

DOSISERFASSUNG IN DER ZAHNÄRZTLICHEN RADIOLOGIE  
BEI ÜBERSICHTSAUFNAHMEN (OPG, FRS, DVT) VON  
KINDERN UND JUGENDLICHEN

Dissertation

zur Erlangung eines akademischen Grades  
doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

**vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät  
der Friedrich-Schiller-Universität Jena**

von Rebecca Scherbaum

geboren am 24.02.1997 in Sömmerda

Gutachter (akademischer Grad, Vor- und Nachname sowie Wirkungsort)

1. Prof. Dr. Hans-Joachim Mentzel, Jena

2. PD Dr. Ina Manuela Schüler, Jena

3. Prof. Dr. Felix Krause, Aachen

Tag der öffentlichen Verteidigung: 02.10.2023

## Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| Abkürzungsverzeichnis.....   | 5         |
| <b>1. Zusammenfassung.....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>2. Einleitung.....</b>  | <b>9</b>  |
| 2.1 Grundlagen der Röntgenverfahren in der Zahnmedizin.....                    | 9         |
| 2.1.1. Was ist Strahlung?.....   | 9         |
| 2.1.2 Bedeutung der ionisierenden Strahlung für Kinder im Unterschied zu ..... |           |
| Erwachsenen.....   | 9         |
| 2.1.3 Darstellung der Röntgenverfahren (PSA, FRS, DVT).....                    | 10        |
| 2.2 Historie der zahnmedizinischen Röntgengeräte am UKJ.....                   | 11        |
| 2.3 Strahlenschutz.....  | 12        |
| 2.3.1 Leitlinien zu Röntgenaufnahmen in der Kinder- und .....                  |           |
| Jugendzahnheilkunde.....   | 13        |
| <b>3. Ziele der Arbeit.....</b>  | <b>15</b> |
| <b>4. Material und Methodik.....</b>   | <b>17</b> |
| 4.1 Datensatz.....   | 17        |
| 4.2 Bereinigung der Daten.....   | 17        |
| 4.3 Vervollständigung der Daten.....   | 17        |
| 4.4 Statistische Auswertung.....   | 21        |
| <b>5. Ergebnisse.....</b>  | <b>23</b> |
| 5.1 Dosiswerte.....  | 23        |
| 5.2 Häufigkeitsverteilung der Röntgenaufnahmen über die Jahre 2002 – 2020 ..   | 24        |
| 5.2.1 Häufigkeiten der verschiedenen Modalitäten.....                          | 24        |
| 5.2.2 Geschlechterverteilung.....  | 27        |
| 5.2.2.1 Verteilung über die Jahre von 2002 – 2020.....                         | 27        |
| 5.2.2.2 Vergleich der absoluten und relativen Häufigkeit.....                  | 29        |
| 5.3 Häufigkeitsverteilung der Indikationsstellungen im Zeitraum .....          |           |
| von 2011 – 2020.....   | 31        |
| 5.3.1 Absolute und relative Häufigkeit der verschiedenen Indikationen.....     | 31        |
| 5.3.2 Verteilung der Indikationen über die Jahre 2011 – 2020.....              | 32        |
| 5.3.3 Verteilung der Indikationen über das Lebensalter von 0 – 18.....         | 34        |
| 5.3.4 Modalitätenbezogene Indikationsverteilung.....                           | 34        |
| 5.3.5 Geschlechterspezifische Indikationsverteilung.....                       | 36        |

|  |           |
|--|-----------|
| 5.4 Berechnung des mittleren Patientenalters .....                             | 38        |
| 5.4.1 Mittleres Patientenalter je Modalität und Geschlecht (2002 – 2020).....  | 38        |
| 5.4.2 Mittleres Patientenalter je Indikation und Geschlecht (2011 – 2020)..... | 40        |
| <b>6. Diskussion .....</b>   | <b>42</b> |
| 6.1 Qualität der ausgewerteten Daten .....                                     | 42        |
| 6.1.1 Dosiswerte .....   | 42        |
| 6.1.2 Modalitäten und Indikationen .....                                       | 49        |
| 6.2 Klinischer Ausblick .....  | 52        |
| <b>7. Schlussfolgerung .....</b>   | <b>53</b> |
| <b>8. Literatur- und Quellenverzeichnis.....</b>                               | <b>55</b> |
| <b>9. Anhang .....</b>   | <b>61</b> |
| 9.1 Abbildungsverzeichnis .....  | 61        |
| 9.2 Tabellenverzeichnis .....  | 61        |
| 9.3 Danksagung.....  | 63        |
| 9.4 Ehrenwörtliche Erklärung.....  | 64        |

## Abkürzungsverzeichnis

|                |  |
|----------------|--|
| AD             | Apikale Diagnostik   |
| ALADA          | As Low As Diagnostically Acceptable  |
| ALADAIP        | As Low As Diagnostically Achievable being Indication-oriented and Patient-specific |
| ALARA          | As Low as Reasonably Achievable  |
| BfS            | Bundesamt für Strahlenschutz   |
| CBCT           | Cone beam computed tomography  |
| DFP            | Dosisflächenprodukt  |
| Dr. med. dent. | Doctor medicinae dentariae   |
| Dr. med.       | Doctor medicinae   |
| Dr.            | Doctor   |
| DVT            | Digitale Volumentomographie  |
| EAPD           | European Academy of Paediatric Dentistry   |
| ED             | Effektive Dosis  |
| Endo           | Endodontie   |
| FoV            | Field of View/ Feldgröße   |
| FRS            | Fernröntgenseitenbild  |
| ICRP           | International Commission on Radiological Protection                                |
| ID             | Identifikationsnummer  |
| IMSID          | Institut für Medizinische Statistik, Informatik und Datenwissenschaften            |
| KF             | Konversionsfaktor  |
| KFO            | Kieferorthopädie   |
| KG             | Kiefergelenk   |
| KIS-ID         | Krankenhausinformationssystem- Identifikationsnummer                               |
| kV             | Kilovolt, Röhrenspannung   |
| M              | männlich   |
| mAs            | Milliamperesekunde, Stromzeitprodukt   |
| OP             | Operation  |
| OPG            | Orthopantomogramm  |
| PACS           | Picture Archiving and Communication System   |
| Pat.           | Patient  |

|           |                              |
|-----------|------------------------------|
| Proth. ZE | prothetischer Zahnersatz     |
| PSA       | Panoramaschichtaufnahme      |
| Qu.       | (Kiefer-)Quadrant            |
| RIS       | Radiologieinformationssystem |
| RÖ        | Röntgengerät                 |
| SOP       | Standard Operating Procedure |
| StrlSchG  | Strahlenschutzgesetz         |
| StrlSchV  | Strahlenschutzverordnung     |
| Tab.      | Tabelle                      |
| UKJ       | Universitätsklinikum Jena    |
| W         | weiblich                     |
| ZA        | Zahnanlage                   |

## 1. Zusammenfassung

Kinder und Jugendliche werden im Laufe ihres Entwicklungsprozesses aus verschiedenen Gründen ionisierender Strahlung durch Röntgenaufnahmen ausgesetzt. Das Risiko, stochastische Strahlenfolgen zu erleiden und im Laufe des Lebens einen Tumor zu entwickeln oder an Leukämie zu erkranken, ist bei Kindern aufgrund ihrer höheren Strahlensensibilität und längeren Lebensdauer wahrscheinlicher als bei Erwachsenen. Aus diesem Grund ist ein bewusster und sensibler Umgang beim Einsatz ionisierender Strahlen von großer Bedeutung. Zum aktuellen Zeitpunkt existiert keine offiziell geltende Leitlinie, die Auskünfte über Referenzwerte und adäquate Indikationsstellungen im Umgang mit ionisierender Strahlung in der Kinderzahnheilkunde vorgibt. Aufgrund dieses Faktums wurde eine Studie zur zahnärztlichen Radiologie bei Kindern und Jugendlichen bis achtzehn Jahre am Universitätsklinikum Jena (UKJ) durchgeführt. Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt ausschließlich auf den extraoralen Röntgenverfahren [Orthopantomogramm/ Panoramaschichtaufnahme (OPG/PSA), Fernröntgenseitenbild (FRS), Digitale Volumentomographie (DVT)]. Der Datensatz wurde aus dem Radiologieinformationssystem (RIS) und dem Picture Archiving and Communication System (PACS) des UKJ gewonnen. Er umfasst nach verschiedenen Bereinigungsschritten 9.680 Röntgenaufnahmen innerhalb des Zeitraums von Januar 2002 bis Juli 2020 mit folgenden Indikationen: Apikale Diagnostik (AD), Endodontie (Endo), Fokussuche, Kariesdiagnostik, Kieferorthopädie (KFO), Operation (OP), Prothetischer Zahnersatz (Proth. ZE), Trauma und Zahnanlage.

Ziel der Untersuchung war es herauszufinden, welchen Strahlendosen pädiatrische Patienten am UKJ bei extraoralen Röntgenaufnahmen in der dentalen Radiologie ausgesetzt sind und wie diese im Vergleich zu Röntgenverfahren im humanmedizinischen Bereich bezüglich der Strahlenexposition einzuschätzen sind. Es sollten für die extraoralen Röntgenverfahren die jeweiligen Indikationsstellungen und Dosiswerte bezogen auf Alters- und Geschlechterverteilung extrahiert und evaluiert werden. Zur statistischen Auswertung kam das IBM SPSS Statistics 27 zur Anwendung.

Die Analyse ergab, dass die Strahlendosen mit Dosisflächenprodukten von  $2,2 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$  für ein Fernröntgenseitenbild (FRS),  $14 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$  für ein Standard-Orthopantomogramm (OPG) und  $45 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$  für eine digitale Volumentomographie (DVT) als gering einzuschätzen sind. Dies entspricht einer effektiven Dosis von  $1,5 \text{ } \mu\text{Sv}$  für ein FRS,  $7 \text{ } \mu\text{Sv}$  für ein Standard-OPG und  $33,8 \text{ } \mu\text{Sv}$  für die DVT. Zum Vergleich

ist die effektive Dosis bei einer Röntgenaufnahme des Bauchraumes mit 0,4 mSv (Bundesamt für Strahlenschutz) deutlich höher und gleicht ungefähr 57 OPG-Standardaufnahmen (effektive Dosis einer OPG-Aufnahme: 0,007 mSv). Die natürliche Strahlenexposition einer Einzelperson in Deutschland beträgt laut Bundesamt für Strahlenschutz 2,1 mSv im Jahr. Bis zum Erreichen dieser Dosis könnten vergleichsweise 300 OPG-Standard-Aufnahmen durchgeführt werden.

Die 9.680 Aufnahmen verteilten sich auf 7.546 OPG (78 %), 2.097 FRS (21,7 %) und 37 DVT (0,3 %). Die Kinder und Jugendlichen waren im Mittel bei einem OPG  $12,0 \pm 4,3$  Jahre (Min = 2,2 J., Max = 18,0 J.), bei einem FRS  $12,6 \pm 3,3$  Jahre (Min = 2,8 J., Max = 18,0 J.) und bei einer DVT  $12,8 \pm 2,8$  (Min = 5,3 J., Max = 17,3 J.) Jahre alt.

Die Analyse zu Häufigkeitsverteilungen über den gesamten Betrachtungszeitraum ergab, dass die Anzahl der Röntgenaufnahmen pro Jahr variierte und im Jahr 2012 mit 348 extraoralen Röntgenaufnahmen ihr Minimum fand. Nachfolgend ist bis 2020 ein quantitativer Anstieg ersichtlich, wobei zu berücksichtigen ist, dass das Jahr 2020 nur bis Juli erfasst wurde. Bei Betrachtung der relativen Häufigkeit ist eine deutliche Zunahme der OPG von 69,4 % (2002) auf 84,8 % (2019) und eine damit einhergehende Abnahme der FRS von 30,6 % (2002) auf 14,1 % (2019) zu verzeichnen. Bezogen auf die Indikation wurden 33,8 % aller extraoralen Röntgenaufnahmen (von Januar 2011 bis Juli 2020) mit der Indikation KFO gestellt. Dabei wurden 49,6 % aller KFO-Aufnahmen mittels FRS durchgeführt, was innerhalb dieser Modalität mit knapp 98 % die überwiegende Fragestellung darstellt. Die vorwiegende Indikation für den Einsatz der DVT war mit circa 70 % die Frage nach der Zahnanlage. Das Indikationsspektrum des OPG ist breiter gefächert und umfasst alle untersuchten Indikationsstellungen. Den Großteil nehmen KFO-Aufnahmen sowie OP, Fokussuche, Zahnanlage und auch Trauma als rechtfertigende Fragestellung ein.

Jungen wurden im gesamten Untersuchungszeitraum signifikant häufiger in der dentalen Radiologie untersucht als Mädchen (54,5 % vs. 45,5 %,  $p < 0,001$ ), wobei die Mädchen zum Untersuchungszeitpunkt signifikant älter waren (12,2 J. vs. 12,0 J.,  $p = 0,008$ ). Vergleicht man die relativen Häufigkeiten der Indikation innerhalb der beiden Geschlechter, so stimmen die Indikationsanteile weitestgehend überein. Signifikante Häufigkeitsunterschiede in der absoluten Anzahl der Fragestellungen gibt es bei den Indikationen apikale Diagnostik ( $p = 0,047$ ), Kariesdiagnostik ( $p = 0,007$ ), OP ( $p < 0,001$ ), Trauma ( $p < 0,001$ ) und Zahnanlage ( $p = 0,004$ ) seitens der männlichen Patienten.



