. Es lässt sich ein leicht positiver Zusammenhang zwischen Alter und miterfasstem roten Knochenmarksanteil erkennen (Pearson-Korrelationskoeffizient: seitlich = 0,28; $ap = 0,27$).

Tabelle 31: KN, Femur, Mann-Whitney-U-Test

	Knochenmarksanteil, %					Längenanteil, %				
	Mittelwert		Median		Z – Wert	Mittelwert		Median		Z – Wert
	5y	10y	5y	10y	P – Wert	5y	10y	5y	10y	P – Wert
s	48.47	53.20	47.46	51.03	-2.4674 0.0136	36.08	31.43	35.95	31.63	3.9736 7.08E-05
ap	54.55	58.09	53.32	56.85	-1.9149 0.0555	32.25	28.83	31.99	28.39	3.3530 8.00E-04

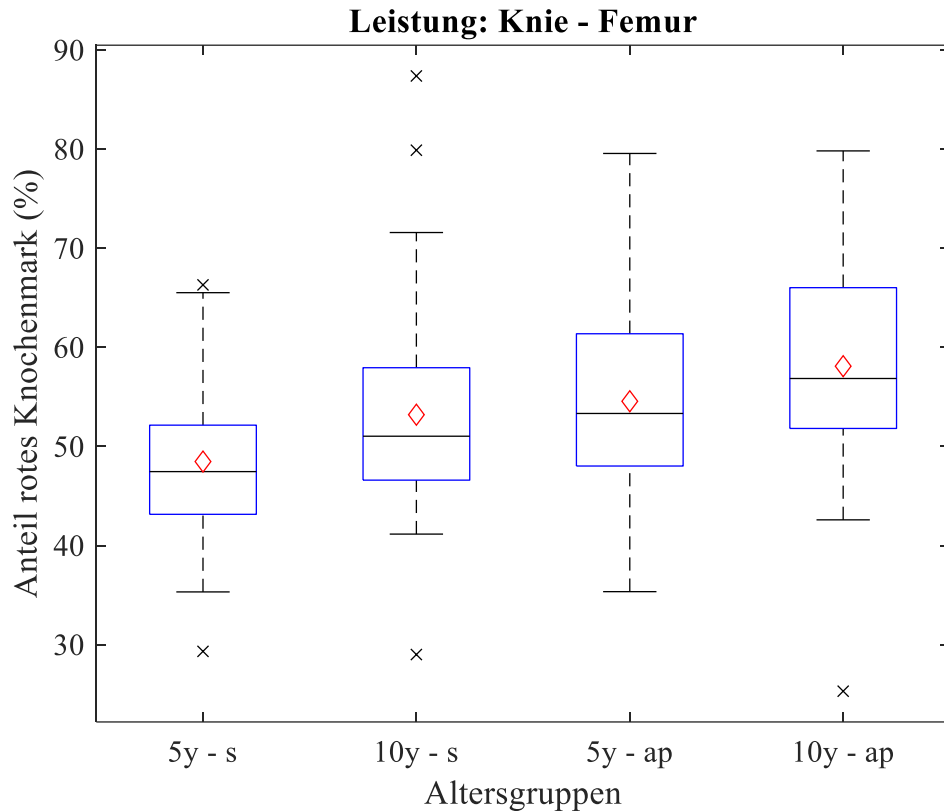


Abbildung 49: KN, rotes Knochenmark in gemessenem Femuranteil

3.2.6.2 Tibia

An der deutlich ersichtlichen Abnahme der arithmetischen Mittelwerte und Mediane des Anteils an rotem Knochenmark im miterfassten Tibiaanteil der Röntgenuntersuchungen von Gruppe 5y auf Gruppe 10y in Abbildung 50 lässt sich vermuten, dass mit zunehmendem Alter der Anteil an rotem Knochenmark abnimmt. Zwischen Alter und rotem Knochenmarksanteil besteht ein leicht negativer Zusammenhang (Pearson-Korrelationskoeffizient: seitlich = -0,36; ap = -0,40). Mittels Mann-Whitney-U-Test konnte gezeigt werden, dass sich die Mediane zwischen Gruppe 5y und 10y statistisch signifikant unterscheiden. Ebenfalls statistisch signifikant ist die Veränderung der Längenanteile sowohl in seitlicher als auch in ap-Projektion zwischen Gruppe 5y und 10y. Das ist Tabelle 32 zu entnehmen.

Tabelle 32: KN, Tibia, Mann-Whitney-U-Test

	Knochenmarksanteil, %					Längenanteil, %				
	Mittelwert		Median		Z – Wert	Mittelwert		Median		Z – Wert
	5y	10y	5y	10y	P – Wert	5y	10y	5y	10y	P – Wert
s	51.31	36.84	49.78	36.63	6.4334 1.25E-10	37.53	28.85	37.21	27.85	5.5479 2.89E-08
ap	52.55	35.18	50.73	33.77	7.1676 7.63E-13	36.56	30.05	36.51	30.21	4.6851 2.80E-06

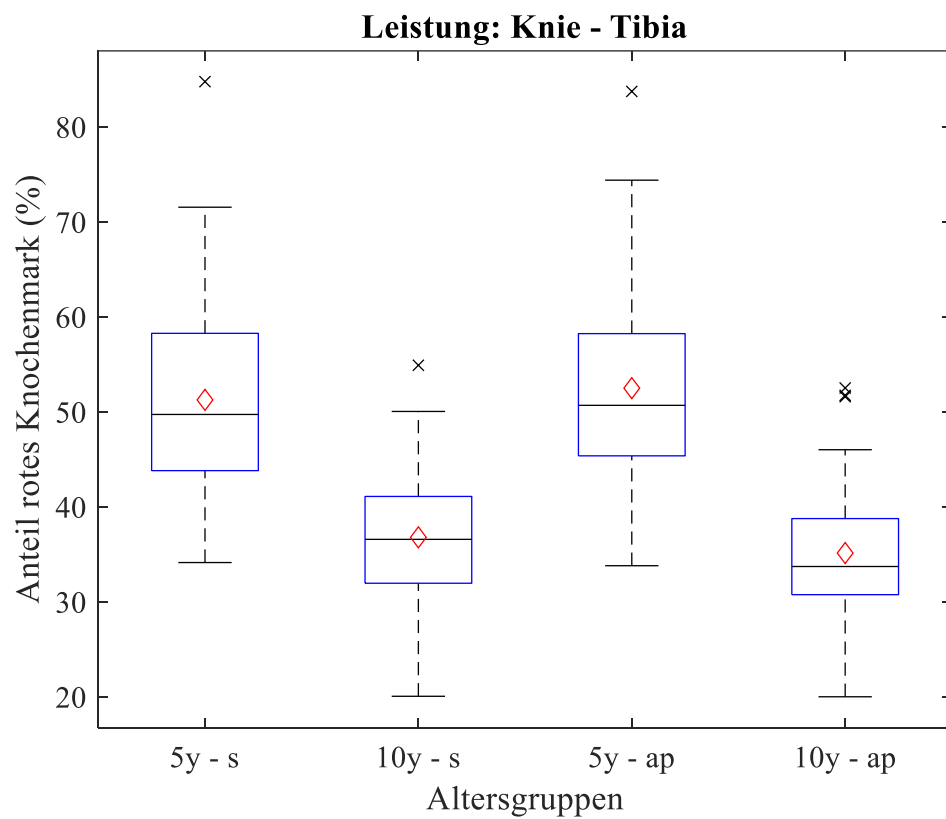


Abbildung 50: KN, rotes Knochenmark in gemessenem Tibiaanteil

3.2.6.3 Fibula

In seitlicher Projektion zeigt sich zwischen der Altersgruppe 5y und der Altersgruppe 10y keine statistisch relevante Veränderung des Anteils des roten Knochenmarks in der gemessenen Knochenlänge. Tabelle 33 zeigt die statistische Signifikanz der Veränderung des Anteils des roten Knochenmarks im auf den ap-projizierten Röntgenbildern miterfassten Fibulateil. In Abbildung 51 erkennt man in ap-Projektion anhan der Position der Boxen zwischen den beiden Altersgruppen eine deutliche Abnahme der Werte. Mit zunehmendem Alter nimmt der Anteil an rotem Knochenmark im miterfassten Teil der Fibula am Kniegelenksröntgenbild in ap-Projektion sehr leicht ab (Pearson-Korrelationskoeffizient: seitlich = 0,09; ap = -0,11). Ebenso konnte mittels Mann-Whitney-U-Test beschrieben werden, dass sich die Mediane der Länge des am Röntgenbilds miterfassten Fibulateils in Gruppe 5y und 10y sowohl in seitlicher als auch in ap-Projektion statistisch signifikant unterscheiden.

Tabelle 33: KN, Fibula, Mann-Whitney-U-Test

	Knochenmarksanteil, %					Längenanteil, %				
	Mittelwert		Median		Z – Wert	Mittelwert		Median		Z – Wert
	5y	10y	5y	10y	P – Wert	5y	10y	5y	10y	P – Wert
s	68.76	65.56	64.00	66.29	0.6510 0.5150	29.08	22.82	29.74	21.25	4.2991 1.7E-05
ap	70.13	59.82	66.93	59.70	3.2245 0.0013	28.24	24.72	28.44	23.60	2.914 0.0036

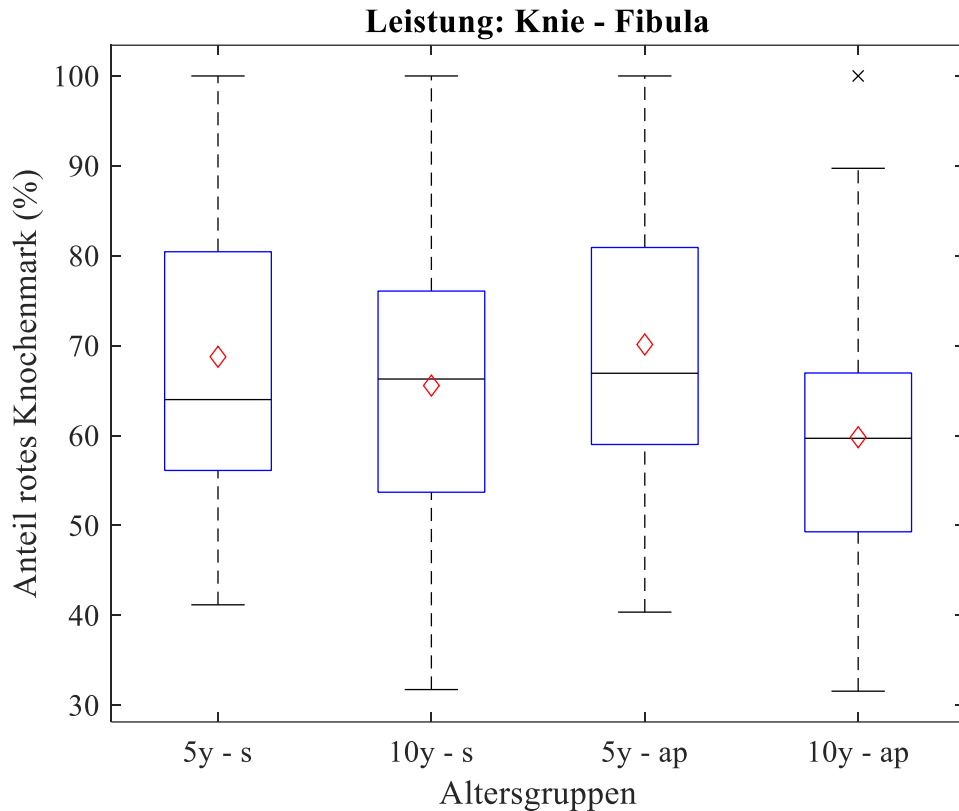


Abbildung 51: KN, rotes Knochenmark in gemessenem Fibulaanteil

3.2.7 Leistung *Unterschenkel*

Beim Unterschenkelröntgen ist der gemessene, miterfasste Knochenteil der distale Femuranteil. Daher wird für die weiteren Betrachtungen der rote Knochenmarksanteil des distalen Femurs berücksichtigt. In der gesamten Tibia sind in Altersgruppe 5y im Schnitt in 31,31%, in Gruppe 10y in 21,55% der Gesamtknochenlänge rotes Knochenmark zu messen. In der Fibula findet man in Gruppe 5y durchschnittlich in 28,67%, in Altersgruppe 10y in 22,06% der Gesamtknochenlänge rotes Knochenmark. Die gemessenen Werte des roten Knochenmarks im distalen Femurteil sind Kapitel 3.2.7 zu entnehmen.

Sowohl die Veränderung des Anteils des roten Knochenmarks im miterfassten Femuranteil am Röntgenbild als auch die Veränderung des Längenanteils in der Röntgenuntersuchung der Leistung Unterschenkel stellen sich, wie in Tabelle 34 zu sehen ist, bei Testung mittels Mann-Whitney-U-Tests als statistisch signifikant heraus. Bezogen auf den Längenanteil der Röntgenuntersuchung handelt es sich bei Betrachtung der arithmetischen Mittelwerte und Mediane um eine deutliche Abnahme der Werte. Im Gegenzug dazu handelt es sich, wie in Abbildung 52 anhand der in Altersgruppe 10y nach oben verschobenen Boxen zu erkennen ist, bei der Größe des Knochenmarksanteils um eine Zunahme. Vor allem bei der Altersgruppe 10y fällt in beiden Projektionen auf, dass die meisten Werte 100% betragen.

Zwischen Alter und Anteil des roten Knochenmarks besteht eine leicht positive Korrelation (Pearson-Korrelationskoeffizient: seitlich = 0,63; ap = 0,58).

Tabelle 34: US, Femur, Mann-Whitney-U-Test

	Knochenmarksanteil, %					Längenanteil, %				
	Mittelwert		Median		Z – Wert	Mittelwert		Median		Z – Wert
	5y	10y	5y	10y	P – Wert	5y	10y	5y	10y	P – Wert
s	78.01	96.65	79.92	100.00	-5.1549 2.54E-07	22.26	12.80	21.35	14.06	5.5797 2.41E-08
ap	78.54	95.67	77.50	100.00	-4.4422 8.91E-06	21.22	13.51	22.01	15.19	4.3747 1.22E-05

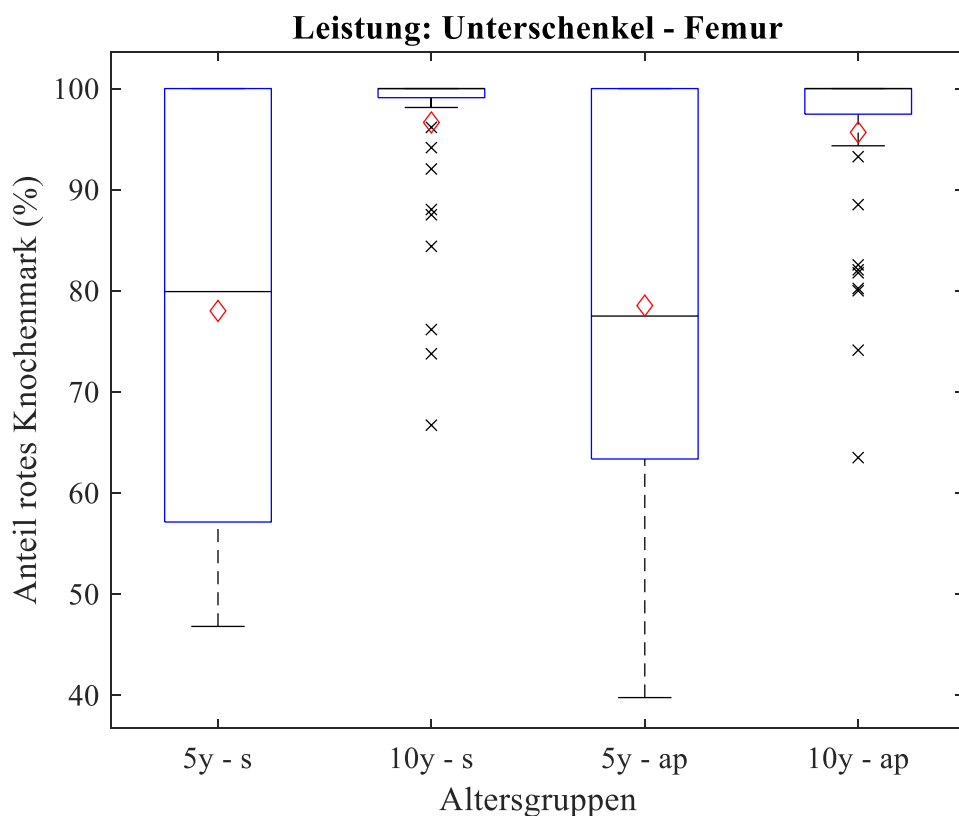


Abbildung 52: US, rotes Knochenmark in gemessenem Femuranteil

3.2.8 Leistung Sprunggelenk

Tibia und Fibula sind die langen Röhrenknochen, die mit ihrem distalen Anteil am Sprunggelenksröntgenbild miterfasst sind. Daher muss für die weiteren Berechnungen der im jeweils distalen Knochenende vorkommende rote Knochenmarksanteil miteinbezogen werden. Im distalen Tibiaanteil der Altersgruppe 5y sind durchschnittlich in 12,79% des Gesamtknochens rotes Knochenmark zu finden. In Gruppe 10y beträgt die gemessene Menge an rotem Knochenmark 11,35% der Gesamtknochenlänge. In der Gruppe 5y sind im distalen Anteil der Fibula ca 9,64% der Gesamtknochenlänge rotes Knochenmark. Bei Altersgruppe 10y findet man im distalen Anteil der Fibula durchschnittlich in 9,99% der Gesamtknochenlänge rotes Knochenmark.

3.2.8.1 Tibia

Anhand Abbildung 53 und Tabelle 35 ist die deutlich statistisch signifikante Veränderung als Zunahme des Anteils des roten Knochenmarks im miterfassten Tibiaanteil der Röntgenbild-Leistung Sprunggelenk von Gruppe 5y zu Gruppe 10y sowohl in seitlicher Projektion als auch in ap Projektion zu erkennen. Es besteht zwischen Alter und Anteil an rotem Knochenmark ein leicht positiver Zusammenhang (Pearson-Korrelationskoeffizient: seitlich = 0,27; ap = 0,34). Ebenfalls statistisch signifikant ist die Veränderung des miterfassten Tibialängenanteils im Röntgenbild. In dem Fall handelt es sich um eine Abnahme der Werte. Der in Abbildung 53 dargestellte Interquartilsabstand ist geringer als bei anderen Knochenmessungen.

Tabelle 35: SG, Tibia, Mann-Whitney-U-Test

	Knochenmarksanteil, %					Längenanteil, %				
	Mittelwert		Median		Z – Wert	Mittelwert		Median		Z – Wert
	5y	10y	5y	10y	P – Wert	5y	10y	5y	10y	P – Wert
s	39.90	47.96	38.39	46.36	-3.0059 0.0026	35.13	25.96	33.32	24.49	4.5526 5.3E-06
ap	36.36	44.78	35.63	44.47	-3.4748 0.0005	37.50	27.71	35.90	25.53	5.0145 5.3E-07

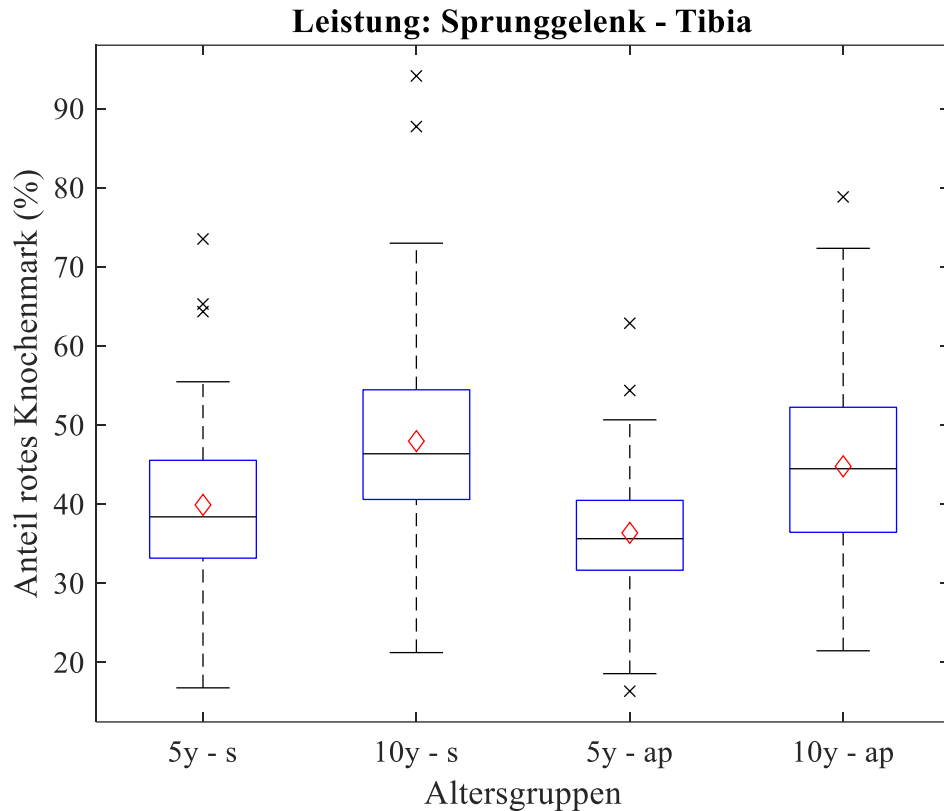


Abbildung 53: SG, rotes Knochenmark in gemessenem Tibiaanteil

3.2.8.2 Fibula

Bei Betrachtung des Anteils des roten Knochenmarks in der miterfassten Fibulalänge im Röntgenbild des Sprunggelenks fällt die statistisch signifikante Veränderung der Mediane zwischen Gruppe 5y und 10y in Tabelle 36 auf. Die geringe Streubreite der Daten in den 5y Altersgruppen beider Projektionen lässt sich am geringeren Interquartilsabstand in Abbildung 54 erkennen. Mit zunehmendem Alter nimmt der Anteil an rotem Knochenmark im am Sprunggelenksröntgen abgebildeten Teil der Fibula leicht zu (Pearson-Korrelationskoeffizient: seitlich = 0,60; ap = 0,64).