## 2. Einleitung

### 2.1 Grundlagen der Röntgenverfahren in der Zahnmedizin

Bereits vor mehr als 120 Jahren entdeckte 1895 Wilhelm Conrad Röntgen die Röntgenstrahlung. Die erste Aufnahme von Zähnen im Röntgenverfahren wurde bereits im Jahr 1896 von Friedrich Otto Walkhoff angefertigt (Schulze 2019). Seither gab es eine Vielzahl von Modernisierungen und Erweiterungen zur Anwendung von Röntgenstrahlen im medizinischen Bereich. Gegenwärtig sind dreidimensionale Aufnahmetechniken mit ionisierender Strahlung wie die Computertomografie (CT) und die Digitale Volumetomografie (DVT) tägliche Praxis. Da eine Vielzahl von Diagnosen erst mittels der Röntgenverfahren gesichert oder gar gestellt werden können, sind diese für eine adäquate zahnärztliche Behandlung unerlässlich geworden. So kann beispielsweise der klinische Verdacht auf das Vorliegen einer Approximalkaries eindeutig bestätigt oder auch die Notwendigkeit einer kieferorthopädischen Behandlung mittels FRS-Analyse eingeleitet werden. Bringen Röntgenverfahren einerseits einen immensen Nutzen mit sich, bergen sie andererseits ebenso Risiken, die es umso wichtiger werden lassen, sich mit dieser Thematik kritisch auseinanderzusetzen. Insbesondere bedeutsam ist dies für Personen im Kindes- und Jugendalter, da diese aufgrund ihrer somatischen Entwicklung sensibler auf Strahlung reagieren als adulte Patienten.

#### 2.1.1. Was ist Strahlung?

Die Röntgenstrahlung ist eine ionisierende Strahlung in Form von elektromagnetischen Wellen. Die technische Erzeugung erfolgt durch rasche Elektronenabbremmung. Zellen und Organismen können durch den Kontakt mit ionisierender Strahlung verändert oder gar zerstört werden und Strahlenschäden am Patienten können eine mögliche Folge sein (Bundesamt für Strahlenschutz 2022).

#### 2.1.2 Bedeutung der ionisierenden Strahlung für Kinder im Unterschied zu Erwachsenen

Das Risiko von Strahlenschäden wird durch verschiedene Faktoren bedingt. Eine wichtige Rolle spielt die Teilungsrates der Zellen, die umso höher ist, je jünger der Patient ist. Des Weiteren ist der Wassergehalt kindlicher Gewebe deutlich größer, wodurch im Verhältnis mehr Strahlung bei gleichen Gewebsschichten nötig ist. Hinzu

kommt, dass sensible Strahlenregionen enger aneinander liegen, je kleiner und kompakter der Körper des Patienten ist. Demzufolge liegen entsprechende Bereiche häufiger innerhalb des Strahlenfeldes. Auch die Verteilung des roten Knochenmarkes ist different zum adulten Körper. Dieses ist beispielsweise bei Säuglingen in allen Bereichen existent, so auch im Schädel, der im Vergleich zum Erwachsenen prozentual einen viel größeren Anteil am Körpervolumen hat. Die Gefährdung ist dementsprechend höher. Weibliche Patienten sind gefährdeter als männliche Patienten. Im Allgemeinen besteht unterhalb des 20. Lebensjahres ein zweifach bzw. unterhalb des 10. Lebensjahres ein dreifach erhöhtes Risiko für das Erleiden stochastischer Strahlenschäden. Das Risiko nimmt mit steigendem Alter ab und ist ab dem 80. Lebensjahr sogar vernachlässigbar klein, da die Latenzzeit zwischen der Strahlenexposition durch die Röntgenaufnahme und der Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Krebserkrankung, aller Voraussicht nach, die Lebenszeit überschreitet (European guidelines on radiation protection in dental radiology 2015).

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Wahrscheinlichkeit für Spätfolgen durch ionisierende Strahlung mit der Länge der noch zu erwartenden Lebenszeit steigt (Espelid et al. 2003, Strahlenschutzkommission 2006, Alzen und Benz-Bohm 2011).

### 2.1.3 Darstellung der Röntgenverfahren (PSA, FRS, DVT)

Die Röntgenverfahren in der Zahnmedizin können grob in zwei Rubriken unterteilt werden. Zum einen in intra- und extraorale Aufnahmetechniken, zum anderen in zwei- und dreidimensionale Verfahren. Die vorliegende Arbeit bezieht sich ausschließlich auf extraorale Übersichtsaufnahmen, die zweidimensional [Panoramaschichtaufnahme (PSA)/Orthopantomogramm (OPG), Fernröntgenseitenbild (FRS)] oder dreidimensional als Digitale Volumentomographie (DVT) aufgenommen werden. Das Orthopantomogramm (OPG) ist gut als Übersicht beider Kiefer geeignet, da alle Zähne sowohl approximal als auch apikal zu beurteilen sind. Weitere Strukturen, wie zum Beispiel das Kiefergelenk oder der Sinus maxillaris, können ebenfalls in gewissem Maße bezüglich pathologischer Veränderungen analysiert werden. Nachteil ist die fehlende Möglichkeit zur exakten Messung von Distanzen.

Steht die Frage des Wachstumsmusters und der Kieferrelationen im Raum, ist das FRS ein geeignetes Röntgenverfahren. Kombiniert werden beide Verfahren oft in der Kieferorthopädie verwendet, um einen geeigneten Behandlungsplan zu erstellen (Fogarty et al. 2015).

Reichen die Informationen dieser zweidimensionalen Verfahren nicht aus, kann ein dreidimensionales Bild mithilfe der digitalen Volumentomographie angefertigt werden. Das Einsatzgebiet umfasst bei Kindern und Jugendlichen neben der Kieferorthopädie hauptsächlich die Planung von Operationen in Bezug auf impaktierte Zähne, Lippen-Kiefer-Gaumenspalten und Skelettdiskrepanzen (Kapila et al. 2015). Im höheren Alter wird das Indikationsspektrum hauptsächlich durch die Implantologie erweitert (Jacobs et al. 2018).

## 2.2 Historie der zahnmedizinischen Röntgengeräte am UKJ

Bisher verwendete Röntgengeräte am Universitätsklinikum Jena sind in den nachfolgenden Tabellen 1–4 aufgelistet.

### a) Derzeitige Röntgengeräte

**Tab. 1:** Derzeitige Röntgengeräte der Zahnklinik in der Innenstadt (OPG – Orthopantomogramm, FRS – Fernröntgenseitenbild, DVT – Digitale Volumentomographie)

| Modalität | Gerät                   | Hersteller | Inbetriebnahme seit |
|-----------|-------------------------|------------|---------------------|
| OPG + FRS | Orthophos XG<br>Plus DS | Sirona     | 23.11.2009          |
| DVT       | Galileos                | Sirona     | 03.06.2010          |

**Tab. 2:** Derzeitige Röntgengeräte im Klinikum in Lobeda (OPG – Orthopantomogramm, FRS – Fernröntgenseitenbild, DVT – Digitale Volumentomographie)

| Modalität | Gerät                         | Hersteller | Inbetriebnahme seit |
|-----------|-------------------------------|------------|---------------------|
| OPG + FRS | Orthophos XG 3D<br>Ready Ceph | Sirona     | 14.02.2018          |

### b) Frühere Röntgengeräte

**Tab. 3:** Frühere Röntgengeräte der Zahnklinik in der Innenstadt (OPG – Orthopantomogramm, FRS – Fernröntgenseitenbild, DVT – Digitale Volumentomographie)

| Modalität | Gerät                    | Hersteller | Betriebszeitraum                            |
|-----------|--------------------------|------------|---|
| OPG + FRS | Oralix Multiscan<br>Ceph | Gendex     | 06/2000–09/2009<br>(digitale Speicherfolie) |
| OPG + FRS | Oralix AC                | Gendex     | 06/2000–unbekannt                           |

**Tab. 4:** Frühere Röntgengeräte im Klinikum in Lobeda (OPG – Orthopantomogramm, FRS – Fernröntgenseitenbild, DVT – Digitale Volumentomographie)

| Modalität | Gerät     |        | Betriebszeitraum                                    |
|-----------|-----------|--------|---|
| OPG + FRS | Orthophos | Sirona | 11/1999–01/2007 (ab 07/2002 digitale Speicherfolie) |
| OPG + FRS | Oralix AC | Gendex | 11/2004–02/2018 (digitale Speicherfolie)            |

### 2.3 Strahlenschutz

Das Ziel des Strahlenschutzes ist es, Folgeschäden durch ionisierende Strahlung zu vermeiden beziehungsweise diese zu restringieren. Dabei müssen zwei Arten von Schäden unterschieden werden. Die deterministischen Schäden, welche infolge eines Zelltodes entstehen und einen Schwellenwert besitzen, gilt es mit Hilfe von Dosisgrenzwerten zu verhindern. Stochastische Strahlenwirkungen ergeben sich aus Schäden an der DNA, wodurch genetische Defekte und Tumoren resultieren können. Das Auftreten dieser Krankheitsbilder unterliegt dabei einer statistischen Zufallsverteilung und ist nicht vorherzusagen. Solche Strahlenschäden haben keinen Schwellenwert und sind sogenannte Langzeiteffekte, da sie meist Latenzzeiten von vielen Jahren aufweisen (Furhmann 2013). Folglich gilt es, das Risiko der Entstehung dieser auf ein tolerables Maß zu begrenzen (Frey et al. 2019, Espelid et al. 2003). Dies soll durch folgende Grundsätze erreicht werden: Rechtfertigende Indikationsstellung, Dosisbegrenzung und Optimierung zur Vermeidung unnötiger Strahlenbelastung (Bundesamt für Strahlenschutz 2022).

„So niedrig, wie vernünftigerweise erreichbar“ ist seit 1973 eine wichtige Grundlage zur Umsetzung des Strahlenschutzes (ALARA-Prinzip: *As Low as Reasonably Achievable*). Dies bedeutet für den Zahnarzt, die Strahlendosis sowohl für Patient als auch für Personal so niedrig wie möglich beziehungsweise nur so hoch wie absolut notwendig zu halten (Berkhout 2015). Die Begrenzung dafür wird zum einen durch die geforderte rechtfertigende Indikationsstellung gewährleistet. Demzufolge muss die Anfertigung eines Röntgenbildes für den weiteren Behandlungsablauf ausschlaggebend sein, so dass abkömmliche Strahlenbelastung reduziert wird (Frane und Bittermann 2021). Daher sollen Röntgenaufnahmen zum Screening oder zur ausschließlichen Bestätigung

klinischer Befunde vor allem in der Kinderzahnheilkunde vermieden werden (Kühnisch et al. 2020).

Eine wesentliche Dosisersparung kann des Weiteren durch die Optimierung und ständige Überwachung der Röntgenabläufe erzielt werden. Durch an die zu klärende Fragestellung angepasste individuelle Geräteparameter (Röhrenspannung, Belichtungszeit und Röhrenstrom) kann die Strahlenbelastung so gering wie möglich gehalten werden (Napier 1999; Horner und Hirschmann 1990). Außerdem wird mittels regelmäßiger Konstanzprüfung eine mögliche Kompensierung der allmählichen Verschlechterung der Bildqualität (durch technische Alterungsprozesse der Röntgengeräte) durch sukzessive Dosiserhöhung verhindert.

Darüber hinaus stehen weitere Maßnahmen zum Schutz des Patienten im Vordergrund. Dieser sollte durch eine angemessene Stabilisierung des Kopfes, zur Vermeidung von Qualitätsverlusten und der damit verbundenen Notwendigkeit einer Neuauferfertigung der Röntgenaufnahme, und das Tragen einer Bleischürze sowie Schilddrüsenmanschette gewährleistet werden. Das Personal ist für die Umsetzung verantwortlich und schützt sich selbst durch ausreichende Entfernung und Abschirmung zur Strahlungsquelle (Praveen et al. 2013).

Die rechtliche Grundlage zur Umsetzung des Strahlenschutzes bildet das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG), das am 31.12.2018 in Kraft trat.

### 2.3.1 Leitlinien zu Röntgenaufnahmen in der Kinder- und Jugendzahnheilkunde

An einer s2k-Leitlinie zu rechtfertigenden Indikationen bei zweidimensionalen Röntgenaufnahmen in der Kinder- und Jugendzahnheilkunde wird derzeit gearbeitet (Registernummer 083 – 006). Die Fertigstellung ist für den 30.06.2023 geplant (Leitlinienvorhaben der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.).