Tabelle 36: SG, Fibula, Mann-Whitney-U-Test

	Knochenmarksanteil, %					Längenanteil, %				
	Mittelwert		Median		Z – Wert	Mittelwert		Median		Z – Wert
	5y	10y	5y	10y	P – Wert	5y	10y	5y	10y	P – Wert
s	24.40	39.16	24.20	38.69	-6.967 3.24E-12	42.10	31.92	39.87	30.22	4.9515 7.37E-07
ap	22.30	35.79	22.18	35.62	-7.107 1.19E-12	45.41	34.75	43.50	32.83	5.1684 2.36E-07

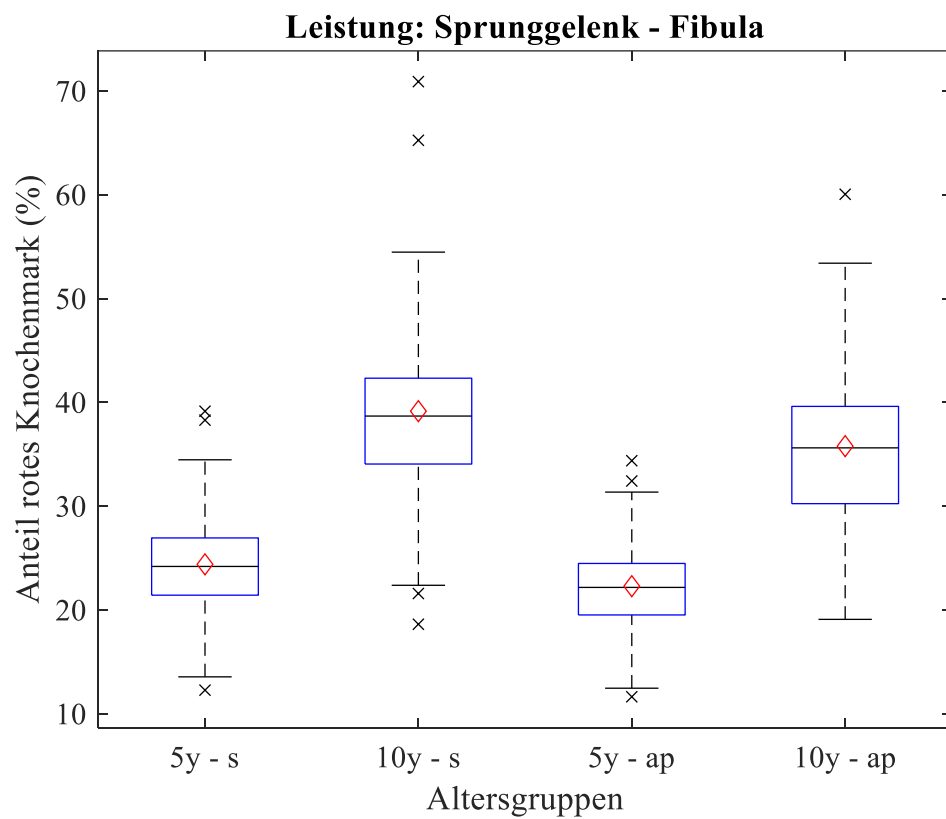


Abbildung 54: SG, rotes Knochenmark in gemessenem Fibulaanteil

3.3 Effektive Dosis

Aus dem eRöntgenpass wurde die effektive Dosis für jede Röntgenleistung ermittelt. Bei allen untersuchten Leistungen der oberen Extremität, sowie der Leistungen Knie, Unterschenkel und Sprunggelenk lag die Dosis für sämtliche Röntgen und Altersgruppen unter 0,01 mSv. Bei der Leistung Oberschenkelröntgen wurden in den Gruppen 1y und 5y ebenfalls nur effektive Dosen von unter 0,01 dokumentiert. In der Altersgruppe 10y war die effektive Dosis bei 37 Fällen unter 0,01mSv, bei vier Fällen lag sie bei 0,01mSv, bei weiteren vier Fällen bei 0,02mSv und bei vieren wurde keine effektive Dosis im eRöntgenpass eingetragen. In 15 Fällen der Gruppe 15y lag die effektive Dosis unter 0,01mSv, bei 24 Fällen betrug die effektive Dosis 0,01mSv, in fünf Fällen 0,02mSv und in jeweils einem Fall 0,03mSv, 0,05mSv bzw. 0,1mSv.

3.4 Einsparung rotes Knochenmark

Am Beispiel der Leistung *Knie* und dem untersuchten Knochen Tibia in ap-Projektion eines Röntgenbildes würde es folgende Auswirkungen haben, wenn man davon ausgeht, dass pro Leistung und untersuchtem Knochen der gemessene prozentuelle Mindestanteilswert der Knochenlänge als Maximum herangezogen werden kann und somit weniger rotes Knochenmark und die in diesem enthaltenen Stammzellen mit Röntgenstrahlung belastet würden.

Der minimale prozentuelle Wert des miterfassten Tibiaanteils am ap-projizierten Röntgenbild liegt in Gruppe 15y und beträgt 13,61%. Somit wird dieser Wert als Maximum des für die korrekte Einstelltechnik benötigten miterfassten Knochenanteils angenommen.

Beispiel 1:

Bei einem prozentuellen Anteil des roten Knochenmarks von 52,55% in Altersgruppe 5y in einer prozentuell miterfassten Länge von 36,56% kann man durch Schlussrechnungen zeigen, dass durch Reduktion der miterfassten Länge von 36,56% auf 13,61% eine Reduktion des miterfassten roten Knochenmarks von 29,15% erreicht werden kann.

$$(100*[1-(13,61*100)/(36,56*52,55)])$$

Beispiel 2:

Nimmt man den prozentuellen Anteil des roten Knochenmarks gemäß den Ergebnissen der Gruppe 10y von 35,18% in einer prozentuell miterfassten Länge von 30,05% an, ergibt sich keine Reduktion der Strahlenbelastung des roten Knochenmarks bei Verringerung der miterfassten Länge auf 13,56.

Tabelle 37 stellt dar, wie viel Prozent Reduktion des miterfassten Knochenmarks durch Abnahme der miterfassten Länge auf den Mindestwert, der jedoch nicht gleich null sein darf, erreicht werden könnte.

Tabelle 37: theoretische Reduktion des am Röntgenbild miterfassten roten Knochenmarks bei minimaler miterfasster Knochenlänge

Leistung - Knochen	Altersgruppe - Projektion im Röntgenbild	Anteil rotes Knochenmark (gemessen)	Mittelwert erfasster Längenanteil (gemessen)	Minimale Länge ungleich null (gemessen)	Reduktion erfasstes KM (berechnet)
OA-Radius	5y - s	79.04 %	30.79 %	2.41 %	90.09 %
	10y - s	60.15 %	23.28 %	2.41 %	82.87 %
	5y - ap	92.51 %	18.30 %	0.75 %	95.56 %
	10y - ap	76.19 %	17.43 %	0.75 %	94.35 %
OA-Ulna	5y - s	62.96 %	37.37 %	3.99 %	83.04 %
	10y - s	66.35 %	32.15 %	3.99 %	81.29 %
	5y - ap	83.77 %	23.59 %	3.16 %	84.01 %
	10y - ap	81.23 %	24.31 %	3.16 %	83.99 %
EL-Humerus	5y - s	63.64 %	41.99 %	20.57 %	23.02 %
	10y - s	47.09 %	34.92 %	20.57 %	0 %
	5y - ap	62.54 %	43.33 %	18.42 %	32.02 %
	10y - ap	48.49 %	33.65 %	18.42 %	0 %
EL-Radius	5y - s	64.35 %	39.70 %	17.33 %	32.15 %
	10y - s	41.21 %	33.54 %	17.33 %	0 %
	5y - ap	70.80 %	36.13 %	9.38 %	63.33 %
	10y - ap	48.83 %	30.65 %	9.38 %	37.33 %
EL-Ulna	5y - s	51.29 %	46.21 %	17.86 %	24.64 %
	10y - s	51.63 %	41.46 %	17.86 %	16.56 %
	5y - ap	61.82 %	39.13 %	12.12 %	49.89 %
	10y - ap	62.96 %	35.95 %	12.12 %	46.44 %
UA-Humerus	5y - s	97.64 %	20.49 %	5.65 %	71.76 %
	10y - s	85.73 %	17.88 %	5.65 %	63.13 %

	5y – ap	95.59 %	18.93 %	2.45 %	86.46 %
	10y – ap	85.53 %	15.45 %	2.45 %	81.46 %
HG-Radius	5y – s	39.49 %	51.32 %	20.55 %	0 %
	10y – s	33.36 %	44.48 %	20.55 %	0 %
	5y – ap	41.78 %	48.41 %	15.84 %	21.68 %
	10y – ap	35.64 %	42.18 %	15.84 %	0 %
HG-Ulna	5y – s	37.06 %	42.70 %	16.18 %	0 %
	10y – s	24.54 %	38.40 %	16.18 %	0 %
	5y – ap	38.63 %	40.60 %	11.01 %	29.81 %
	10y – ap	25.80 %	37.00 %	11.01 %	0 %
OS-Tibia	5y – s	87.35 %	17.67 %	2.14 %	86.13 %
	10y – s	80.64 %	11.26 %	2.14 %	76.43 %
	5y – ap	97.36 %	10.93 %	2.44 %	77.06 %
	10y – ap	81.62 %	10.78 %	2.44 %	72.26 %
OS-Fibula	5y – s	94.18 %	14.04 %	1.36 %	89.71 %
	10y – s	93.45 %	8.61 %	1.36 %	83.09 %
	5y – ap	99.49 %	5.46 %	1.76 %	67.59 %
	10y – ap	93.83 %	6.18 %	1.76 %	69.66 %
KN-Femur	5y – s	48.47 %	36.08 %	18.47 %	0 %
	10y – s	53.20 %	31.43 %	18.47 %	0 %
	5y – ap	54.55 %	32.25 %	17.12 %	2.68 %
	10y – ap	58.09 %	28.83 %	17.12 %	0 %
KN-Tibia	5y – s	51.31 %	37.53 %	14.68 %	23.75 %
	10y – s	36.84 %	28.85 %	14.68 %	0 %
	5y – ap	52.55 %	36.56 %	13.61 %	29.14 %

	10y – ap	35.18 %	30.05 %	13.61 %	0 %
KN-Fibula	5y – s	68.76 %	29.08 %	9.4 %	52.99 %
	10y – s	65.56 %	22.82 %	9.4 %	37.18 %
	5y – ap	70.13 %	28.24 %	10.53 %	46.83 %
	10y – ap	59.82 %	24.72 %	10.53 %	28.78 %
US-Femur	5y – s	78.01 %	22.26 %	2.36 %	86.40 %
	10y – s	96.65 %	12.80 %	2.36 %	80.92 %
	5y – ap	78.54 %	21.22 %	0.61 %	96.33 %
	10y – ap	95.67 %	13.51 %	0.61 %	95.27 %
SG-Tibia	5y – s	39.90 %	35.13 %	12.06 %	13.96 %
	10y – s	47.96 %	25.96 %	12.06 %	3.13 %
	5y – ap	36.36 %	37.50 %	14.40 %	0 %
	10y – ap	44.78 %	27.71 %	14.40 %	0 %
SG-Fibula	5y – s	24.40 %	42.10 %	15.72 %	0 %
	10y – s	39.16 %	31.92 %	15.72 %	0 %
	5y – ap	22.30 %	45.41 %	18.67 %	0 %
	10y – ap	35.79 %	34.75 %	18.67 %	0 %

4 Diskussion

Im folgenden Kapitel werden einerseits die Forschungsfragen beantwortet, Erkenntnisse aus den Ergebnissen geschlossen, sowie die Limitationen der Arbeit erläutert. Des Weiteren werden auf Grundlage der Ergebnisse Empfehlungen für die praktische Umsetzung abgeleitet. Abschließend folgen eine Zusammenfassung sowie ein Ausblick auf mögliche weitere Arbeiten.

4.1 Beantwortung der Forschungsfragen

In diesem Teil der Arbeit werden die zuvor definierten Forschungsfragen anhand der Ergebnisse in Kapitel 3 beantwortet.

4.1.1 Vorkommen roten Knochenmarks

Im Rahmen der ersten Forschungsfrage sollte herausgefunden werden, ob im miterfassten Knochenanteil des jeweiligen Röntgenbilds rotes Knochenmark zu finden ist, welches somit der Strahlenbelastung durch Röntgenstrahlung ausgesetzt war. Es konnte gezeigt werden, dass sich bei allen untersuchten Knochen in den Altersgruppen 5y und 10y sowohl im proximalen als auch im distalen Anteil rotes Knochenmark befindet. Durchschnittlich befindet sich im proximalen Anteil der in der Arbeit berücksichtigten Knochen in Altersgruppe 5y in 26,21%, in Gruppe 10y in 16,41% der Gesamtknochenlänge rotes Knochenmark. Im distalen Anteil der Knochen befindet sich in Gruppe 5y in durchschnittlich 16,47%, in Altersgruppe 10y in 12,64% der gesamten Knochenlänge rotes Knochenmark. Insgesamt findet man in Gruppe 5y in den untersuchten langen Röhrenknochen der Extremitäten durchschnittlich 42,68% rotes Knochenmark, in Altersgruppe beträgt der Anteil an rotem Knochenmark im Gesamtknochen im Schnitt 29,05%.

4.1.2 Altersabhängiger Unterschied des roten Knochenmarksanteils im miterfassten Knochenteil

Mittels Mann-Whitney-U-Test konnte gezeigt werden, ob sich die Mediane des roten Knochenmarksanteils im gemessenen Röhrenknochenanteil innerhalb der Altersgruppen 5y und 10y je Röntgenbildprojektion statistisch signifikant voneinander unterscheiden.

Ein statistisch hochsignifikanter Unterschied der Mediane konnte bei folgenden Leistungen, Knochen und Projektionen bewiesen werden ($p < 0,01$):

- Leistung Oberarm: Radius (s & ap);

- Leistung Ellbogen: Humerus (s & ap), Radius (s & ap);
- Leistung Unterarm: Humerus (s & ap);
- Leistung Handgelenk: Radius (s & ap), Ulna (s & ap);
- Leistung Oberschenkel: Tibia (ap);
- Leistung Knie: Tibia (s & ap);
- Leistung Unterschenkel: Femur (s & ap);
- Leistung Sprunggelenk: Tibia (s & ap), Fibula (s & ap);

Bei folgenden Leistungen, Knochen und Projektionen konnte ein statistisch signifikanter Unterschied des roten Knochenmarks im miterfassten Knochenteil gezeigt werden ($p < 0,05$):

- Leistung Oberschenkel: Fibula (ap);
- Leistung Knie: Femur (s), Fibula (ap);

Ein Unterschied konnte beim Anteil des roten Knochenmarks im in ap-Projektion miterfassten Teil des Femurs im Knieröntgen gezeigt werden ($p < 0,1$).

Kein signifikanter Unterschied konnte bei folgenden Leistungen, Knochen und Projektionen erfasst werden:

- Leistung Oberarm: Ulna (s & ap);
- Leistung Ellbogen: Ulna (s & ap);
- Leistung Oberschenkel: Tibia (s), Fibula (s);
- Leistung Knie: Fibula (s)

Somit konnte bei den meisten untersuchten Knochen ein signifikanter Unterschied der Mediane des Vorkommens von rotem Knochenmark im miterfassten Knochenanteil zwischen den Altersgruppen 5y und 10y gezeigt werden.

4.1.3 Altersabhängiger Unterschied des miterfassten Knochenanteils

Ob sich die Mediane der miterfassten Knochenanteile innerhalb der Altersgruppen 5y und 10y je Röntgenbildprojektion statistisch signifikant voneinander unterscheiden, konnte mittels Mann-Whitney-U-Tests gezeigt werden:

Bei folgenden Leistungen, Knochen und Projektionen konnte ein statistisch signifikanter Unterschied der Mediane bewiesen werden ($p < 0,01$):

- Leistung Oberarm: Radius (s), Ulna (s);
- Leistung Ellbogen: Humerus (s & ap), Radius (s), Ulna (s);
- Leistung Unterarm: Humerus (s);
- Leistung Handgelenk: Radius (s & ap);
- Leistung Oberschenkel: Tibia (s), Fibula (s);
- Leistung Knie: Femur (s & ap), Tibia (s & ap), Fibula (s);
- Leistung Unterschenkel: Femur (s & ap)
- Leistung Sprunggelenk: Tibia (s & ap), Fibula (s & ap);

Ein statistisch signifikanter Unterschied der Mediane konnte bei folgenden Leistungen, Knochen und Projektionen bewiesen werden ($p < 0,05$):

- Leistung Ellbogen: Radius (ap);
- Leistung Handgelenk: Ulna (s);
- Leistung Knie: Fibula (ap);

Ein Unterschied der Mediane konnte zwischen den Gruppen 5y und 10y beim in ap-Projektion miterfassten Teil der Ulna im Handgelenksröntgen gezeigt werden ($p < 0,1$).

Bei folgenden Leistungen, Knochen und Projektionen konnte kein statistisch signifikanter Unterschied der Mediane zwischen den Altersgruppen 5y und 10y gefunden werden:

- Leistung Oberarm: Radius (ap), Ulna (ap);
- Leistung Ellbogen: Ulna (ap);
- Leistung Unterarm: Humerus (ap);
- Leistung Oberschenkel: Tibia (ap), Fibula (ap);

Somit konnte auch hier in den meisten Fällen ein signifikanter Unterschied der Mediane der gemessenen miterfassten Knochenanteile zwischen den Altersgruppen 5y und 10y gezeigt werden.

4.1.4 Zusammenhang zwischen Alter und Anteil an rotem Knochenmark im miterfassten Knochenteil

Um einen linearen Zusammenhang zwischen Alter und Anteil an rotem Knochenmark im miterfassten Knochenteil zu messen, wurde pro Leistung, Knochen und Projektion der Pearson-Korrelationskoeffizient bestimmt. Dabei konnte gezeigt werden, dass bei folgen-

den Leistungen, Knochen sowie Projektionen ein leicht negativer Zusammenhang zwischen Alter und rotem Knochenmark im miterfassten Knochenteil besteht:

- Leistung Oberarm: Radius (s & ap), Ulna (ap);
- Leistung Ellbogen: Humerus (s & ap), Radius (s & ap);
- Leistung Unterarm: Humerus (s & ap);
- Leistung Handgelenk: Radius (s & ap), Ulna (s & ap);
- Leistung Oberschenkel: Tibis (s & ap), Fibula (s & ap);
- Leistung Knie: Tibis (s & ap), Fibula (ap);

Bei folgenden Leistungen, Knochen und Projektionen konnte ein leicht positiver Zusammenhang zwischen Alter und Anteil an rotem Knochenmark im miterfassten Knochenteil gezeigt werden:

- Leistung Oberarm: Ulna (s);
- Leistung Ellbogen: Ulna (s & ap);
- Leistung Knie: Femur (s & ap), Fibula (s);
- Leistung Unterschenkel: Femur (s & ap);
- Leistung Sprunggelenk: Tibia (s & ap), Fibula (s & ap);

Das bedeutet, dass der Anteil an miterfasstem roten Knochenmark mit zunehmendem Alter beim überwiegenden Teil der gemessenen Knochen abnimmt. In manchen Fällen konnte jedoch gezeigt werden, dass der Anteil des roten Knochenmarks im miterfassten Knochenteil am Röntgenbild mit zunehmendem Alter ebenso zunimmt. Die weiteren Theorien bezüglich dieses Zusammenhangs werden später genauer beleuchtet. (siehe Kapitel 4.2.1)

4.1.5 Altersabhängige Unterschiede der effektiven Dosis

Aufgrund dessen, dass bei allen Leistungen außer Oberschenkel die effektive Dosis unter 0,01mSv angegeben wurde, kann für diese kein Unterschied zwischen den einzelnen Altersgruppen festgestellt werden. Bei der Leistung Oberschenkel war die effektive Dosis in höheren Altersgruppen in einigen Fällen größer.

4.1.6 Reduktion der röntgenbedingten Strahlenbelastung roten Knochenmarks

Im Schnitt handelt es sich bei der durch die Berechnungen erreichten theoretischen Reduktion um 40,53%. Wenn nur die Knochen berücksichtigt werden, bei denen eine Reduktion erreicht werden kann (Reduktion $\neq$ 0%), erreicht man sogar um 58,96% weniger miterfasstes rotes Knochenmark. Es ist dabei zu evaluieren, bis zu welcher abgebildeten Knochenlänge die notwendige Bildqualität in Bezug auf die Einstelltechnik garantiert werden kann.

Proportional zur Einsparung des Anteils des roten Knochenmarks nimmt auch die Dosis der Röntgenstrahlung ab, die auf das rote Knochenmark wirkt. Da es für stochastische Strahlenschäden keine Schwellendosis gibt, gilt es die Strahlenbelastung des Knochenmarks zu reduzieren und den von Röntgenstrahlung betroffenen Anteil optimaler Weise gegen null zu bringen.

4.2 Zusammenhang zwischen im Röntgenbild miterfasster Knochenlänge und Anteil an rotem Knochenmark

In diesem Kapitel wird diskutiert, was aus den Ergebnissen geschlossen werden kann. So wird analysiert, wie der Unterschied des roten Knochenmarksanteils im gemessenen Knochenteil pro Leistung und Altersgruppe im Bezug zum Unterschied des miterfassten Knochenteils am Röntgenbild pro Leistung und Altersgruppe zu interpretieren ist.

In Kapitel 3.2 kann man die Veränderung der Mediane des Anteils des roten Knochenmarks im Anteil des miterfassten Knochens am Röntgenbild in Zusammenschau mit den Medianen des Anteils des miterfassten Knochens am Röntgenbild am Gesamtknochen beurteilen. Daraus lassen sich folgende Thesen formulieren:

Wenn sich eine statistisch signifikante Veränderung des Anteils des roten Knochenmarks im Anteil des miterfassten Knochens am Röntgenbild durch den Vergleich der Mediane als abnehmend herausstellt und sich die signifikante Veränderung der miterfassten Knochenlänge am Röntgenbild durch den Vergleich der Mediane ebenfalls als abnehmend herausstellt, kann man davon ausgehen, dass das rote Knochenmark sich von Altersgruppe 5y zu Altersgruppe 10y verringert.

Zeigt sich keine statistisch signifikante Veränderung des Anteils des roten Knochenmarks im Anteil des miterfassten Knochens am Röntgenbild, stellt sich jedoch eine statistisch signifikante Veränderung der miterfassten Knochenlänge am Röntgenbild durch den Vergleich der Mediane der Gruppe 5y und 10y als mit zunehmendem Alter abnehmend heraus,

kann davon ausgegangen werden, dass das rote Knochenmark denselben Rückgang erfährt, wie die abnehmende Veränderung des gemessenen Knochenanteils.

Erkennt man eine statistisch signifikante Veränderung des Anteils des roten Knochenmarks im Anteil des miterfassten Knochens am Röntgenbild durch den Vergleich der Mediane als von Gruppe 5y zu Gruppe 10y zunehmend, zeigt sich aber die statistisch signifikante Veränderung der Knochenlänge am Röntgenbild durch den Vergleich der Mediane als abnehmend, kann man diskutieren, dass das rote Knochenmark im selben Zeitraum eine geringere Regression erfährt als der durchschnittlich miterfasste Knochenanteil am Röntgenbild bezogen auf den Unterschied zwischen Altersgruppe 5y und 10y.

4.3 Empfehlungen

Die Arbeit hat gezeigt, dass der miterfasste Knochenteil auf den Röntgen der verschiedenen Leistungen variieren kann. Da im Alter zwischen 5 und 14 Jahren im betrachteten Bereich noch rotes Knochenmark vorkommt, sollte man versuchen, die Röntgenbilder so anzufertigen, dass möglichst nur der laut korrekter Einstelltechnik notwendige Teil abgebildet wird. Problematisch ist, dass sich die Umsetzung bei Kindern in der Praxis natürlich manchmal schwierig gestaltet, weil diese nicht immer optimal mitarbeiten. Es gilt, sich zu überlegen, ob in einigen Fällen eine Ultraschalluntersuchung beispielsweise zum Fraktur-ausschluss vorzuziehen und verstärkt zu etablieren wäre.

4.4 Limitationen

Manchmal wurde für eine Leistung die Röntgenuntersuchung nicht in den üblichen beiden Projektionen durchgeführt, es gab lediglich ein Röntgenbild in einer Ebene. In diesem Fall wurden die Messungen in einer Projektion durchgeführt.