Für die dentale digitale Volumentomographie besteht bereits eine s2k-Leitlinie, welche zuletzt am 05.08.2013 aktualisiert wurde (AWMF-Register-Nummer: 083-005) und derzeit überarbeitet wird. Diese thematisiert im Absatz 7.1 Grundsätze für die DVT-Anwendung bei Kindern und Jugendlichen. In diesem wird daraufhin gewiesen, dass Kinder ein 3-fach erhöhtes Strahlenrisiko im Vergleich zu Erwachsenen aufweisen, weshalb die Indikationen besonders streng gestellt werden müssen. So sollen Aufnahmen der DVT beispielsweise bei Hyperdontie zur Einschätzung präoperativer Eingriffe ge-

nutzt werden, wenn Kenntnisse über anliegende Strukturen und mögliche Zugangswege von entscheidendem Vorteil sind. Hingegen lässt sich die Hypodontie, als häufigste Zahnanomalie, mit zweidimensionalen Röntgenverfahren meist ausreichend darstellen. Eine Dosisersparung soll nach Möglichkeit durch Umlaufreduktion zu einem Halbkreis (180°) und die Reduktion der Stromstärke (Milli-Ampere, mA) bzw. des Stromstärke-Zeit-Produktes (mAs-Produkt) erreicht werden (Schulze 2013).

Im Jahr 2003 wurden von der Europäischen Akademie für Kinderzahnheilkunde die „*EAPD guidelines for use of radiographs in children*“ durch Espelid et al. veröffentlicht (Espelid et al. 2003). Diese setzen sich vorrangig mit der Kariesdiagnostik bei Kindern und Jugendlichen als rechtfertigender Indikation auseinander. Sie wurden durch das „*Best clinical practice guidance for prescribing dental radiographs in children and adolescents: an EAPD policy document*“ ersetzt (Kühnisch et al. 2020). Dieses enthält Informationen über die Durchführung von intraoralen Röntgenaufnahmen, Panoramaschichtaufnahmen und der digitalen Volumentomographie (DVT) zur Karieserkennung und -beurteilung sowie zur Diagnostik bei Zahninfektionen, Zahntraumata, Zahnanomalien, Entwicklungsstörungen oder pathologischen Befunden. Allerdings werden Kieferorthopädie, Altersabschätzungen und behandlungsbedingte Röntgenaufnahmen (zum Beispiel bei endodontischen Behandlungen) nicht berücksichtigt. Innerhalb dieser Leitlinie wird auf das ALADAIP-Prinzip (*As Low As Diagnostically Achievable being Indication-oriented and Patient-specific*) verwiesen. Neben Leitlinien zur Indikation und Durchführung von Röntgenaufnahmen sind Dosisreferenzwerte (DRW) hilfreich. Diese gibt es bereits im humanmedizinischen Bereich in der vom Bundesamt für Strahlenschutz veröffentlichten „Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzwerte für diagnostische und interventionelle Röntgenanwendungen“ (Bundesamt für Strahlenschutz 2016). Für dentale extraorale Röntgenverfahren liegen aktuell keine offiziellen DRW vor.

### 3. Ziele der Arbeit

Kinder und Jugendliche reagieren besonders sensibel auf ionisierende Röntgenstrahlung. Unerwünschte Folgen können weitreichend sein und das weitere Leben bedeutsam beeinflussen. Daher ist ein bedachter Umgang mit Strahlung insbesondere bei Kindern und Jugendlichen notwendig.

Ziel der Arbeit ist es, die Anzahl und Dosiswerte der extraoralen zahnärztlichen Röntgenaufnahmen bei Kindern und Jugendlichen am Universitätsklinikum Jena, bezogen auf die Modalitäten OPG, FRS und DVT, im Zeitraum von Januar 2002 bis Juli 2020 zu untersuchen.

Dabei soll sowohl das Dosisflächenprodukt der einzelnen extraoralen Röntgenuntersuchung als auch die daraus resultierende effektive Dosis für den Patienten ermittelt und gleichzeitig veranschaulicht werden, wie diese im Vergleich zu anderen Strahlenexpositionen im humanmedizinischen Bereich einzuschätzen ist.

Des Weiteren steht die Analyse der Anzahl von Untersuchungen sowohl jahres- als auch modalitätenbezogen im Fokus.

Darüber hinaus gilt es, die Indikationsstellung für die jeweilige Modalität näher zu evaluieren und aufzuzeigen, ob sich diese im Laufe der Jahre verändert hat. Die Analyse der Alters- und Geschlechterverteilung für die einzelnen Modalitäten und Indikationen dienen zur Evaluierung der Vermutung, dass bezüglich der Häufigkeiten zwischen Jungen und Mädchen kein Unterschied besteht.

Zusammenfassend ergeben sich folgende Hypothesen:

#### Hypothese H1<sub>0</sub>:

Zahnärztliche Untersuchungen wie das OPG, das FRS oder die DVT zeigen im Vergleich zur natürlichen Strahlenexposition und zu den meisten Röntgenverfahren im humanmedizinischen Bereich für Kinder und Jugendliche im Alter von 0–18 Jahren am UKJ keine hohe Strahlenbelastung.

#### Hypothese H2<sub>1</sub>:

Es gibt geschlechtsbezogen Unterschiede bei Alter, Frequenz und Indikationsstellung für extraorale Aufnahmen. Diese verändern sich über den betrachteten Zeitraum.

Hypothese H3:

Die Auswertung der Daten zeigt einen Anstieg in der Häufigkeitsverteilung der Untersuchungen über die Jahre 2002 bis 2020.

Hypothese H4:

Das Orthopantomogramm wird als Übersichtsaufnahme bei Kindern und Jugendlichen über die Jahre 2002 bis 2020 häufiger angefertigt als die anderen untersuchten extraoralen Aufnahmetechniken.

Hypothese H5:

Im betrachteten Zeitraum 2002 bis 2010 wird eine Veränderung bezüglich der Indikationshäufigkeiten erwartet.



## 4. Material und Methodik

### 4.1 Datensatz

Die Rekrutierung des Patientenkollektivs erfolgte durch die Nutzung des Radiologieinformationssystem (RIS) der Firma i-SOLUTIONS Health GmbH (RadCentre) und das Picture Archiving and Communication System (PACS) der Firma GE Healthcare. Zunächst wurden die Daten aus den oben genannten Programmen extrahiert. Zum Patientenstamm gehörten alle Kinder und Jugendlichen im Alter von 0 bis 18 Jahren (bis zur Vollendung des 18. Lebensjahres), bei denen im Zeitraum vom 01.01.2002 bis zum 31.07.2020 Röntgenbilder in Form von OPG, FRS, DVT angefertigt wurden. Die Anforderungen stammten aus den Fachgebieten der Kinder- und konservierenden Zahnheilkunde, aus der Prothetik, Kieferorthopädie oder Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie.

Weitere Filter waren folgende Patientenparameter: Identifikationsnummer, Krankenhausinformationssystem-Identifikationsnummer (KIS-ID), Name, Vorname, Geburtsdatum und Geschlecht. Zudem wurden Untersuchungsdatum, Raum/Gerät, Dosisflächenprodukt, Indikation und die Modalität herausgefiltert. Die Zusammenstellung der genannten Angaben erfolgte im Format einer Excel-Tabelle.

### 4.2 Bereinigung der Daten

Anfangs erstreckte sich die Dokumentation einer Aufnahme über mehrere Zeilen der Excel-Tabelle, sodass diese zunächst zusammengefügt werden mussten. Folgend wurden radiologische Aufnahmen von Phantomarbeiten der Studenten, die regelmäßigen Konstanzprüfungen sowie stornierte Aufnahmen aufgrund von Doppelanmeldung oder Unkooperativität einzelner Patienten aus dem Datensatz entfernt. Auch mussten alle Aufnahmen, deren Anfertigung nach Vollendung des 18. Lebensjahres erfolgte, gelöscht werden. Hierzu wurde mit Hilfe von Excel das Patientenalter ermittelt.

### 4.3 Vervollständigung der Daten

Die Informationen bezüglich des Geschlechtes und der Indikation konnten aus den Systemen KIS, RIS, PACS nicht für jeden Patienten vollständig digital extrahiert werden. Eine manuelle Ergänzung des Datensatzes war nötig. Es wurden die Fälle/Auf-

nahmen, zu denen Informationen fehlten, mit Hilfe der KIS-ID im RIS von Hand aufgerufen, auf Geschlecht und Indikation (erst ab 2010 möglich) untersucht und vorliegende Daten ergänzt.

Die Indikationen wurden wie folgt klassifiziert:

- Apikale Diagnostik (AD, bei Verdacht auf Entzündungen an der Wurzel),
- Endodontie (Endo, im Rahmen einer Wurzelkanalbehandlung),
- Fokussuche (bei unklaren Beschwerden),
- Kariesdiagnostik,
- Kieferorthopädie (KFO),
- Operation (OP; inklusive Extraktionen und Operationen der Oral-/Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie mit zahnmedizinischem Schwerpunkt),
- Prothetischer Zahnersatz (Proth. ZE),
- Trauma,
- Zahnanlage (ZA).

Es wurden alle Aufnahmen von 2010–2022 noch einmal manuell im System aufgerufen und die extrahierten Daten auf Richtigkeit geprüft. Für die Jahre 2002–2009 wurde dies okkasionell durchgeführt, wobei bei diesem Vorgehen keine offensichtlichen Fehler im Datensatz ersichtlich waren. In Anbetracht einer gewinnbringenderen Auswertung bei besserer Übersicht erfolgte im nächsten Schritt die Vereinheitlichung der Modalitäteninformationen für das OPG und DVT in einer ergänzenden Spalte sowie die Zusammenfassung der Modalitäten in einer weiteren Spalte, wie in Tabelle 5 dargestellt (beim FRS war diese Zusammenfassung nicht notwendig). Insbesondere für das OPG waren über die erfassten Jahre eine Vielzahl von verschiedenen Programmbezeichnungen üblich, die im Rahmen dieser Studie zusammengefasst werden konnten.

**Tab. 5:** Anpassung der Modalitätenbezeichnungen (DVT/ Digit. Volument. – Digitale Volumentomographie, OK – Oberkiefer, UK – Unterkiefer, OPG – Orthopantomogramm, KG – Kiefergelenk, Qu. – Kieferquadrant, FRS – Fernröntgenseitenbild, RIS – Radiologieinformationssystem, TMG - Temporomandibulargelenk)

| <b>Modalitätenbezeichnung nach<br/>RIS</b>  | <b>Modalität einheitlich<br/>angepasst</b> | <b>Modalität ver-<br/>einfacht</b> |
|---|--|------------------------------------|
| - DVT<br>- DVT Digit.Volument. OK+UK<br>- DVT Digitale Volument.  | DVT  | DVT                                |
| - DVT Digit.Volument. OK  | DVT nur OK                                 | DVT                                |
| - DVT Digit.Volument. UK  | DVT nur UK                                 | DVT                                |
| - OPG- Spezialaufn.TMG Scano<br>- TM1 KG lat. 4 Aufn.<br>- OPG Kiefergelenkprog.  | OPG - Kiefergelenkprogramm                 | OPG                                |
| - OPG – Kind<br>- OPG P10 Kinder  | OPG – Kind                                 | OPG                                |
| - OPG ohne KG - UK rechts<br>- OPG ohne KG - UK links<br>- OPG ohne KG - OK rechts<br>- OPG ohne KG - OK links<br>- OPG P1 - OK links<br>- OPG P1 - OK rechts<br>- OPG P1 - UK rechts<br>- OPG - UK links | OPG - ohne KG 1 Qu.                        | OPG                                |
| - OPG ohne KG - OK bds.<br>- OPG ohne KG - UK bds.<br>- OPG ohne KG - OK+UK li.<br>- OPG ohne KG - OK+UK re.  | OPG - ohne KG 2 Qu.                        | OPG                                |
| - OPG P2 nur Zähne ohne KG  | OPG - ohne KG 4 Qu.                        | OPG                                |
| - OPG<br>- OPG – Kiefer<br>- OPG P1 Standard  | OPG - Standard                             | OPG                                |

Auch die Dosiswerte konnten nicht immer vollständig und/oder korrekt herausgefiltert werden. Fehlende Daten waren nicht im RIS oder PACS hinterlegt, sodass anhand der vorhandenen Werte nach persönlicher Rücksprache mit der Radiologieabteilung der Zahnklinik (Innenstadt) und in Absprache mit dem Medizinphysikexperten und Strahlenschutzbevollmächtigten des UKJ, Herrn Dr. Scheithauer, die Werte für das Dosisflächenprodukt der einzelnen Modalitäten einheitlich determiniert und entsprechend im Datenblatt ergänzt wurden.