Die Fallzahl der MRT-Untersuchungen, die für die Arbeit herangezogen wurden, ist aufgrund der strengen Ausschlusskriterien sehr klein. Der prozentuelle rote Knochenmarksanteil am Gesamtknochen in einer Altersgruppe wurde durch den arithmetischen Mittelwert aus einer Fallzahl von 5 ermittelt. Die Genauigkeit des Aussagewertes der Daten, bei denen der Knochenmarksanteil als Berechnungsgrundlage diente, ist vor diesem Hintergrund zu interpretieren.

Aufgrund der Fallzahl von 5 pro Altersgruppe, Leistung und Knochen konnten die Geschlechter nicht getrennt voneinander beurteilt werden und somit auch keine Aussage zum

Unterschied der Knochenmarksumwandlung zwischen Buben und Mädchen gemacht werden.

Bei der Messung des Anteils des roten Knochenmarks bei der Altersgruppe 10y wurde von Beginn der Epiphyse über die Metaphyse bis zu jenem Teil der Diaphyse gemessen, an dem sich der Übergang von rotem zu gelben Knochenmark befindet. Diese Methode wurde gewählt, um die Längenmessung des roten Knochenmarks mit der Längenmessung des am Röntgen miterfassten Knochenteils, der ebenfalls von Beginn der Epiphyse bis zur Diaphyse gemessen wurde, in Bezug setzen zu können. In der Epiphyse bildet sich jedoch das Knochenmark im Röhrenknochen als erstes zurück, daher müsste man diesen Teil am Anfang der Messung abziehen, um den Anteil des roten Knochenmarks zu präzisieren.

4.5 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass gezeigt werden konnte, dass in den Altersgruppen 5y und 10y im untersuchten Teil rotes Knochenmark vorkommt, welches bei Reduktion des miterfassten Knochens am Röntgenbild bei den meisten Knochen deutlich reduziert werden könnte. Das hätte den Vorteil, dass weniger rotes Knochenmark während Routineröntgen mit Röntgenstrahlung belastet werden könnte. Somit könnte das mit Röntgenstrahlen verbundene Risiko der teilungsaktiven Zellen verringert werden.

In Zukunft könnte einerseits eine Arbeit durchgeführt werden, in der die Altersgruppe 15y miteinbezogen wird, denn in jener wurden die drittmeisten Röntgen an Extremitäten bei Kindern durchgeführt, die bei Erwachsenen übliche Verteilung stellt sich jedoch erst ab dem 25. Lebensjahr ein. Ebenso könnten genauere Aussagen über die Konversion des Knochenmarks getätigt werden, wenn mehr MRT-Fälle zur Auswertung zur Verfügung stünden. Dabei könnte auch untersucht werden, ob geschlechtsspezifische Unterschiede bestehen. Weiters gilt es zu evaluieren, ob die für die Berechnung der effektiven Dosis zugrundeliegenden Werte an das altersabhängige Vorliegen des roten Knochenmarks angepasst werden sollten.

Literaturverzeichnis

Alzen, Gerhard / Gabriele Benz-Bohm (2011): Radiation Protection in Pediatric Radiology, in: *Deutsches Aerzteblatt Online*, S. 407–414, doi: 10.3238/arztebl.2011.0407.

Benz-Bohm, Gabriele / Ernst Richter (2012): *Chronik der Kinderradiologie: Deutschland, Niederlande, Österreich und Schweiz*, Berlin & Heidelberg, Deutschland: Springer Medizin Verlag.

Breitenseher, M / P Pokieser / G Lechner (Hrsg.) (2012): *Lehrbuch der radiologisch-klinischen Diagnostik*, 2. Aufl., Wien, Österreich: University Publisher 3.0 GmbH.

Chan, Brian Y. / Kara G. Gill / Susan L. Rebsamen / Jie C. Nguyen (2016): MR Imaging of Pediatric Bone Marrow, in: *RadioGraphics*, Jg. 36, Nr. 6, S. 1911–1930, doi: 10.1148/rg.2016160056.

European Commission. Directorate-General for Energy (2018): *European Guidelines on Diagnostic Reference Levels for Paediatric Imaging*, doi: 10.2833/486256.

Kauffmann, Günter / Rolf Sauer / Wolfgang Weber (2011): *Radiologie: Bildgebende Verfahren, Strahlentherapie, Nuklearmedizin und Strahlenschutz*, 4. Aufl., München, Deutschland: Elsevier GmbH, Urban & Fischer Verlag.

Kuhn, Jerald / Thomas Slovis / Jack Haller (2003): *Caffey's Pediatric Diagnostic Imaging (2 Vol. Set)*, 10. Aufl., Philadelphia, USA: Mosby.

Oppelt, Birgit (2010): *Pädiatrische Radiologie für MTRA/RT*, Stuttgart, Deutschland: Thieme Georg Verlag.

Reiser, Maximilian / Fritz-Peter Kuhn / Jürgen Debus (2017): *Duale Reihe Radiologie*, 4. Aufl., Stuttgart, Deutschland: Georg Thieme Verlag.

Sorantin, E. / B. Kirnbauer / G. Stücklschweiger (2016): Strahlenschutz in der Kieferorthopädie mit besonderer Berücksichtigung von Kindern, in: *Informationen aus Orthodontie & Kieferorthopädie*, Jg. 48, Nr. 02, S. 115–119, doi: 10.1055/s-0042-109696.

Spycher, Ben D. / Judith E. Lupatsch / Marcel Zwahlen / Martin Rösli / Felix Niggli / Michael A. Grotzer / Johannes Rischewski / Matthias Egger / Claudia E. Kuehni (2015): Background Ionizing Radiation and the Risk of Childhood Cancer: A Census-

Based Nationwide Cohort Study, in: *Environmental Health Perspectives*, Jg. 123, Nr. 6, S. 622–628, doi: 10.1289/ehp.1408548.

Anhang 1

Beispielbilder für die richtige Einstelltechnik (Kapitel 1.7) der Röntgenbilder:



Abbildung 55: Oberarm ap, 3-jähriges Mädchen (Oppelt, 2010: 65)

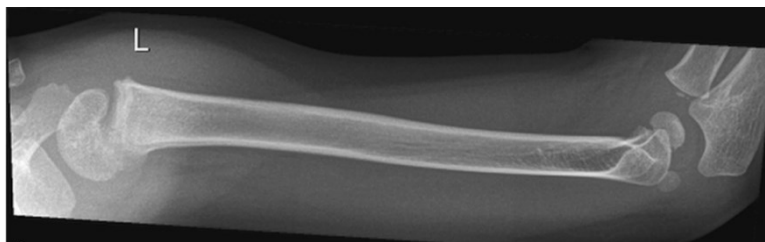


Abbildung 56: Oberarm seitlich in Elevation, 3-jähriges Mädchen (Oppelt, 2010: 66)



Abbildung 57: Ellbogen ap, 8-jähriger Junge (Oppelt, 2010: 67)



Abbildung 58: Ellbogen seitlich, Humeruskondylen decken sich nicht ganz; 11-jähriger Junge (Oppelt, 2010: 67)

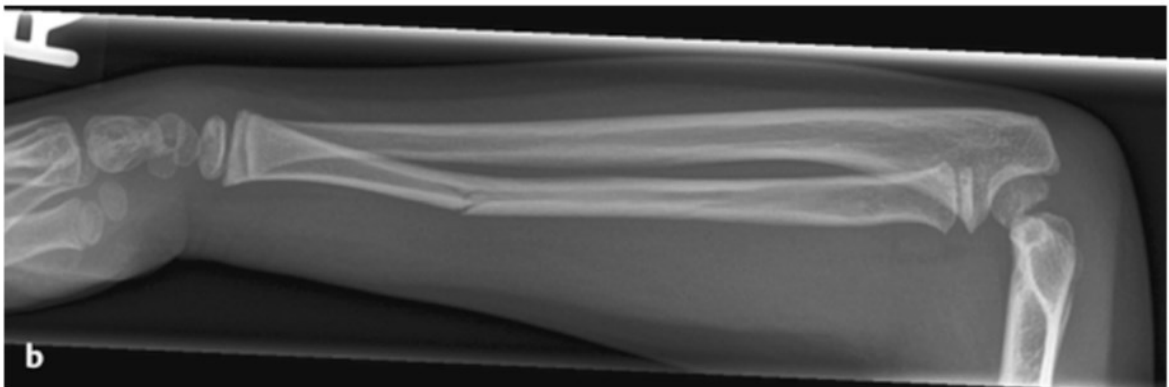
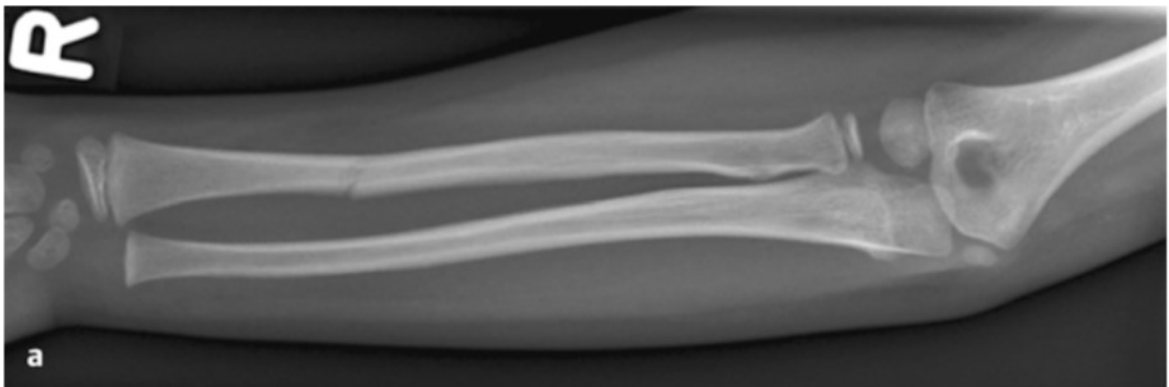


Abbildung 59: Unterarm in 2 Ebenen, a ap, b seitlich, Grünholzfraktur des Radius, 12-jähriger Junge (Oppelt, 2010: 70)



Abbildung 60: Oberschenkel in 2 Ebenen, a ap, b seitlich, Kallusbildung nach Oberschenkelfraktur, 6 Monate altes Mädchen (Oppelt, 2010: 72)

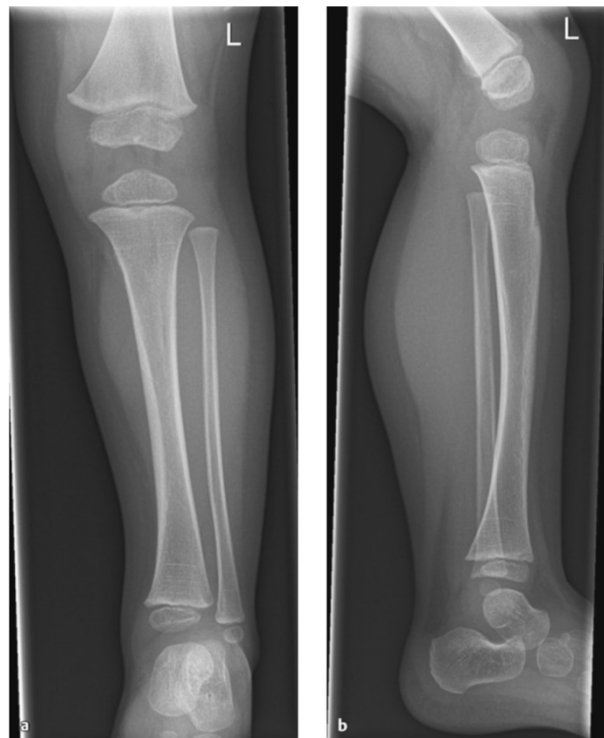


Abbildung 61: Unterschenkel in 2 Ebenen, a ap, b seitlich, 2-jähriger Junge (Oppelt: 2010: 76)



Abbildung 62: Sprunggelenk ap, 13-jähriges Mädchen (Oppelt, 2010: 77)

Anhang 2

Tabellen: Längenwachstum der Röhrenknochen der Extremitäten, 50. Perzentile

Tabelle 38: Knochenlänge obere Extremität, 50. Perzentile, Buben (vgl. Kuhn et al. 2003: 2043f)

Alter in Monaten	Knochenlänge in cm					
zwischen Epiphysenplatten	Humerus	Radius	Ulna	Femur	Tibia	Fibula
2	7,28	5,85	6,66	8,58	6,90	6,65
4	8,05	6,52	7,22	10,00	7,98	7,70
6	8,80	7,02	7,71	11,21	8,91	8,54
12	10,48	8,17	9,08	13,56	10,87	10,57
18	11,84	9,06	10,06	15,50	12,55	12,24
24	12,97	9,80	10,90	17,17	13,97	13,68
30	13,84	10,47	11,63	18,67	15,22	14,97
36	14,65	11,09	12,30	20,00	16,32	16,14
42	15,44	11,69	12,93	21,20	17,35	17,20
48	16,21	12,26	13,54	22,36	18,33	18,15
54	16,95	12,80	14,13	23,51	19,28	19,08
60	17,66	13,32	14,70	24,65	20,18	19,98
66	18,35	13,82	15,25	25,77	21,06	20,84
72	19,03	14,32	15,77	26,87	21,92	21,68
78	19,69	14,79	16,27	27,96	22,75	22,50
84	20,34	15,26	16,76	29,02	23,57	23,30
90	20,97	15,72	17,24	30,06	24,39	24,09
96	21,59	16,18	17,70	31,09	25,20	24,87
102	22,21	16,63	18,15	32,06	26,01	25,63
108	22,81	17,08	18,60	33,02	26,80	26,38
114	23,40	17,53	19,05	33,95	27,59	27,12
inklusive Epiphysen	Humerus	Radius	Ulna	Femur	Tibia	Fibula
120	25,87	19,28	20,27	38,52	32,10	31,05
126	26,40	19,71	20,78	39,44	32,92	31,68
132	26,98	20,14	21,31	40,39	33,80	32,44
138	27,60	20,60	21,86	41,37	34,72	33,27
144	28,26	21,11	22,43	42,40	35,70	34,16
150	28,98	21,66	23,05	43,44	36,73	35,10
156	29,75	22,26	23,71	44,50	37,80	36,10
162	30,58	22,96	24,43	45,60	39,00	37,25
168	31,48	23,74	25,18	46,77	39,95	38,25

174	32,42	24,45	25,94	47,96	40,80	39,15
180	33,20	25,13	26,64	49,00	42,50	39,94
186	33,87	25,62	27,18	49,83	42,10	40,54
192	34,42	25,97	27,57	50,21	42,50	40,95
198	34,79	26,20	27,87	50,40	42,75	41,22
204	35,02	26,32	28,05	50,45	42,90	41,37
210	35,16	26,38	28,14	50,48	42,98	41,46
216	35,28	26,42	28,20	50,50	43,03	41,50

Tabelle 39: Knochenlänge obere Extremität, 50. Perzentile, Mädchen (vgl. Kuhn et al. 2003: 2045f)

Alter in Monaten	Knochenlänge in cm					
zwischen Epiphysen- platten	Humerus	Radius	Ulna	Femur	Tibia	Fibula
2	7,12	5,72	6,50	8,72	7,00	6,65
4	8,00	6,28	7,05	10,00	8,03	7,67
6	8,74	6,74	7,58	11,15	8,87	8,52
12	10,38	7,85	8,82	13,36	10,77	10,52
18	11,70	8,74	9,84	15,26	12,37	12,17
24	12,80	9,50	10,66	16,89	13,75	13,54
30	13,75	10,18	11,39	18,37	15,00	14,78
36	14,58	10,80	12,07	19,74	16,10	15,93
42	15,38	11,39	12,71	21,01	17,14	17,02
48	16,15	11,95	13,32	22,24	18,15	18,03
54	16,89	12,48	13,90	23,44	19,12	18,96
60	17,60	12,99	14,45	24,63	20,06	19,85
66	18,29	13,48	14,98	25,79	20,96	20,73
72	18,95	13,97	15,50	26,94	21,83	21,60
78	19,60	14,45	16,01	28,07	22,70	22,46
84	20,25	14,92	16,51	29,16	23,56	23,32
90	20,89	15,39	17,01	30,22	24,41	24,18
96	21,51	15,86	17,50	31,25	25,25	25,04
102	22,13	16,33	17,99	32,25	26,09	25,88
108	22,75	16,80	18,47	33,22	26,93	26,70
114	23,38	17,26	18,94	34,14	27,77	27,48
inklusive Epiphysen	Humerus	Radius	Ulna	Femur	Tibia	Fibula
120	25,80	19,03	20,50	39,03	32,55	31,55
126	26,73	19,65	21,28	40,02	33,64	32,28
132	27,60	20,28	22,00	41,02	34,64	33,04
138	28,38	20,90	22,65	42,08	35,52	33,90
144	29,09	21,50	23,24	43,30	36,30	34,75

150	29,72	22,07	23,75	44,37	37,00	35,55
156	30,30	22,55	24,18	45,27	37,66	36,28
162	30,82	22,98	24,57	46,03	38,28	36,87
168	31,30	23,34	24,89	46,65	38,78	37,33
174	31,70	23,62	25,16	47,05	39,17	37,70
180	32,00	23,82	25,37	47,22	39,36	37,94
186	32,15	23,92	25,51	47,28	39,45	38,06
192	32,20	23,98	25,60	47,28	39,50	38,10

Anhang 3

Datenbearbeitung in Matlab am Beispiel OA, Radius:

```
% Daten des gemessenen Radiusanteils im Oberarmröntgen

OARadiusGirls=[];
for i=1:size(OARadius)
% Mädchen aus Gesamtheit herausfiltern.
    if OARadius.gender(i) == "w"
        for j=1:size(RadiusGirls)
% Alter in Monaten an die Gesamtlängen-Tabelle (6-Monats-Schritte)
% angleichen, um die entsprechende Länge auswählen zu können.
            if OARadius.age(i) == RadiusGirls(j,1)||
                OARadius.age(i) == RadiusGirls(j,1)+1 ||
                OARadius.age(i)==RadiusGirls(j,1)+2 ||
                OARadius.age(i)==RadiusGirls(j,1)+3 ||
                OARadius.age(i)==RadiusGirls(j,1)-1 ||
                OARadius.age(i)==RadiusGirls(j,1)-2
% Tabelle erstellen:
% Untersuchungsalter in Monaten
                OARadiusGirls(i,1)=OARadius.age(i);
% durchschnittlich miterfasster Radius in seitlicher Projektion
                OARadiusGirls(i,2)=OARadius.average_S(i);
% durchschnittlich miterfasster Radius in ap-Projektion
                OARadiusGirls(i,4)=OARadius.average_AP(i);
% verwendete Gesamtlänge, in Millimeter umgerechnet
                OARadiusGirls(i,6)=RadiusGirls(j,2)*10;
% Berechnung des prozentuellen Anteils für seitliche und ap-Projektion
                OARadiusGirls(i,3)=OARadiusGirls(i,2)/OARadiusGirls(i,6);
                OARadiusGirls(i,5)=OARadiusGirls(i,4)/OARadiusGirls(i,6);
            end
        end
    end
end
OARadiusGirls( ~any(OARadiusGirls,2), : ) = [];

% Buben aus Gesamtheit herausfiltern
% Erstellung der Tabelle analog zu Mädchen
OARadiusBoys=[];
for i=1:size(OARadius)
    if OARadius.gender(i) == "m"
        for j=1:size(RadiusBoys)
            if OARadius.age(i) == RadiusBoys(j,1)||
                OARadius.age(i) == RadiusBoys(j,1)+1 ||
                OARadius.age(i)==RadiusBoys(j,1)+2 ||
                OARadius.age(i)==RadiusBoys(j,1)+3 ||
                OARadius.age(i)==RadiusBoys(j,1)-1 ||
                OARadius.age(i)==RadiusBoys(j,1)-2
                OARadiusBoys(i,1)=OARadius.age(i);
                OARadiusBoys(i,2)=OARadius.average_S(i);
                OARadiusBoys(i,4)=OARadius.average_AP(i);
                OARadiusBoys(i,6)=RadiusBoys(j,2)*10;
                OARadiusBoys(i,3)=OARadiusBoys(i,2)/OARadiusBoys(i,6);
```

```

        OARadiusBoys(i,5)=OARadiusBoys(i,4)/OARadiusBoys(i,6);
    end
end
end
end
OARadiusBoys( ~any(OARadiusBoys,2), : ) = [];

% Fälle den einzelnen Altersgruppen zuordnen, Mädchen
% Altersgruppe 0y, unter 1 Monat
OARadiusAgeGroupGirls0=[];
% Altersgruppe 1y, 1 Monat bis unter 4 Jahre
OARadiusAgeGroupGirls1=[];
% Altersgruppe 5y, 4 Jahre bis unter 10 Jahre
OARadiusAgeGroupGirls5=[];
% Altersgruppe 10y, 10 Jahre bis unter 15 Jahre
OARadiusAgeGroupGirls10=[];
% Altersgruppe 15y, 15 Jahre bis unter 18 Jahre
OARadiusAgeGroupGirls15=[];
j1=0;
j2=0;
j3=0;
j4=0;
j5=0;

for i=1:size(OARadiusGirls)
    if OARadiusGirls(i,1) < 1
        j1=j1+1;
        OARadiusAgeGroupGirls0(j1,1)=OARadiusGirls(i,3);
        OARadiusAgeGroupGirls0(j1,2)=OARadiusGirls(i,5);
    elseif OARadiusGirls(i,1) >= 1 && OARadiusGirls(i,1) < 48
        j2=j2+1;
        OARadiusAgeGroupGirls1(j2,1)=OARadiusGirls(i,3);
        OARadiusAgeGroupGirls1(j2,2)=OARadiusGirls(i,5);
    elseif OARadiusGirls(i,1) >= 48 && OARadiusGirls(i,1) < 120
        j3=j3+1;
        OARadiusAgeGroupGirls5(j3,1)=OARadiusGirls(i,3);
        OARadiusAgeGroupGirls5(j3,2)=OARadiusGirls(i,5);
    elseif OARadiusGirls(i,1) >= 120 && OARadiusGirls(i,1) < 168
        j4=j4+1;
        OARadiusAgeGroupGirls10(j4,1)=OARadiusGirls(i,3);
        OARadiusAgeGroupGirls10(j4,2)=OARadiusGirls(i,5);
    elseif OARadiusGirls(i,1) >= 168 && OARadiusGirls(i,1) < 216
        j5=j5+1;
        OARadiusAgeGroupGirls15(j5,1)=OARadiusGirls(i,3);
        OARadiusAgeGroupGirls15(j5,2)=OARadiusGirls(i,5);
    end
end

% Fälle den einzelnen Altersgruppen zuordnen, Buben

OARadiusAgeGroupBoys0=[];
OARadiusAgeGroupBoys1=[];
OARadiusAgeGroupBoys5=[];
OARadiusAgeGroupBoys10=[];
OARadiusAgeGroupBoys15=[];
j1=0;
j2=0;
j3=0;
j4=0;