Mit Hilfe der so festgelegten Dosiswerte konnte im Anschluss die effektive Dosis für die Patienten mit folgender Formel berechnet werden:

$$\text{ED [mSv]} = \text{DFP [Gy x cm}^2\text{]} \times \text{KF [mSv / Gy x cm}^2\text{]}$$

(ED = effektive Dosis; DFP = Dosisflächenprodukt, KF= Konversionsfaktor)

Zur Ermittlung geeigneter Konversionsfaktoren (KF) wurde die Arbeit von Gosch et al. aus dem Jahr 2007 vom Universitätsklinikum Leipzig verwendet (Gosch et al. 2007). Die Tabelle 6 gibt eine Zusammenfassung über die Konversionsfaktoren für konventionelle Röntgen-Schädeluntersuchungen in Abhängigkeit von der Röhrenspannung in verschiedenen Ebenen. Mithilfe dieser konnten geeignete Werte für die extraoralen Röntgenverfahren FRS, OPG und DVT festgelegt werden. Da beim FRS eine laterale Projektion bei einer Röhrenspannung von 73 - 77 kV vorliegt, wurde ein gemittelter Faktor zwischen 70 und 80 kV aus der Tabelle gebildet:

$$\text{KF} = (0,062 + 0,076) / 2 = \mathbf{0,069} \text{ mSv/ (Gy x cm}^2\text{)}.$$

Bei OPG und DVT erfolgt die Strahlenexposition aufgrund der Rotation der Apparatur um den Patienten aus entsprechend mehreren Blickwinkeln, sodass dies beim Konversionsfaktor berücksichtigt werden muss.

Beim **OPG** liegt die Röhrenspannung am UKJ bei 64 beziehungsweise 69 kV (64 kV für ein OPG-Kind, bei allen anderen Programmen 69 kV). Um einen einheitlichen Konversionsfaktor für diese Modalität festzulegen, wurde der Wert zwischen 60 und 70 kV aus der Tabelle gemittelt. Außerdem wurden die Projektionen, welche durch die etwas mehr als halb-ellipsenförmige Bewegung entstehen, berücksichtigt (posterior- anterior, lateral zweimal). Demzufolge kam nach Empfehlung des Medizinphysikexperten folgende Rechnung zur Anwendung:

$$KF = (0,034 + 0,044 + 0,049 + 0,062 + 0,049 + 0,062) / 6 = \mathbf{0,050} \text{ mSv/ (Gy x cm}^2\text{)}.$$

In Anbetracht der Röhrenspannung von 85 kV beim **DVT** wurde auch hier ein gemittelter Faktor verwendet, bei dem ebenfalls die Röntgenebenen durch die (Halb-) Kreisbewegung Berücksichtigung fanden (anterior- posterior, lateral zweimal). Somit ergab sich:

$$KF = (0,055 + 0,065 + 0,076 + 0,088 + 0,076 + 0,088) / 6 = \mathbf{0,075} \text{ mSv/ (Gy x cm}^2\text{)}.$$

**Tab. 6:** Zusammenfassung der Konversionsfaktoren für Schädeluntersuchungen nach Gosch et al. 2007

| <b>Röhrenspannung<br/>in kV</b> | <b>posterior- anterior Projek-<br/>tion in mSv/ (Gy x cm<sup>2</sup>)</b> | <b>laterale Projektion in<br/>mSv/ (Gy x cm<sup>2</sup>)</b> |
|---------------------------------|---|--|
| 60                              | 0,034   | 0,049  |
| 70                              | 0,044   | 0,062  |
| 80                              | 0,055   | 0,076  |
| 90                              | 0,065   | 0,088  |

Zum abschließenden Vergleich erfolgte die Gegenüberstellung der berechneten KF mit Werten aus der Literatur (s. Diskussion).

#### 4.4 Statistische Auswertung

Zur Auswertung der Daten wurde das IBM SPSS Statistics 27 genutzt. Die Datenanalyse erfolgte nach individueller statistischer Beratung durch Dr. Thomas Lehmann vom Institut für Medizinische Statistik, Informatik und Datenwissenschaften (IMSID) mittels deskriptiver Statistiken sowie absoluter und relativer Häufigkeitsverteilungen für kategoriale Eigenschaften, wie zum Beispiel Alter, Geschlecht, Jahr oder Indikation. Auch wurden Mittelwertmodelle mit dem Patientenalter als abhängiger Variable verwendet. Darüber hinaus erfolgte die Nutzung des Patientenalters als Zielvariable kombiniert mit der Krankenhausinformationssystem-Identifikationsnummer (KIS-ID), welche jedem Patienten individuell zugeordnet ist, als zufälligen Effekt in linear gemischten Modellen

(Random-Effects-Modell). Die Anfertigung von Kreuztabellen diene der besseren Er-  
ierung von Zusammenhängen. Mittels der Bonferroni-Korrektur wurden multiple Tests  
überarbeitet und das Signifikanzniveau auf 5% ( $p=0,05$ ) festgelegt.

## 5. Ergebnisse

### 5.1 Dosiswerte

Die Ermittlung des dokumentierten Dosisflächenproduktes für extraorale Röntgenuntersuchungen bei Kindern und Jugendlichen am Universitätsklinikum Jena ergab nachfolgende Werte, siehe Tabelle 7.

**Tab. 7:** Dosisflächenprodukt je Modalität (DFP – Dosisflächenprodukt, kV – Spannung, mA – Stromstärke, sec – Belichtungszeit, mAs – Stromstärkezeitprodukt, FoV – Field of View/ Feldgröße, OPG – Orthopantomogramm [KG – Kiefergelenk, Qu. – Kieferquadrant], FRS – Fernröntgenseitenbild, DVT – Digitale Volumentomographie)

| Modalität  | DFP in<br>cGy x cm <sup>2</sup> | kV    | mA | sec  | mAs | FoV<br>in cm       |
|--|---------------------------------|-------|----|------|-----|--------------------|
| DVT  | 45                              | 85    | 5  | 6    | 28  | 25 x 12,5          |
| DVT nur OK   | 40                              | 85    | 5  | 6    | 28  | 25 x 8             |
| DVT nur UK   | 30                              | 85    | 5  | 6    | 28  | 25 x 7             |
| FRS  | 2,2                             | 73/77 | 14 | 9    | 126 | 18 x 24            |
| OPG-Kiefergelenkprogramm   | 12                              | 69    | 15 | 13,8 | 207 | 25 x 13            |
| OPG-Kind   | 7                               | 64    | 8  | 13,8 | 207 | 16 x 7,5           |
| OPG-ohne KG 1 Qu.  | 3                               | 69    | 15 | 13,8 | 207 | 10 x 19            |
| OPG-ohne KG 2 Qu einseitig (1.+4. Qu. oder 2.+3. Qu.) / ein Kiefer | 6                               | 69    | 15 | 13,8 | 207 | 10 x 13/<br>25 x 9 |
| OPG-ohne KG 4 Qu.  | 12                              | 69    | 15 | 13,8 | 207 | 18 x 13            |
| OPG-Standard   | 14                              | 69    | 15 | 13,8 | 207 | 25 x 13            |

Die Berechnung der effektiven Dosis erfolgte mit folgender Formel:

$$\mathbf{ED [mSv] = DFP [Gy \times cm^2] \times KF \text{ Schädel [mSv / Gy} \times cm^2]}$$

(ED = effektive Dosis; DFP = Dosisflächenprodukt, KF= Konversionsfaktor)

Die Festlegung der Konversionsfaktoren (s. Kap. 4.3) ergab

$$\text{FRS} = 0,069 \text{ mSv/ (Gy} \times \text{cm}^2\text{),}$$

$$\text{OPG} = 0,050 \text{ mSv/ (Gy} \times \text{cm}^2\text{),}$$

$$\text{DVT} = 0,075 \text{ mSv/ (Gy} \times \text{cm}^2\text{).}$$

Die daraus resultierenden effektiven Dosen nach erfolgter Umrechnung von mSv in  $\mu\text{Sv}$  sind in Tabelle 8 dargestellt.

**Tab. 8:** Effektive Dosis je Modalität (OPG – Orthopantomogramm [KG – Kiefergelenk, Qu. – Kieferquadrant], FRS – Fernröntgenseitenbild, DVT – Digitale Volumentomographie)

| <b>Modalität</b>         | <b>effektive Dosis in <math>\mu\text{Sv}</math></b> |
|--------------------------|---|
| DVT                      | 33,8  |
| DVT nur OK               | 30,0  |
| DVT nur UK               | 22,5  |
| FRS                      | 1,5   |
| OPG-Kiefergelenkprogramm | 6,0   |
| OPG-Kind                 | 3,5   |
| OPG-ohne KG 1 Qu.        | 1,5   |
| OPG-ohne KG 2 Qu         | 3,0   |
| OPG-ohne KG 4 Qu.        | 6,0   |
| OPG-Standard             | 7,0   |

## 5.2 Häufigkeitsverteilung der Röntgenaufnahmen über die Jahre 2002 – 2020

### 5.2.1 Häufigkeiten der verschiedenen Modalitäten

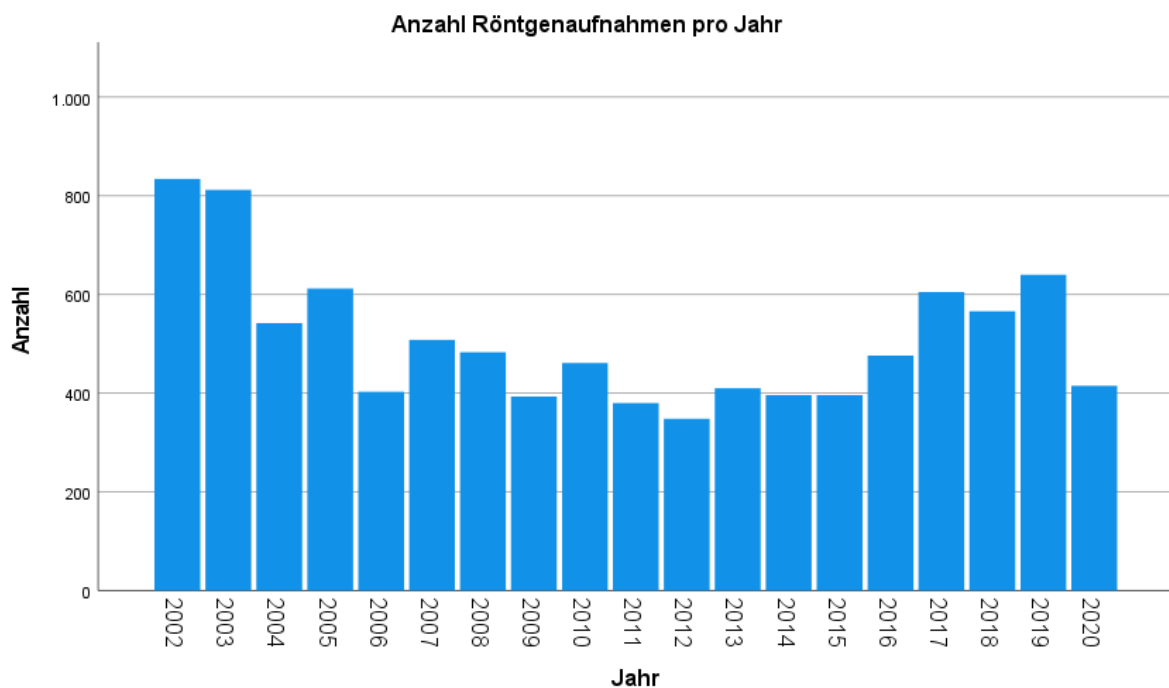
Die Tabelle 9 zeigt, dass bei Kindern und Jugendlichen innerhalb des Zeitraumes vom 01. Januar 2002 bis zum 31. Juli 2020 insgesamt 9.680 Übersichtsaufnahmen in Form eines OPG, FRS oder DVT zu zahnmedizinischen Zwecken angefertigt wurden.

Die Analyse ergab, dass die Anzahl der Röntgenaufnahmen pro Jahr im Laufe der Zeit variierte (s. Abb. 1). Im Jahr 2002 wurden im Vergleich zu 2006 mit 834 Aufnahmen mehr als doppelt so viele extraorale Aufnahmen angefertigt. Das Minimum konnte 2012 mit 348 extraoralen Röntgenaufnahmen verzeichnet werden. Danach ist bis 2020 ein quantitativer Anstieg ersichtlich, wobei zu berücksichtigen ist, dass das Jahr 2020 nur bis Juli erfasst wurde.

Bei Betrachtung der vereinfachten Modalitätendarstellung ist eindeutig zu erkennen, dass OPG im oben genannten Zeitraum am häufigsten von den drei Übersichtsmodalitäten zur Durchführung kamen. Es wurden 7.546 (78 %) OPG und 2.097 (21,7 %) FRS angefertigt. Die DVT kam lediglich 37-mal (0,3 %) zur Anwendung.



Bei Untersuchung der relativen Häufigkeitsverteilung je Jahr für das OPG ist eine signifikante Veränderung zu verzeichnen ( $p < 0,001$ ). Wird das Verhältnis der Modalitätshäufigkeiten innerhalb eines Jahres verglichen, ist die Abnahme der FRS-Abundanz und die Zunahme der OPG-Abundanz offensichtlich. So waren zu Beginn der Erhebung im Jahr 2002 30,6 % aller Aufnahmen FRS ( $n = 255$ ) und 69,4 % OPG ( $n = 579$ ). Im Jahr 2019 waren es demgegenüber nur noch 14,1 % FRS-Aufnahmen ( $n = 90$ ) und 84,8 % ( $n = 543$ ) OPG-Aufnahmen. Die DVT wurde erstmals im Jahr 2010 bei Kindern und Jugendlichen am UKJ angewandt. Mit anteilig 0,4 % aller Untersuchungen (entspricht zwei Aufnahmen) stellte sich in diesem Jahr die geringste Häufigkeit dar. Das Maximum lag bei zuvor variierender Häufigkeit mit 1,1 % (entspricht sieben Aufnahmen) im Jahr 2019. Zu berücksichtigen ist, dass das Jahr 2020 nicht vollständig erfasst wurde.