```

```

j5=0;

for i=1:size(OARadiusBoys)
    if OARadiusBoys(i,1) < 1
        j1=j1+1;
        OARadiusAgeGroupBoys0(j1,1)=OARadiusBoys(i,3);
        OARadiusAgeGroupBoys0(j1,2)=OARadiusBoys(i,5);
    elseif OARadiusBoys(i,1) >= 1 && OARadiusBoys(i,1) < 48
        j2=j2+1;
        OARadiusAgeGroupBoys1(j2,1)=OARadiusBoys(i,3);
        OARadiusAgeGroupBoys1(j2,2)=OARadiusBoys(i,5);
    elseif OARadiusBoys(i,1) >= 48 && OARadiusBoys(i,1) < 120
        j3=j3+1;
        OARadiusAgeGroupBoys5(j3,1)=OARadiusBoys(i,3);
        OARadiusAgeGroupBoys5(j3,2)=OARadiusBoys(i,5);
    elseif OARadiusBoys(i,1) >= 120 && OARadiusBoys(i,1) < 168
        j4=j4+1;
        OARadiusAgeGroupBoys10(j4,1)=OARadiusBoys(i,3);
        OARadiusAgeGroupBoys10(j4,2)=OARadiusBoys(i,5);
    elseif OARadiusBoys(i,1) >= 168 && OARadiusBoys(i,1) < 216
        j5=j5+1;
        OARadiusAgeGroupBoys15(j5,1)=OARadiusBoys(i,3);
        OARadiusAgeGroupBoys15(j5,2)=OARadiusBoys(i,5);
    end
end

% Gesamtheit in Altersgruppen aufgeteilt

OARadiusAgeGroup0 = vertcat(OARadiusAgeGroupBoys0, OARadiusAgeGroupGirls0);
OARadiusAgeGroup1 = vertcat(OARadiusAgeGroupBoys1, OARadiusAgeGroupGirls1);
OARadiusAgeGroup5 = vertcat(OARadiusAgeGroupBoys5, OARadiusAgeGroupGirls5);
OARadiusAgeGroup10 = vertcat(OARadiusAgeGroupBoys10, OARadiusAgeGroupGirls10);
OARadiusAgeGroup15 = vertcat(OARadiusAgeGroupBoys15, OARadiusAgeGroupGirls15);

% Berechnung der arithmetischen Mittelwerte pro Altersgruppe und
% Projektion und Erstellung der Tabellen in Kapitel 3.1
TableOARad= table();
TableOARad.age(1)=0;
TableOARad.age(2)=1;
TableOARad.age(3)=5;
TableOARad.age(4)=10;
TableOARad.age(5)=15;
% Berechnung der Gesamtzahl an Fällen
TableOARad.FallZahlGesamt(1)=length(OARadiusAgeGroupBoys0)
+length(OARadiusAgeGroupGirls0);
TableOARad.FallZahlGesamt(2)=length(OARadiusAgeGroupBoys1)
+length(OARadiusAgeGroupGirls1);
TableOARad.FallZahlGesamt(3)=length(OARadiusAgeGroupBoys5)
+length(OARadiusAgeGroupGirls5);
TableOARad.FallZahlGesamt(4)=length(OARadiusAgeGroupBoys10)
+length(OARadiusAgeGroupGirls10);
TableOARad.FallZahlGesamt(5)=length(OARadiusAgeGroupBoys15)
+length(OARadiusAgeGroupGirls15);
% Durchschnitt des miterfassten Radius in seitlicher Projektion in Prozent
TableOARad.DurschnittSeitlichinProzent(1)=nanmean(OARadiusAgeGroup0(:,1))*100;
TableOARad.DurschnittSeitlichinProzent(2)=nanmean(OARadiusAgeGroup1(:,1))*100;
TableOARad.DurschnittSeitlichinProzent(3)=nanmean(OARadiusAgeGroup5(:,1))*100;
TableOARad.DurschnittSeitlichinProzent(4)=nanmean(OARadiusAgeGroup10(:,1))*100;
TableOARad.DurschnittSeitlichinProzent(5)=nanmean(OARadiusAgeGroup15(:,1))*100;

```

```

% Standardabweichung des miterfassten Radius in seitlicher Projektion
TableOARad.StandardabweichungSeitlich (1)=nanstd(OARadiusAgeGroup0(:,1))*100;
TableOARad.StandardabweichungSeitlich (2)=nanstd(OARadiusAgeGroup1(:,1))*100;
TableOARad.StandardabweichungSeitlich (3)=nanstd(OARadiusAgeGroup5(:,1))*100;
TableOARad.StandardabweichungSeitlich (4)=nanstd(OARadiusAgeGroup10(:,1))*100;
TableOARad.StandardabweichungSeitlich (5)=nanstd(OARadiusAgeGroup15(:,1))*100;
% Durchschnitt des miterfassten Radius in anterior-posteriorer Projektion in Prozent
TableOARad.DurschnittAPinProzent(1)=nanmean(OARadiusAgeGroup0(:,2))*100;
TableOARad.DurschnittAPinProzent(2)=nanmean(OARadiusAgeGroup1(:,2))*100;
TableOARad.DurschnittAPinProzent(3)=nanmean(OARadiusAgeGroup5(:,2))*100;
TableOARad.DurschnittAPinProzent(4)=nanmean(OARadiusAgeGroup10(:,2))*100;
TableOARad.DurschnittAPinProzent(5)=nanmean(OARadiusAgeGroup15(:,2))*100;
% Standardabweichung des miterfassten Radius in anterior-posteriorer Projektion
TableOARad.StandardabweichungAP (1)=nanstd(OARadiusAgeGroup0(:,2))*100;
TableOARad.StandardabweichungAP (2)=nanstd(OARadiusAgeGroup1(:,2))*100;
TableOARad.StandardabweichungAP (3)=nanstd(OARadiusAgeGroup5(:,2))*100;
TableOARad.StandardabweichungAP (4)=nanstd(OARadiusAgeGroup10(:,2))*100;
TableOARad.StandardabweichungAP (5)=nanstd(OARadiusAgeGroup15(:,2))*100;

% Tabellen, Mädchen, Anhang
TableOARad.FallZahlGirls(1)=length(OARadiusAgeGroupGirls0);
TableOARad.FallZahlGirls(2)=length(OARadiusAgeGroupGirls1);
TableOARad.FallZahlGirls(3)=length(OARadiusAgeGroupGirls5);
TableOARad.FallZahlGirls(4)=length(OARadiusAgeGroupGirls10);
TableOARad.FallZahlGirls(5)=length(OARadiusAgeGroupGirls15);
TableOARad.DurschnittSeitlichinProzentweiblich(1)=nanmean(OARadiusAgeGroupGirls0(:,1))*100;
TableOARad.DurschnittSeitlichinProzentweiblich(2)=nanmean(OARadiusAgeGroupGirls1(:,1))*100;
TableOARad.DurschnittSeitlichinProzentweiblich(3)=nanmean(OARadiusAgeGroupGirls5(:,1))*100;
TableOARad.DurschnittSeitlichinProzentweiblich(4)=nanmean(OARadiusAgeGroupGirls10(:,1))*100;
TableOARad.DurschnittSeitlichinProzentweiblich(5)=nanmean(OARadiusAgeGroupGirls15(:,1))*100;
TableOARad.StandardabweichungSeitlichw (1)=nanstd(OARadiusAgeGroupGirls0(:,1))*100;
TableOARad.StandardabweichungSeitlichw (2)=nanstd(OARadiusAgeGroupGirls1(:,1))*100;
TableOARad.StandardabweichungSeitlichw (3)=nanstd(OARadiusAgeGroupGirls5(:,1))*100;
TableOARad.StandardabweichungSeitlichw (4)=nanstd(OARadiusAgeGroupGirls10(:,1))*100;
TableOARad.StandardabweichungSeitlichw (5)=nanstd(OARadiusAgeGroupGirls15(:,1))*100;
TableOARad.DurschnittAPinProzentweiblich(1)=nanmean(OARadiusAgeGroupGirls0(:,2))*100;
TableOARad.DurschnittAPinProzentweiblich(2)=nanmean(OARadiusAgeGroupGirls1(:,2))*100;
TableOARad.DurschnittAPinProzentweiblich(3)=nanmean(OARadiusAgeGroupGirls5(:,2))*100;
TableOARad.DurschnittAPinProzentweiblich(4)=nanmean(OARadiusAgeGroupGirls10(:,2))*100;
TableOARad.DurschnittAPinProzentweiblich(5)=nanmean(OARadiusAgeGroupGirls15(:,2))*100;
TableOARad.StandardabweichungAPw (1)=nanstd(OARadiusAgeGroupGirls0(:,2))*100;
TableOARad.StandardabweichungAPw (2)=nanstd(OARadiusAgeGroupGirls1(:,2))*100;
TableOARad.StandardabweichungAPw (3)=nanstd(OARadiusAgeGroupGirls5(:,2))*100;
TableOARad.StandardabweichungAPw (4)=nanstd(OARadiusAgeGroupGirls10(:,2))*100;
TableOARad.StandardabweichungAPw (5)=nanstd(OARadiusAgeGroupGirls15(:,2))*100;

% Tabellen, Buben, Anhang
TableOARad.FallZahlBoys(1)=length(OARadiusAgeGroupBoys0);
TableOARad.FallZahlBoys(2)=length(OARadiusAgeGroupBoys1);
TableOARad.FallZahlBoys(3)=length(OARadiusAgeGroupBoys5);
TableOARad.FallZahlBoys(4)=length(OARadiusAgeGroupBoys10);
TableOARad.FallZahlBoys(5)=length(OARadiusAgeGroupBoys15);
TableOARad.DurschnittSeitlichinProzentmaennlich(1)=0;
TableOARad.DurschnittSeitlichinProzentmaennlich(2)=nanmean(OARadiusAgeGroupBoys1(:,1))*100;

```

```

00;
TableOARad.DurschnittSeitlichinProzentmaennlich(3)=nanmean(OARadiusAgeGroupBoys5(:,1))*1
00;
TableOARad.DurschnittSeitlichinProzentmaennlich(4)=nanmean(OARadiusAgeGroupBoys10(:,1))*
100;
TableOARad.DurschnittSeitlichinProzentmaennlich(5)=nanmean(OARadiusAgeGroupBoys15(:,1))*
100;
TableOARad.StandardabweichungSeitlichm (1)=0;
TableOARad.StandardabweichungSeitlichm (2)=nanstd(OARadiusAgeGroupBoys1(:,1))*100;
TableOARad.StandardabweichungSeitlichm (3)=nanstd(OARadiusAgeGroupBoys5(:,1))*100;
TableOARad.StandardabweichungSeitlichm (4)=nanstd(OARadiusAgeGroupBoys10(:,1))*100;
TableOARad.StandardabweichungSeitlichm (5)=nanstd(OARadiusAgeGroupBoys15(:,1))*100;
TableOARad.DurschnittAPinProzentmaennlich(1)=0;
TableOARad.DurschnittAPinProzentmaennlich(2)=nanmean(OARadiusAgeGroupBoys1(:,2))*100;
TableOARad.DurschnittAPinProzentmaennlich(3)=nanmean(OARadiusAgeGroupBoys5(:,2))*100;
TableOARad.DurschnittAPinProzentmaennlich(4)=nanmean(OARadiusAgeGroupBoys10(:,2))*100;
TableOARad.DurschnittAPinProzentmaennlich(5)=nanmean(OARadiusAgeGroupBoys15(:,2))*100;
TableOARad.StandardabweichungAPm (1)=0;
TableOARad.StandardabweichungAPm (2)=nanstd(OARadiusAgeGroupBoys1(:,2))*100;
TableOARad.StandardabweichungAPm (3)=nanstd(OARadiusAgeGroupBoys5(:,2))*100;
TableOARad.StandardabweichungAPm (4)=nanstd(OARadiusAgeGroupBoys10(:,2))*100;
TableOARad.StandardabweichungAPm (5)=nanstd(OARadiusAgeGroupBoys15(:,2))*100;

% Erstellung der Boxplots
% Boxplot seitliche Projektion
figure(1);
% Definition der x-Werte
x1 =(OARadiusAgeGroup0(:,1)*100);
x2 = (OARadiusAgeGroup1(:,1)*100);
x3 = (OARadiusAgeGroup5(:,1)*100);
x4 = (OARadiusAgeGroup10(:,1)*100);
x5 = (OARadiusAgeGroup15(:,1)*100);
x = [x1;x2;x3;x4;x5];
% Aufteilung in 5 Boxplots
g = [ones(size(x1)); 2*ones(size(x2)); 3*ones(size(x3)); 4*ones(size(x4));
5*ones(size(x5))];
boxplot(x,g, 'symbol', 'xk')
hold on
% Darstellung arithmetischer Mittelwert
plot(1, nanmean(x1), 'dr', 2, nanmean(x2), 'dr', 3, nanmean(x3), 'dr', 4, nanmean(x4),
'dr', 5, nanmean(x5), 'dr')
% Darstellung Median
lines = findobj(gcf, 'type', 'line', 'Tag', 'Median');
set(lines, 'Color', 'k');
% Beschriftung des Diagramms
title('Leistung: Oberarm - Radius, seitlich')
xlabel('Altersgruppen')
ylabel('Anteil Radiuslänge (%)')
xticklabels({'0y', '1y', '5y', '10y', '15y'})
hold off

% Boxplot für ap-Projektion, analog zur seitlichen Projektion
figure(2);
x1 =(OARadiusAgeGroup0(:,2)*100);
x2 = (OARadiusAgeGroup1(:,2)*100);
x3 = (OARadiusAgeGroup5(:,2)*100);
x4 = (OARadiusAgeGroup10(:,2)*100);
x5 = (OARadiusAgeGroup15(:,2)*100);

```

```

x = [x1;x2;x3;x4;x5];
g = [ones(size(x1)); 2*ones(size(x2)); 3*ones(size(x3)); 4*ones(size(x4));
5*ones(size(x5))];
boxplot(x,g, 'symbol', 'xk')
hold on
plot(1, nanmean(x1), 'dr', 2, nanmean(x2), 'dr', 3, nanmean(x3), 'dr', 4, nanmean(x4),
'dr', 5, nanmean(x5), 'dr')
lines = findobj(gcf, 'type', 'line', 'Tag', 'Median');
set(lines, 'Color', 'k');
title('Leistung: Oberarm - Radius, ap')
xlabel('Altersgruppen')
ylabel('Anteil Radiuslänge (%)')
xticklabels({'0y', '1y', '5y', '10y', '15y'})
hold off

```

[Published with MATLAB® R2019a](#)

Anhang 4

Tabellen der Röntgenmessungen (3.1), geschlechtsspezifische Verteilung:

Tabelle 40: OA, Radiusmessungen, Mädchen

Mädchen					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	5	35.61	11.47	33.42	24.85
1y	9	35.85	13.10	20.99	14.84
5y	22	30.33	9.95	20.07	14.44
10y	33	22.26	7.13	17.28	8.94
15y	12	23.42	9.76	16.34	6.94

Tabelle 41: OA, Radiusmessungen, Buben

Buben					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	7	31.12	10.93	20.96	15.75
5y	18	31.36	12.88	16.13	8.06
10y	47	24.10	8.26	17.56	11.49
15y	29	26.08	9.99	13.96	8.59

Tabelle 42: OA, Ulnamessungen, Mädchen

Mädchen					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	5	36.44	10.12	31.48	7.57
1y	9	46.91	11.05	30.69	12.58
5y	22	36.37	9.81	24.24	14.64
10y	33	32.20	7.44	24.19	7.89
15y	12	30.89	7.58	24.87	8.42

Tabelle 43: OA, Ulnamessungen, Buben

Buben					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	7	40.33	8.75	28.99	13.77
5y	18	38.59	10.37	22.80	10.04
10y	47	32.10	7.86	24.40	12.52
15y	29	33.88	13.01	21.71	9.49

Tabelle 44: EL, Humerusmessungen, Mädchen

Mädchen					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	18	48.42	8.62	43.11	7.85
5y	28	41.37	6.09	42.04	10.27
10y	23	33.68	7.01	31.65	6.26
15y	8	30.75	8.31	29.81	4.63

Tabelle 45: EL, Humerusmessungen, Buben

Buben					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	28	48.62	8.72	42.93	8.38
5y	25	42.64	8.18	44.79	8.56
10y	27	35.88	7.25	35.14	6.08
15y	37	34.22	6.15	32.76	6.94

Tabelle 46: EL, Radiusmessungen, Mädchen

Mädchen					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	18	46.14	11.85	43.69	14.37
5y	28	38.56	9.97	35.40	9.94
10y	23	34.55	11.34	35.10	15.32
15y	8	29.12	8.78	29.47	8.20

Tabelle 47: EL, Radiusmessungen, Buben

Buben					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	28	43.10	14.40	44.30	16.75
5y	25	40.88	15.42	36.95	16.36
10y	27	32.75	8.12	27.35	10.05
15y	37	31.13	6.14	30.62	8.56

Tabelle 48: EL, Ulnamessungen, Mädchen

Mädchen					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	18	53.37	10.22	48.41	16.90
5y	28	45.66	10.09	38.86	9.32
10y	23	44.30	10.16	41.47	16.20
15y	8	39.00	6.92	39.99	9.03

Tabelle 49: EL, Ulnamessungen, Buben

Buben					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	28	52.27	13.14	49.24	16.60
5y	25	46.78	13.31	39.44	16.28
10y	27	39.25	8.05	31.86	10.07
15y	37	39.86	7.57	37.44	9.13

Tabelle 50: UA, Humerusmessungen, Mädchen

Mädchen					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	30	24.02	10.05	23.89	13.03
5y	19	19.98	6.68	21.18	10.48
10y	24	16.81	5.51	13.82	10.85
15y	10	18.66	8.00	16.46	7.75

Tabelle 51: UA, Humerusmessungen, Buben

Buben					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	20	23.27	9.88	21.50	11.10
5y	31	20.79	7.77	17.81	12.50
10y	26	18.85	3.99	17.17	6.16
15y	37	16.86	7.29	16.50	7.68

Tabelle 52: HG, Radiusmessungen, Mädchen

Mädchen					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	25	55.99	16.66	51.72	16.01
5y	25	50.34	11.48	48.19	12.08
10y	16	40.55	8.74	39.51	7.72
15y	5	37.20	8.09	33.30	7.25

Tabelle 53: HG, Radiusmessungen, Buben

Buben					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	25	65.53	12.45	61.36	15.86
5y	25	52.30	15.47	48.64	12.83
10y	34	46.32	14.33	43.44	12.66
15y	41	40.33	10.32	40.15	10.33

Tabelle 54: HG, Ulnamessungen, Mädchen

Mädchen					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	25	47.39	14.80	44.54	13.95
5y	25	47.40	30.52	40.89	10.78
10y	16	34.71	8.13	34.09	7.09
15y	5	30.87	7.48	28.77	7.81

Tabelle 55: HG, Ulnamessungen, Buben

Buben					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	25	56.90	10.90	52.95	14.39
5y	25	44.01	14.82	40.32	12.02
10y	34	40.14	13.60	38.37	12.18
15y	41	34.40	9.48	35.14	9.52

Tabelle 56: OS, Tibiamessungen, Mädchen

Mädchen					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	18	35.96	10.27	25.62	9.41
5y	21	13.75	7.20	9.40	6.76
10y	10	7.85	6.37	6.75	9.33
15y	9	1.67	2.69	4.75	8.38

Tabelle 57: OS, Tibiamessungen, Buben

Buben					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	35	25.32	9.69	20.28	8.82
5y	25	20.57	11.24	12.06	8.07
10y	39	12.09	12.63	11.69	11.01
15y	38	8.67	12.87	7.90	9.64

Tabelle 58: OS, Fibulamessungen, Mädchen

Mädchen					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	18	29.27	13.70	13.24	8.86
5y	21	10.44	7.48	4.60	5.00
10y	10	5.24	6.89	3.33	7.08
15y	9	0.79	1.93	2.90	7.11

Tabelle 59: OS, Fibulamessungen, Buben

Buben					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	35	16.11	9.32	10.32	7.06
5y	25	16.78	9.04	6.15	6.57
10y	39	9.40	12.48	6.83	10.02
15y	38	6.14	10.92	5.11	8.37

Tabelle 60: KN, Femurmessungen, Mädchen

Mädchen					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	13	44.14	12.10	55.13	47.06
5y	18	37.10	7.14	31.84	6.48
10y	16	31.24	4.50	27.47	3.38
15y	10	28.47	1.82	26.85	4.07

Tabelle 61: KN, Femurmessungen, Buben

Buben					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	23	42.51	12.86	40.21	11.79
5y	32	35.48	5.10	32.48	5.39
10y	34	31.51	6.67	29.32	7.57
15y	33	30.77	6.26	28.53	8.66

Tabelle 62: KN, Tibiamessungen, Mädchen

Mädchen					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	13	49.55	10.02	47.93	11.13
5y	18	36.06	8.23	34.73	8.86
10y	16	27.00	5.00	28.47	4.46
15y	10	27.97	5.86	25.31	5.22

Tabelle 63: KN, Tibiamessungen, Buben

Buben					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	23	43.99	6.29	44.24	5.04
5y	32	38.38	6.73	37.62	5.53
10y	34	29.61	6.86	30.62	6.27
15y	33	25.59	5.56	24.64	6.87

Tabelle 64: KN, Fibulamessungen, Mädchen

Mädchen					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	13	37.92	8.62	36.00	10.54
5y	18	27.87	7.67	27.28	8.61
10y	16	21.69	5.43	23.96	4.44
15y	10	19.22	8.74	15.89	8.29

Tabelle 65: KN, Fibulamessungen, Buben

Buben					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	23	32.42	6.20	32.90	5.10
5y	32	29.79	7.31	28.79	5.71
10y	34	23.28	7.11	25.00	6.20
15y	33	20.92	5.41	20.29	6.69

Tabelle 66: US, Femurmessungen, Mädchen

Mädchen					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	23	30.54	13.12	28.89	8.83
5y	14	23.63	7.11	24.45	7.23
10y	22	13.93	6.33	13.49	6.03
15y	5	16.96	6.53	17.34	2.80

Tabelle 67: US, Femurmessungen, Buben

Buben					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	27	26.34	12.65	24.36	12.96
5y	36	21.71	8.54	19.92	9.77
10y	28	11.71	4.94	13.53	5.27
15y	37	8.85	7.79	8.45	6.01

Tabelle 68: SG, Tibiamessungen, Mädchen

Mädchen					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	23	50.36	17.39	53.23	16.75
5y	27	34.97	12.44	35.85	10.17
10y	23	24.10	6.35	25.94	5.81
15y	14	23.18	5.95	25.17	7.29

Tabelle 69: SG, Tibiamessungen, Buben

Buben					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	2	57.89	0.00	54.96	0.00
1y	24	60.39	18.38	61.52	18.26
5y	23	35.32	10.77	39.52	11.09
10y	27	27.54	9.70	29.21	10.75
15y	30	25.37	5.82	27.11	7.36

Tabelle 70: SG, Fibulamessungen, Mädchen

Mädchen					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1y	23	55.70	17.12	59.76	15.67
5y	27	41.58	12.22	43.54	10.04
10y	23	29.83	6.88	32.80	6.02
15y	14	28.09	6.37	31.13	7.37

Tabelle 71: SG, Fibulamessungen, Buben

Buben					
Altersgruppe	Fallzahl	Anteil seitlich, %		Anteil ap, %	
		Ø	σ	Ø	σ
0y	2	61.62	0.00	56.62	0.00
1y	24	65.11	18.02	66.98	17.81
5y	23	42.75	10.53	47.69	11.50
10y	27	33.71	10.05	36.41	11.15
15y	30	30.79	5.86	33.66	7.64