**Abb. 1:** Graphische Darstellung zur absoluten Häufigkeit aller extraoralen Röntgenaufnahmen pro Jahr

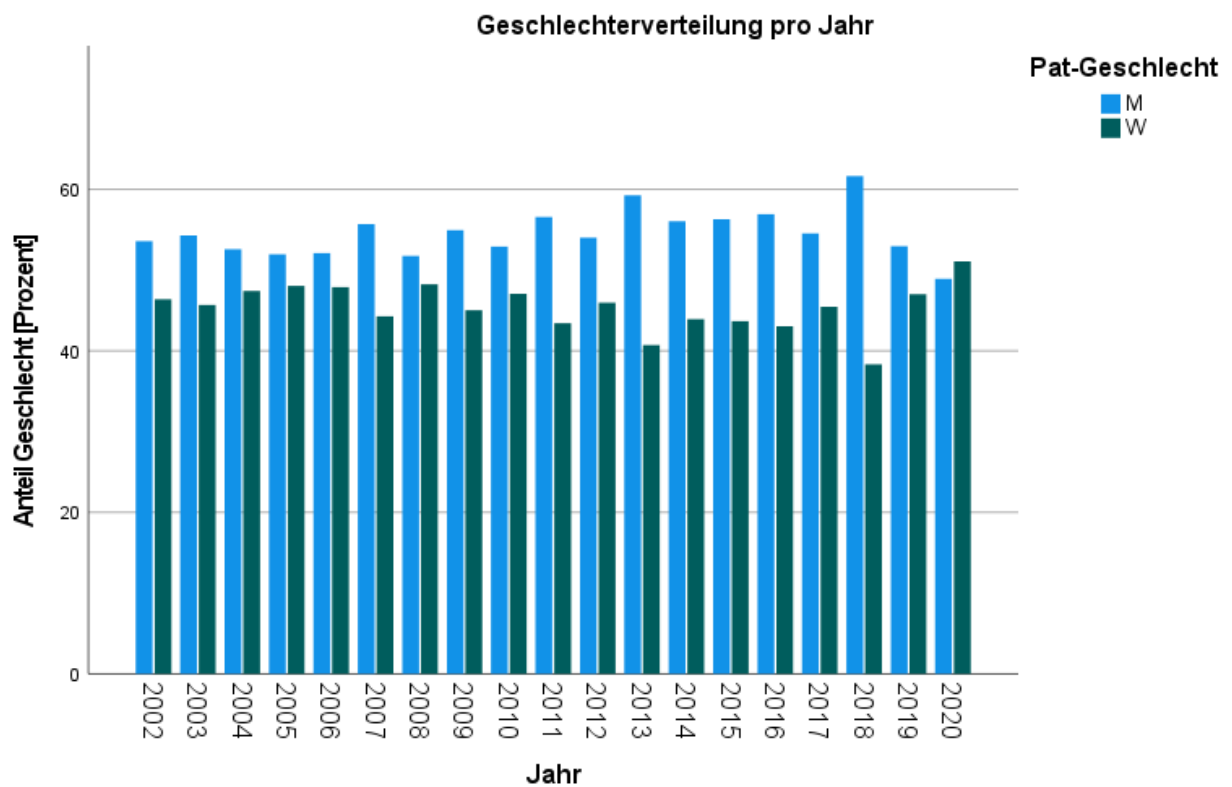
**Tab. 9:** Deskriptive Statistik zur absoluten und relativen Häufigkeit aller extraoralen Röntgenaufnahmen pro Jahr (OPG – Orthopantomogramm, FRS – Fernröntgenseitenbild, DVT – Digitale Volumentomographie)

| Jahr   |            | Modalität vereinfacht |      |      | Gesamt |
|--------|------------|-----------------------|------|------|--------|
|        |            | DVT                   | FRS  | OPG  |        |
| 2002   | Anzahl     | 0                     | 255  | 579  | 834    |
|        | % von Jahr | 0,0                   | 30,6 | 69,4 | 100,0  |
| 2003   | Anzahl     | 0                     | 242  | 570  | 812    |
|        | % von Jahr | 0,0                   | 29,8 | 70,2 | 100,0  |
| 2004   | Anzahl     | 0                     | 164  | 378  | 542    |
|        | % von Jahr | 0,0                   | 30,3 | 69,7 | 100,0  |
| 2005   | Anzahl     | 0                     | 194  | 418  | 612    |
|        | % von Jahr | 0,0                   | 31,7 | 68,3 | 100,0  |
| 2006   | Anzahl     | 0                     | 113  | 290  | 403    |
|        | % von Jahr | 0,0                   | 28,0 | 72,0 | 100,0  |
| 2007   | Anzahl     | 0                     | 84   | 424  | 508    |
|        | % von Jahr | 0,0                   | 16,5 | 83,5 | 100,0  |
| 2008   | Anzahl     | 0                     | 88   | 395  | 483    |
|        | % von Jahr | 0,0                   | 18,2 | 81,8 | 100,0  |
| 2009   | Anzahl     | 0                     | 78   | 315  | 393    |
|        | % von Jahr | 0,0                   | 19,8 | 80,2 | 100,0  |
| 2010   | Anzahl     | 2                     | 84   | 375  | 461    |
|        | % von Jahr | 0,4                   | 18,3 | 81,3 | 100,0  |
| 2011   | Anzahl     | 2                     | 69   | 309  | 380    |
|        | % von Jahr | 0,5                   | 18,2 | 81,3 | 100,0  |
| 2012   | Anzahl     | 4                     | 67   | 277  | 348    |
|        | % von Jahr | 1,1                   | 19,3 | 79,6 | 100,0  |
| 2013   | Anzahl     | 4                     | 80   | 326  | 410    |
|        | % von Jahr | 1,0                   | 19,5 | 79,5 | 100,0  |
| 2014   | Anzahl     | 2                     | 70   | 324  | 396    |
|        | % von Jahr | 0,5                   | 17,7 | 81,8 | 100,0  |
| 2015   | Anzahl     | 2                     | 85   | 309  | 396    |
|        | % von Jahr | 0,5                   | 21,5 | 78,0 | 100,0  |
| 2016   | Anzahl     | 4                     | 90   | 382  | 476    |
|        | % von Jahr | 0,8                   | 18,9 | 80,3 | 100,0  |
| 2017   | Anzahl     | 4                     | 94   | 507  | 605    |
|        | % von Jahr | 0,7                   | 15,5 | 83,8 | 100,0  |
| 2018   | Anzahl     | 3                     | 73   | 490  | 566    |
|        | % von Jahr | 0,5                   | 12,9 | 86,6 | 100,0  |
| 2019   | Anzahl     | 7                     | 90   | 543  | 640    |
|        | % von Jahr | 1,1                   | 14,1 | 84,8 | 100,0  |
| 2020   | Anzahl     | 3                     | 77   | 335  | 415    |
|        | % von Jahr | 0,7                   | 18,6 | 80,7 | 100,0  |
| Gesamt | Anzahl     | 37                    | 2097 | 7546 | 9680   |
|        | % von Jahr | 0,3                   | 21,7 | 78,0 | 100,0  |

## 5.2.2 Geschlechterverteilung

### 5.2.2.1 Verteilung über die Jahre von 2002 – 2020

Abbildung 2 veranschaulicht die Geschlechterverteilung bezogen auf die Röntgenaufnahmen pro Jahr. Daraus ersichtlich wurden Jungen etwas häufiger geröntgt als Mädchen (ca. 5–10 % mehr). Die Abweichung des Wertes im Jahr 2020 ist aufgrund der befristeten Erhebung des Datensatzes bis zum 31.07.2020 lediglich eingeschränkt aussagekräftig. Über den gesamten Zeitraum ergibt sich in der Gruppe der Jungen eine um 874 Aufnahmen höhere Anzahl (Tab. 10). Statistisch betrachtet wurden im gesamten untersuchten Zeitraum signifikant mehr Jungen geröntgt als Mädchen ( $p < 0,001$ ).



**Abb. 2:** Graphische Darstellung zur Geschlechterverteilung pro Jahr (Pat-Geschlecht – Patientengeschlecht [M – männlich, W – weiblich])

**Tab. 10:** Deskriptive Statistik zur geschlechterspezifischen Häufigkeitsverteilung (Pat-Geschlecht – Patientengeschlecht [M – männlich, W – weiblich])

| Jahr   |            | Pat-Geschlecht |      | Gesamt |
|--------|------------|----------------|------|--------|
|        |            | M              | W    |        |
| 2002   | Anzahl     | 447            | 387  | 834    |
|        | % von Jahr | 53,6           | 46,4 | 100,0  |
| 2003   | Anzahl     | 441            | 371  | 812    |
|        | % von Jahr | 54,3           | 45,7 | 100,0  |
| 2004   | Anzahl     | 285            | 257  | 542    |
|        | % von Jahr | 52,6           | 47,4 | 100,0  |
| 2005   | Anzahl     | 318            | 294  | 612    |
|        | % von Jahr | 52,0           | 48,0 | 100,0  |
| 2006   | Anzahl     | 210            | 193  | 403    |
|        | % von Jahr | 52,1           | 47,9 | 100,0  |
| 2007   | Anzahl     | 283            | 225  | 508    |
|        | % von Jahr | 55,7           | 44,3 | 100,0  |
| 2008   | Anzahl     | 250            | 233  | 483    |
|        | % von Jahr | 51,8           | 48,2 | 100,0  |
| 2009   | Anzahl     | 216            | 177  | 393    |
|        | % von Jahr | 55,0           | 45,0 | 100,0  |
| 2010   | Anzahl     | 244            | 217  | 461    |
|        | % von Jahr | 52,9           | 47,1 | 100,0  |
| 2011   | Anzahl     | 215            | 165  | 380    |
|        | % von Jahr | 56,6           | 43,4 | 100,0  |
| 2012   | Anzahl     | 188            | 160  | 348    |
|        | % von Jahr | 54,0           | 46,0 | 100,0  |
| 2013   | Anzahl     | 243            | 167  | 410    |
|        | % von Jahr | 59,3           | 40,7 | 100,0  |
| 2014   | Anzahl     | 222            | 174  | 396    |
|        | % von Jahr | 56,1           | 43,9 | 100,0  |
| 2015   | Anzahl     | 223            | 173  | 396    |
|        | % von Jahr | 56,3           | 43,7 | 100,0  |
| 2016   | Anzahl     | 271            | 205  | 476    |
|        | % von Jahr | 56,9           | 43,1 | 100,0  |
| 2017   | Anzahl     | 330            | 275  | 605    |
|        | % von Jahr | 54,5           | 45,5 | 100,0  |
| 2018   | Anzahl     | 349            | 217  | 566    |
|        | % von Jahr | 61,7           | 38,3 | 100,0  |
| 2019   | Anzahl     | 339            | 301  | 640    |
|        | % von Jahr | 53,0           | 47,0 | 100,0  |
| 2020   | Anzahl     | 203            | 212  | 415    |
|        | % von Jahr | 48,9           | 51,1 | 100,0  |
| Gesamt | Anzahl     | 5277           | 4403 | 9680   |
|        | % von Jahr | 54,5           | 45,5 | 100,0  |

### 5.2.2.2 Vergleich der absoluten und relativen Häufigkeit

Die geschlechterabhängige Analyse der vereinfachten Modalitätenverteilung, wie in Tabelle 11 dargestellt, zeigt ein Ungleichgewicht. OPG wurden bei Jungen (n = 4167) signifikant häufiger ( $p < 0,001$ ) erstellt als bei Mädchen (n = 3379). Bei DVT und FRS wurden keine signifikanten Unterschiede ermittelt. Deskriptiv wurden Jungen häufiger mittels DVT (54,1 %) und FRS (52,0 %) untersucht als Mädchen.

**Tab. 11:** Deskriptive Statistik zur absoluten und relativen Häufigkeit der vereinfachten Modalitätenverteilung je Geschlecht (Pat-Geschlecht – Patientengeschlecht [M – männlich, W – weiblich], OPG – Orthopantomogramm, FRS – Fernröntgenseitenbild, DVT – Digitale Volumentomographie)

| Modalität vereinfacht |                 | Pat-Geschlecht |      | Gesamt |
|-----------------------|-----------------|----------------|------|--------|
|                       |                 | M              | W    |        |
| DVT                   | Anzahl          | 20             | 17   | 37     |
|                       | % von Modalität | 54,1           | 45,9 | 100,0  |
| FRS                   | Anzahl          | 1090           | 1007 | 2097   |
|                       | % von Modalität | 52,0           | 48,0 | 100,0  |
| OPG                   | Anzahl          | 4167           | 3379 | 7546   |
|                       | % von Modalität | 55,2           | 44,8 | 100,0  |
| Gesamt                | Anzahl          | 5277           | 4403 | 9680   |
|                       | % von Modalität | 54,5           | 45,5 | 100,0  |

Bei Analyse der detaillierten Aufteilung extraoraler Röntgenmodalitäten ergaben sich weitere Unterschiede (s. Tab. 12). Besondere Auffälligkeiten und damit verbundene signifikante Unterschiede lagen bei verschiedenen OPG- Varianten vor. So wurden mit dem OPG- Kiefergelenkprogramm signifikant mehr Mädchen untersucht als Jungen ( $p < 0,001$ ; W=72 %, M= 28 %). Gegenteiliges ergab die Auswertung des OPG-Kind und des OPG-Standard. Bei diesen Verfahren wurden mit 58 % (OPG-Kind) bzw. 56 % (OPG-Standard) signifikant mehr Röntgenaufnahmen von männlichen Patienten angefertigt als von den weiblichen Patienten ( $p < 0,001$ ). Auch OPG-Aufnahmen ohne KG (Kiefergelenk) von 4 Qu. (Quadranten) sind deutlich häufiger bei Jungen zu verzeichnen (55 % vs. 45 %). Weitere deskriptive Unterschiede ergaben das OPG - ohne KG 2 Qu. und das DVT nur UK. Mittels dieser Verfahren wurden Mädchen geringfügiger häufiger (OPG - ohne KG 2 Qu.= 51 %, n = 24) beziehungsweise alleinig (DVT nur

UK= 100 %, n = 3) untersucht. Eine ausgeglichene Anzahl mit je zehn Untersuchungen ergab die Rubrik der regulären DVT.

**Tab. 12:** Deskriptive Statistik zur absoluten und relativen Häufigkeit der vereinfachten Modalitätenverteilung je Geschlecht (Pat-Geschlecht – Patientengeschlecht [M – männlich, W – weiblich], OPG – Orthopantomogramm, FRS – Fernröntgenseitenbild, DVT – Digitale Volumentomographie)

| Modalität                  |                 | Pat-Geschlecht |       | Gesamt |
|----------------------------|-----------------|----------------|-------|--------|
|                            |                 | M              | W     |        |
| DVT                        | Anzahl          | 10             | 10    | 20     |
|                            | % von Modalität | 50,0           | 50,0  | 100,0  |
| DVT nur OK                 | Anzahl          | 10             | 4     | 14     |
|                            | % von Modalität | 71,4           | 28,6  | 100,0  |
| DVT nur UK                 | Anzahl          | 0              | 3     | 3      |
|                            | % von Modalität | 0,0            | 100,0 | 100,0  |
| FRS                        | Anzahl          | 1090           | 1007  | 2097   |
|                            | % von Modalität | 52,0           | 48,0  | 100,0  |
| OPG - Kiefergelenkprogramm | Anzahl          | 40             | 104   | 144    |
|                            | % von Modalität | 27,8           | 72,2  | 100,0  |
| OPG - Kind                 | Anzahl          | 329            | 238   | 567    |
|                            | % von Modalität | 58,0           | 42,0  | 100,0  |
| OPG - ohne KG 1 Qu.        | Anzahl          | 31             | 17    | 48     |
|                            | % von Modalität | 64,6           | 35,4  | 100,0  |
| OPG - ohne KG 2 Qu.        | Anzahl          | 23             | 24    | 47     |
|                            | % von Modalität | 48,9           | 51,1  | 100,0  |
| OPG - ohne KG 4 Qu.        | Anzahl          | 381            | 316   | 697    |
|                            | % von Modalität | 54,7           | 45,3  | 100,0  |
| OPG - Standard             | Anzahl          | 3363           | 2680  | 6043   |
|                            | % von Modalität | 55,7           | 44,3  | 100,0  |
| Gesamt                     | Anzahl          | 5277           | 4403  | 9680   |
|                            | % von Modalität | 54,5           | 45,5  | 100,0  |

### 5.3 Häufigkeitsverteilung der Indikationsstellungen im Zeitraum von 2011 – 2020

#### 5.3.1 Absolute und relative Häufigkeit der verschiedenen Indikationen

Tabelle 13 gibt eine Übersicht über die Häufigkeit der verschiedenen Indikationen. Ein Drittel (33,8 %) aller extraoralen Röntgenbilder im Zeitraum Januar 2011 bis Juli 2020 bei Kindern und Jugendlichen wurden am UJK aufgrund einer kieferorthopädischen Behandlung angeordnet und durchgeführt. Mit etwa 18 % erfolgte dies zur Überprüfung der Zahnanlage. Die wenigstens Aufnahmen erfolgten hinsichtlich eines prothetischen Zahnersatzes (fünf Aufnahmen) oder bezüglich einer Endo (zwei Aufnahmen).

**Tab. 13:** Deskriptive Statistik zur absoluten und relativen Häufigkeit der Indikation für alle extraoralen Aufnahmeverfahren (KFO – Kieferorthopädie, OP – Operation, Proth. ZE – prothetischer Zahnersatz)

| Indikation         | Häufigkeit | Prozent |
|--------------------|------------|---------|
| Apikale Diagnostik | 92         | 2,0     |
| Endo               | 2          | <0,1    |
| Fokussuche         | 578        | 12,5    |
| Kariesdiagnostik   | 199        | 4,3     |
| KFO                | 1564       | 33,8    |
| OP                 | 878        | 19,0    |
| Proth. ZE          | 5          | 0,1     |
| Trauma             | 470        | 10,1    |
| Zahnanlage         | 844        | 18,2    |
| Gesamt             | 4632       | 100,0   |

### 5.3.2 Verteilung der Indikationen über die Jahre 2011 – 2020

In der nachfolgenden Tabelle (Tab. 14) sind die Häufigkeiten einzelner Indikationen pro Jahr dargestellt. Ersichtlich ist, dass die Indikationen Kariesdiagnostik, KFO und Zahnanlage im Laufe der Jahre häufiger verwendet wurden. Im Jahr 2011 wurden mit der Indikation KFO 116 Röntgenbilder angefertigt. Dies entspricht einer relativen Häufigkeit von 30,5 %. Acht Jahre später hingegen waren es mit 202 Aufnahmen und einer relativen Häufigkeit von 31,6 % deskriptiv deutlich mehr. Diese Veränderung ist jedoch nicht signifikant ( $p=0,088$ ), wohingegen ein signifikanter Anstieg von 52 (13,5 %) auf 132 Aufnahmen (20,6 %) bei der Zahnanlage als Indikationsstellung zu verzeichnen ist ( $p=0,002$ ). Die Kariesdiagnostik steigt von 11 (2,9 %) auf 52 (8,1 %) Röntgenbilder pro Jahr, was ebenfalls als signifikant zu werten ist ( $p < 0,001$ ).

Bei den Rubriken apikale Diagnostik, Fokussuche, OP und Trauma variieren die Häufigkeiten im Laufe der Jahre. Wegen eines Traumas wurde im Jahr 2011 in 46 Fällen (12,1 %) die Indikation zur extraoralen Aufnahme gestellt, vier Jahre später in 38 Fällen (9,6 %) und weitere drei Jahre später 57-mal (10,1 %).



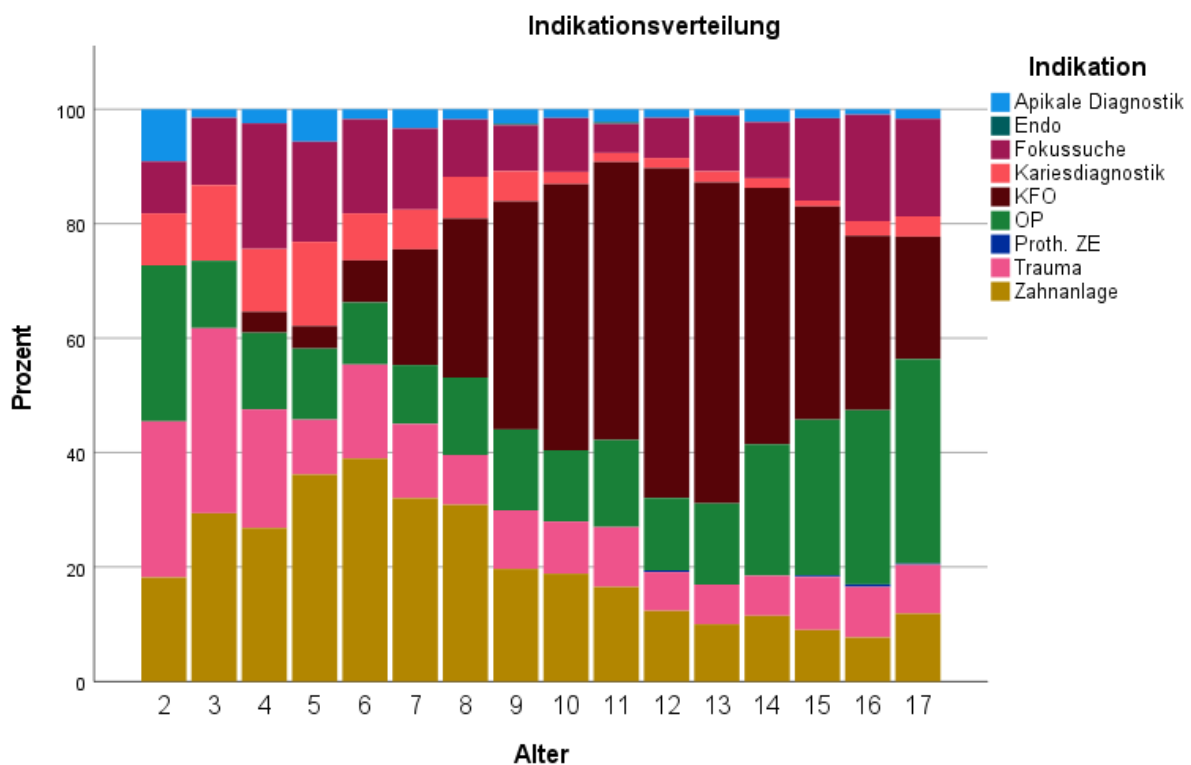
**Tab. 14:** Deskriptive Statistik zur Häufigkeitsverteilung ab Januar 2011 bis Juli 2020 für alle extraoralen Aufnahmeverfahren (KFO – Kieferorthopädie, OP – Operation, Proth. ZE – prothetischer Zahnersatz)

| Jahr   | Indikation         |      |             |                   |     |      |           |        |      |      | Zahn-anlage | Gesamt |
|--------|--------------------|------|-------------|-------------------|-----|------|-----------|--------|------|------|-------------|--------|
|        | Apikale Diagnostik | Endo | Fokus-suche | Karies-diagnostik | KFO | OP   | Proth. ZE | Trauma |      |      |             |        |
| 2011   | Anzahl             | 8    | 1           | 59                | 11  | 116  | 86        | 1      | 46   | 52   | 380         |        |
|        | % von Jahr         | 2,1  | 0,3         | 15,5              | 2,9 | 30,5 | 22,6      | 0,3    | 12,1 | 13,7 | 100,0       |        |
| 2012   | Anzahl             | 10   | 0           | 44                | 4   | 120  | 63        | 0      | 47   | 60   | 348         |        |
|        | % von Jahr         | 2,9  | 0,0         | 12,6              | 1,1 | 34,5 | 18,2      | 0,0    | 13,5 | 17,2 | 100,0       |        |
| 2013   | Anzahl             | 7    | 0           | 58                | 10  | 135  | 84        | 1      | 41   | 74   | 410         |        |
|        | % von Jahr         | 1,7  | 0,0         | 14,2              | 2,5 | 32,9 | 20,5      | 0,2    | 10,0 | 18,0 | 100,0       |        |
| 2014   | Anzahl             | 4    | 0           | 53                | 8   | 130  | 73        | 0      | 47   | 81   | 396         |        |
|        | % von Jahr         | 1,0  | 0,0         | 13,4              | 2,0 | 32,8 | 18,4      | 0,0    | 11,9 | 20,5 | 100,0       |        |
| 2015   | Anzahl             | 16   | 0           | 44                | 16  | 138  | 76        | 1      | 38   | 67   | 396         |        |
|        | % von Jahr         | 4,0  | 0,0         | 11,1              | 4,1 | 34,8 | 19,2      | 0,3    | 9,6  | 16,9 | 100,0       |        |
| 2016   | Anzahl             | 5    | 0           | 51                | 27  | 164  | 100       | 1      | 46   | 82   | 476         |        |
|        | % von Jahr         | 1,1  | 0,0         | 10,7              | 5,6 | 34,5 | 21,0      | 0,2    | 9,7  | 17,2 | 100,0       |        |
| 2017   | Anzahl             | 14   | 1           | 94                | 13  | 198  | 99        | 0      | 57   | 129  | 605         |        |
|        | % von Jahr         | 2,3  | 0,2         | 15,5              | 2,2 | 32,7 | 16,4      | 0,0    | 9,4  | 21,3 | 100,0       |        |
| 2018   | Anzahl             | 15   | 0           | 58                | 24  | 189  | 107       | 0      | 57   | 116  | 566         |        |
|        | % von Jahr         | 2,7  | 0,0         | 10,2              | 4,2 | 33,4 | 18,9      | 0,0    | 10,1 | 20,5 | 100,0       |        |
| 2019   | Anzahl             | 8    | 0           | 74                | 52  | 202  | 106       | 1      | 65   | 132  | 640         |        |
|        | % von Jahr         | 1,2  | 0,0         | 11,5              | 8,1 | 31,6 | 16,6      | 0,2    | 10,2 | 20,6 | 100,0       |        |
| 2020   | Anzahl             | 5    | 0           | 43                | 34  | 172  | 84        | 0      | 26   | 51   | 415         |        |
|        | % von Jahr         | 1,2  | 0,0         | 10,4              | 8,2 | 41,4 | 20,2      | 0,0    | 6,3  | 12,3 | 100,0       |        |
| Gesamt | Anzahl             | 92   | 2           | 578               | 199 | 1564 | 878       | 5      | 470  | 844  | 4632        |        |
|        | % von Jahr         | 2,0  | 0,0         | 12,5              | 4,3 | 33,8 | 19,0      | 0,1    | 10,1 | 18,2 | 100,0       |        |

### 5.3.3 Verteilung der Indikationen über das Lebensalter von 0 – 18

Abbildung 3 veranschaulicht prozentuale Veränderungen der Indikationsstellung über die ersten achtzehn Lebensjahre. Bei Kindern unter zwei Jahren wurden keine extraoralen Aufnahmen angefertigt.

Indikationsstellungen aus der Kieferorthopädie waren bei Patienten im Alter von 12 – 13 Jahren am häufigsten. Nachfolgend gewinnt die Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie an Bedeutung, infolge derer die Indikation OP häufiger Verwendung findet. Röntgenaufnahmen zur Diagnostik von Zahnanlagen wurden vor allem im ersten Lebensjahrzehnt durchgeführt. Der Auftrag zur Anfertigung extraoraler Röntgenaufnahmen erging im Rahmen der Kariesdiagnostik im Alter von 10 – 15 Jahren prozentual weniger häufig.



**Abb. 3:** Graphische Darstellung zur Indikationsverteilung über die ersten 18 Lebensjahre (KFO – Kieferorthopädie, OP – Operation, Proth. ZE – prothetischer Zahnersatz)

### 5.3.4 Modalitätenbezogene Indikationsverteilung

Tabelle 15 gibt Aufschluss darüber, welche Modalität für die vereinzelt Indikationsstellungen hauptsächlich verwendet wurde. Das FRS wurde mit 97,6 % fast ausschließlich für kieferorthopädische Indikationsstellungen eingesetzt. Jeweils etwa 50 % der Röntgenaufnahmen mit der Indikation KFO verteilen sich auf FRS und OPG.

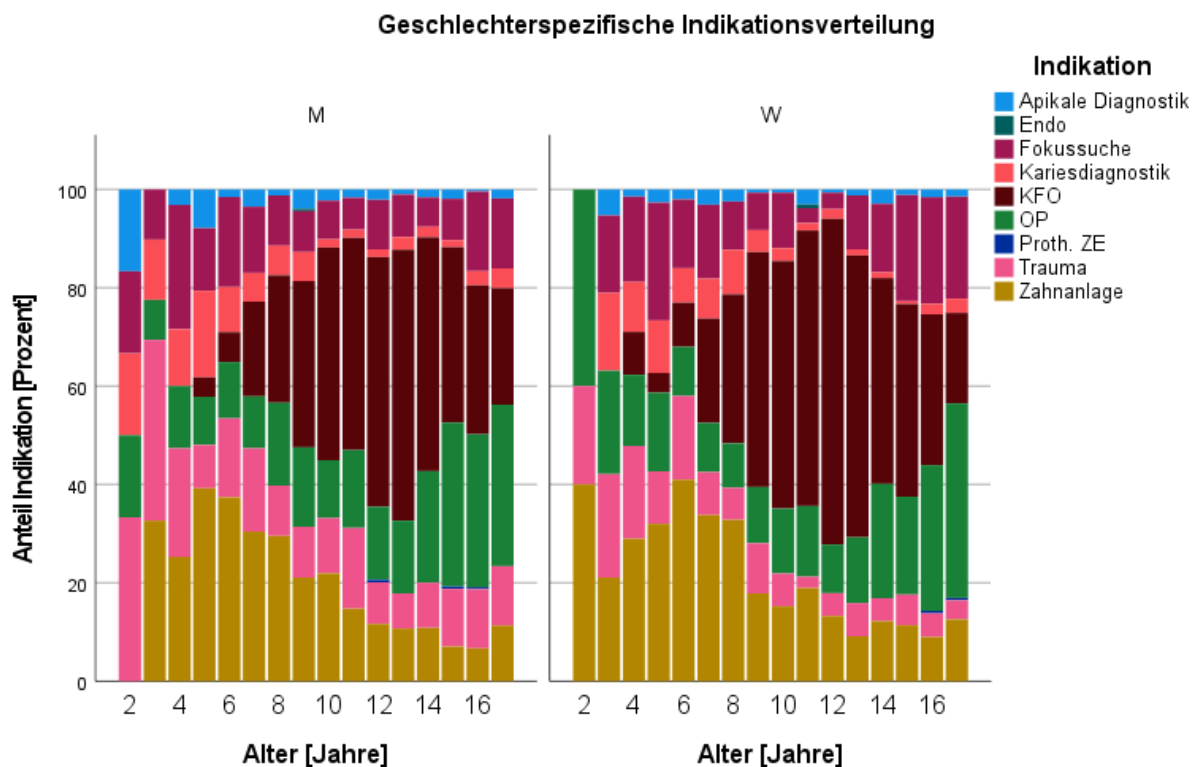
Das OPG wird des Weiteren für die Fragestellungen Fokussuche (15 %), OP (22,6 %), Zahnanlage (21,5 %) und Trauma (12,4 %) verwendet. Weitere Indikationen sind die apikale Diagnostik, Endo, Kariesdiagnostik und der prothetische Zahnersatz. Das OPG umfasst demzufolge das größte Indikationsspektrum. Das DVT wurde überwiegend für Aufnahmen mit der Fragestellung Zahnanlage angefertigt (68,6 %). Die Fokussuche folgte in der Häufigkeit mit 14,3 %.

**Tab. 15:** Deskriptive Statistik zur modalitätenbezogenen (vereinfacht) Indikationsstellung (KFO – Kieferorthopädie, OP – Operation, Proth. ZE – prothetischer Zahnersatz)

| Indikation         |                  | Modalität vereinfacht |       |       | Gesamt |
|--------------------|------------------|-----------------------|-------|-------|--------|
|                    |                  | DVT                   | FRS   | OPG   |        |
| Apikale Diagnostik | Anzahl           | 1                     | 0     | 91    | 92     |
|                    | % von Indikation | 1,1                   | 0,0   | 98,9  | 100,0  |
|                    | % von Modalität  | 2,8                   | 0,0   | 2,4   | 2,0    |
| Endo               | Anzahl           | 0                     | 0     | 2     | 2      |
|                    | % von Indikation | 0,0                   | 0,0   | 100,0 | 100,0  |
|                    | % von Modalität  | 0,0                   | 0,0   | 0,1   | 0,0    |
| Fokussuche         | Anzahl           | 5                     | 1     | 572   | 578    |
|                    | % von Indikation | 0,9                   | 0,1   | 99,0  | 100,0  |
|                    | % von Modalität  | 14,3                  | 0,1   | 15,0  | 12,5   |
| Kariesdiagnostik   | Anzahl           | 0                     | 0     | 199   | 199    |
|                    | % von Indikation | 0,0                   | 0,0   | 100,0 | 100,0  |
|                    | % von Modalität  | 0,0                   | 0,0   | 5,2   | 4,3    |
| KFO                | Anzahl           | 2                     | 776   | 786   | 1564   |
|                    | % von Indikation | 0,1                   | 49,6  | 50,3  | 100,0  |
|                    | % von Modalität  | 5,7                   | 97,6  | 20,7  | 33,8   |
| OP                 | Anzahl           | 3                     | 16    | 859   | 878    |
|                    | % von Indikation | 0,4                   | 1,8   | 97,8  | 100,0  |
|                    | % von Modalität  | 8,6                   | 2,0   | 22,6  | 19,0   |
| Proth. ZE          | Anzahl           | 0                     | 0     | 5     | 5      |
|                    | % von Indikation | 0,0                   | 0,0   | 100,0 | 100,0  |
|                    | % von Modalität  | 0,0                   | 0,0   | 0,1   | 0,1    |
| Trauma             | Anzahl           | 0                     | 0     | 470   | 470    |
|                    | % von Indikation | 0,0                   | 0,0   | 100,0 | 100,0  |
|                    | % von Modalität  | 0,0                   | 0,0   | 12,4  | 10,1   |
| Zahnanlage         | Anzahl           | 24                    | 2     | 818   | 844    |
|                    | % von Indikation | 2,8                   | 0,3   | 96,9  | 100,0  |
|                    | % von Modalität  | 68,6                  | 0,3   | 21,5  | 18,2   |
| Gesamt             | Anzahl           | 35                    | 795   | 3802  | 4632   |
|                    | % von Indikation | 0,8                   | 17,1  | 82,1  | 100,0  |
|                    | % von Modalität  | 100,0                 | 100,0 | 100,0 | 100,0  |

### 5.3.5 Geschlechterspezifische Indikationsverteilung

Abbildung 4 zeigt für die Indikationsverteilung bei Jungen und Mädchen ein ähnliches Bild. Auffällig ist, dass Mädchen im Rahmen der Kieferorthopädie bereits im Alter von vier Jahren mit extraoralen Röntgenaufnahmen untersucht wurden. Die Fragestellungen bezogen sich zum einen überwiegend auf die Anfangs-/Abschlussdiagnostik mit Beurteilung der Zahnstellung und des Wachstumsmusters und zum anderen auf den Zahnstatus mit Schwerpunkt auf impaktierte/verlagerte/fehlende Zähne. Bei Jungen wurde die Indikation Kieferorthopädie erstmalig im Alter von fünf Jahren gestellt. Die Indikation für extraorale Aufnahmen bei Jungen aufgrund eines Traumas oder zur Fokussuche erfolgte bereits im Alter von zwei Jahren.



**Abb. 4:** Graphische Darstellung zur geschlechterspezifischen Indikationsverteilung über die ersten 18 Lebensjahre (M – männlich, W – weiblich, KFO – Kieferorthopädie, OP – Operation, Proth. ZE – prothetischer Zahnersatz)

Die Verteilung der Indikationshäufigkeiten innerhalb eines Geschlechtes ist bei Jungen und Mädchen überwiegend vergleichbar (s. Tabelle 16). Eine Auffälligkeit stellt aber auch hier die KFO- Indikation bei den Mädchen dar. Diese nimmt geschlechterintern mit 36,4 % einen höheren prozentualen Anteil ein als bei den Jungen (31,7 %).

Dementgegen wurden Jungen prozentual häufiger aufgrund eines Traumas geröntgt (12,5 % vs. 7,2 %).

Vergleicht man die Indikationshäufigkeiten geschlechterübergreifend, so ist zu erkennen, dass bei Jungen alle Indikationsrubriken deskriptiv häufiger gestellt wurden als bei Mädchen. Signifikante Häufigkeitsunterschiede seitens der männlichen Patienten gibt es zudem bei den Indikationen apikale Diagnostik ( $p = 0,047$ ), Kariesdiagnostik ( $p = 0,007$ ), OP ( $p < 0,001$ ), Trauma ( $p < 0,001$ ) und Zahnanlage ( $p = 0,004$ ).

**Tab. 16:** Deskriptive Statistik zur geschlechterspezifischen Indikationsstellung (Pat-Geschlecht – Patientengeschlecht [M – männlich, W – weiblich], KFO – Kieferorthopädie, OP – Operation, Proth. ZE – prothetischer Zahnersatz)

|                    |                      | Pat-Geschlecht |       | Gesamt |
|--------------------|----------------------|----------------|-------|--------|
|                    |                      | M              | W     |        |
| Apikale Diagnostik | Anzahl               | 56             | 36    | 92     |
|                    | % von Indikation     | 60,9           | 39,1  | 100,0  |
|                    | % von Pat-Geschlecht | 2,2            | 1,8   | 2,0    |
| Endo               | Anzahl               | 1              | 1     | 2      |
|                    | % von Indikation     | 50,0           | 50,0  | 100,0  |
|                    | % von Pat-Geschlecht | 0,0            | 0,0   | 0,0    |
| Fokussuche         | Anzahl               | 293            | 285   | 578    |
|                    | % von Indikation     | 50,7           | 49,3  | 100,0  |
|                    | % von Pat-Geschlecht | 11,3           | 13,9  | 12,5   |
| Kariesdiagnostik   | Anzahl               | 119            | 80    | 199    |
|                    | % von Indikation     | 59,8           | 40,2  | 100,0  |
|                    | % von Pat-Geschlecht | 4,6            | 3,9   | 4,3    |
| KFO                | Anzahl               | 819            | 745   | 1564   |
|                    | % von Indikation     | 52,4           | 47,6  | 100,0  |
|                    | % von Pat-Geschlecht | 31,7           | 36,4  | 33,8   |
| OP                 | Anzahl               | 506            | 372   | 878    |
|                    | % von Indikation     | 57,6           | 42,4  | 100,0  |
|                    | % von Pat-Geschlecht | 19,6           | 18,2  | 19,0   |
| Proth. ZE          | Anzahl               | 3              | 2     | 5      |
|                    | % von Indikation     | 60,0           | 40,0  | 100,0  |
|                    | % von Pat-Geschlecht | 0,1            | 0,1   | 0,1    |
| Trauma             | Anzahl               | 322            | 148   | 470    |
|                    | % von Indikation     | 68,5           | 31,5  | 100,0  |
|                    | % von Pat-Geschlecht | 12,5           | 7,2   | 10,1   |
| Zahnanlage         | Anzahl               | 464            | 380   | 844    |
|                    | % von Indikation     | 55,0           | 45,0  | 100,0  |
|                    | % von Pat-Geschlecht | 18,0           | 18,5  | 18,2   |
| Gesamt             | Anzahl               | 2583           | 2049  | 4632   |
|                    | % von Indikation     | 55,8           | 44,2  | 100,0  |
|                    | % von Pat-Geschlecht | 100,0          | 100,0 | 100,0  |

## 5.4 Berechnung des mittleren Patientenalters

### 5.4.1 Mittleres Patientenalter je Modalität und Geschlecht (2002 – 2020)

Die Berechnung des Mittelwertes des Alters mit Minimum, Maximum und Standardabweichung je Modalität ist in den Tabellen 17 und 18 dargestellt. Ein geschlechterunabhängiger signifikanter Unterschied in der vereinfachten Modalitätendarstellung besteht ausschließlich zwischen dem OPG und dem FRS ( $p < 0,001$ ) mit einer Differenz von 0,65 Jahren (95% Konfidenzintervall: Untergrenze = 0,46 J., Obergrenze = 0,85 J.). Mittelwertig sind die Kinder bei einer DVT-Aufnahme mit 12,8 Jahren am ältesten, bezogen auf die vereinfachte Modalitätendarstellung (Minimum: 5,3 J., Maximum: 17,3 J., Standardabweichung: 2,8). Ein um 0,2 Jahre (circa 2,5 Monate) geringerer Mittelwert liegt bei FRS-Aufnahmen vor (Minimum: 2,8 J., Maximum: 18,0 J., Standardabweichung: 3,3 J.). Der Alters-Mittelwert bei Anfertigung des OPG ist mit 12 Jahren am geringsten. Das OPG bietet jedoch einige verschiedene Aufnahmemöglichkeiten. Berücksichtigt man diese, ergibt sich ein breites Altersspektrum für die verschiedenen Programme von 2,2 bis zu 18,0 Jahren (Standardabweichung: 4,3). Folglich sind die Patienten beim OPG-Standard-Programm im Mittel 12,7 Jahre, jedoch beim OPG-Kiefergelenksprogramm fast drei Jahre älter. Am jüngsten sind die Kinder bei den Aufnahme-Typen OPG–Kind mit 5,5 Jahren und OPG–ohne Kiefergelenk 4 Quadranten mit 9,6 Jahren.

Geschlechterbezogen zeigt sich, dass die Mädchen in der vereinfachten Modalitätendarstellung beim DVT mit 14 Jahren ( $p = 0,02$ ) und beim OPG mit 12,1 Jahren ( $p = 0,02$ ) signifikant älter waren als die Jungen (11,8 Jahre bei DVT und OPG). Beim FRS gibt es mit einem Altersmittelwert von 12,5 Jahren für die Mädchen und 12,7 Jahren bei den Jungen keinen signifikanten Unterschied ( $p = 0,289$ ). Deskriptive Altersunterschiede sind bei allen Modalitäten zu erkennen. Überwiegend waren die Mädchen bei allen Aufnahmetypen im Mittelwert älter als die Jungen, wie in Tabelle 17 zu sehen ist. Ausnahme bildet neben dem FRS das OPG ohne Kiefergelenk nur eines (Kiefer-) Quadranten, wobei der Mittelwert in beiden Geschlechtern bei knapp dreizehn Jahren lag.

Die statistische Auswertung unter Betrachtung aller Röntgenaufnahmen unabhängig von der Modalität ergab, dass die Mädchen mit  $12,2 \pm 4,0$  Jahren signifikant älter waren als die Jungen mit  $12,0 \pm 4,1$  Jahren ( $p = 0,008$ ; 95 % Konfidenzintervall: Untergrenze = 0,059 J., Obergrenze = 0,385 J.)

**Tab. 17:** Mittelwertmodell zum Durchschnittsalter je Modalität und Geschlecht (Pat- Geschlecht – Patientengeschlecht [M – männlich, W – weiblich], (OPG – Orthopantomogramm [KG – Kiefergelenk, Qu. – Kieferquadrant], FRS – Fernröntgenseitenbild, DVT – Digitale Volumentomographie)

| Pat- Geschlecht | Modalität                  | Mittelwert in Jahren | Standardabweichung | Minimum in Jahren | Maximum in Jahren |
|-----------------|----------------------------|----------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| M               | DVT                        | 12,3                 | 3,1                | 7,3               | 16,0              |
|                 | DVT nur OK                 | 11,4                 | 2,7                | 5,3               | 14,5              |
|                 | FRS                        | 12,7                 | 3,3                | 3,0               | 18,0              |
|                 | OPG - Kiefergelenkprogramm | 14,8                 | 3,6                | 4,9               | 18,0              |
|                 | OPG - Kind                 | 5,3                  | 2,0                | 2,2               | 13,2              |
|                 | OPG - ohne KG 1 Qu.        | 13,0                 | 5,1                | 3,2               | 17,7              |
|                 | OPG - ohne KG 2 Qu.        | 16,3                 | 1,8                | 12,6              | 18,0              |
|                 | OPG - ohne KG 4 Qu.        | 9,5                  | 3,4                | 2,9               | 18,0              |
|                 | OPG - Standard             | 12,6                 | 3,9                | 2,2               | 18,0              |
|                 | Insgesamt                  |                      | 12,0               | 4,1               | 2,2               |
| W               | DVT                        | 13,5                 | 2,7                | 8,0               | 16,7              |
|                 | DVT nur OK                 | 14,5                 | 0,45               | 14,1              | 15,1              |
|                 | DVT nur UK                 | 14,9                 | 2,7                | 12,0              | 17,3              |
|                 | FRS                        | 12,5                 | 3,3                | 2,8               | 18,0              |
|                 | OPG - Kiefergelenkprogramm | 15,9                 | 2,2                | 4,3               | 18,0              |
|                 | OPG - Kind                 | 5,8                  | 2,3                | 2,2               | 15,2              |
|                 | OPG - ohne KG 1 Qu.        | 13,0                 | 4,702              | 3,9               | 17,5              |
|                 | OPG - ohne KG 2 Qu.        | 16,5                 | 1,608              | 10,8              | 17,9              |
|                 | OPG - ohne KG 4 Qu.        | 9,6                  | 3,4                | 2,8               | 18,0              |
|                 | OPG - Standard             | 12,8                 | 3,8                | 2,5               | 18,0              |
| Insgesamt       |                            | 12,2                 | 4,0                | 2,2               | 18,0              |
| Insgesamt       | DVT                        | 12,9                 | 2,9                | 7,3               | 16,7              |
|                 | DVT nur OK                 | 12,3                 | 2,7                | 5,3               | 15,1              |
|                 | DVT nur UK                 | 14,9                 | 2,7                | 12,0              | 17,3              |
|                 | FRS                        | 12,6                 | 3,3                | 2,8               | 18,0              |
|                 | OPG - Kiefergelenkprogramm | 15,6                 | 2,7                | 4,3               | 18,0              |
|                 | OPG - Kind                 | 5,5                  | 2,2                | 2,2               | 15,2              |
|                 | OPG - ohne KG 1 Qu.        | 13,0                 | 4,9                | 3,2               | 17,7              |
|                 | OPG - ohne KG 2 Qu.        | 16,47                | 1,7                | 10,8              | 18,0              |
|                 | OPG - ohne KG 4 Qu.        | 9,6                  | 3,4                | 2,8               | 18,0              |
|                 | OPG - Standard             | 12,0                 | 3,96               | 2,2               | 18,0              |
| Insgesamt       |                            | 12,1                 | 4,1                | 2,2               | 18,0              |

**Tab. 18:** Mittelwertmodell zum Durchschnittsalter je vereinfachter Modalität und Geschlecht (Pat-Geschlecht – Patientengeschlecht [M – männlich, W – weiblich], OPG – Orthopantomogramm, FRS – Fernröntgenseitenbild, DVT – Digitale Volumentomographie)

| Pat-Geschlecht | Modalität vereinfacht | Mittelwert in Jahren | Standardabweichung | Minimum in Jahren | Maximum in Jahren |
|----------------|-----------------------|----------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| M              | DVT                   | 11,8                 | 2,8                | 5,3               | 16,0              |
|                | FRS                   | 12,7                 | 3,3                | 3,0               | 18,0              |
|                | OPG                   | 11,8                 | 4,3                | 2,2               | 18,0              |
|                | Insgesamt             | 12,0                 | 4,1                | 2,2               | 18,0              |
| W              | DVT                   | 14,0                 | 2,4                | 8,0               | 17,3              |
|                | FRS                   | 12,5                 | 3,2                | 2,8               | 18,0              |
|                | OPG                   | 12,1                 | 4,2                | 2,2               | 18,0              |
|                | Insgesamt             | 12,2                 | 4,0                | 2,2               | 18,0              |
| Insgesamt      | DVT                   | 12,8                 | 2,8                | 5,3               | 17,3              |
|                | FRS                   | 12,6                 | 3,3                | 2,8               | 18,0              |
|                | OPG                   | 12,0                 | 4,3                | 2,2               | 18,0              |
|                | Insgesamt             | 12,1                 | 4,1                | 2,2               | 18,0              |

#### 5.4.2 Mittleres Patientenalter je Indikation und Geschlecht (2011 – 2020)

Betrachtet man das Alter in Bezug zur Indikation (Tab. 19), zeigt sich der jüngste Mittelwert bei Röntgenaufnahmen zur Kariesdiagnostik. Die Kinder waren dabei durchschnittlich 9,2 Jahre alt. Etwas älter waren sie im Mittel bei Aufnahmen zu kieferorthopädischen Zwecken (12,7 J.) und am ältesten bei Röntgenaufnahmen, die im Zusammenhang mit einem prothetischen Zahnersatz standen (15,7 J.).

Die geschlechterbezogene Auswertung ergab, dass die weiblichen Patienten bei Röntgenaufnahmen mit den Indikationsstellungen Apikale Diagnostik, Endo, Zahnanlage, OP und Proth. ZE deskriptiv und bei der Indikation Fokussuche auch signifikant ( $p = 0,005$ ) älter waren als die männlichen (Rubriken Endo und proth. ZE nur bedingt aussagekräftig, da die Stichprobe sehr klein ist). Demgegenüber waren die Jungen sowohl bei Röntgenaufnahmen im Rahmen der KFO ( $p = 0,011$ ) als auch bei Aufnahmen infolge eines Traumas ( $p = 0,042$ ) signifikant älter. Ein lediglich deskriptiver Unterschied zum höheren Alter von männlichen Patienten bestand bei der Kariesdiagnostik (9,3 vs. 9,1 Jahre).



**Tab. 19:** Mittelwertmodell zum Durchschnittsalter je Indikation (Pat- Geschlecht – Patientengeschlecht [M – männlich, W – weiblich], KFO – Kieferorthopädie, OP – Operation, Proth. ZE – prothetischer Zahnersatz)

| Pat- Geschlecht | Indikation         | Mittelwert in Jahren | Standardabweichung | Minimum in Jahren | Maximum in Jahren |
|-----------------|--------------------|----------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| M               | Apikale Diagnostik | 10,3                 | 4,1                | 2,9               | 17,9              |
|                 | Endo               | 9,9                  | 0,0                | 9,9               | 9,9               |
|                 | Fokussuche         | 11,4                 | 4,6                | 2,6               | 18,0              |
|                 | Kariesdiagnostik   | 9,3                  | 4,5                | 2,3               | 17,9              |
|                 | KFO                | 12,9                 | 2,9                | 5,0               | 18,0              |
|                 | OP                 | 13,3                 | 3,9                | 2,9               | 18,0              |
|                 | Proth. ZE          | 14,8                 | 2,1                | 12,4              | 16,1              |
|                 | Trauma             | 11,0                 | 4,5                | 2,5               | 18,0              |
|                 | Zahnanlage         | 9,8                  | 3,9                | 3,0               | 18,0              |
|                 | Insgesamt          | 11,8                 | 4,1                | 2,3               | 18,0              |
| W               | Apikale Diagnostik | 11,3                 | 4,2                | 3,5               | 17,8              |
|                 | Endo               | 11,9                 | 0,0                | 11,9              | 11,9              |
|                 | Fokussuche         | 12,5                 | 4,4                | 3,4               | 18,0              |
|                 | Kariesdiagnostik   | 9,1                  | 4,0                | 3,3               | 17,8              |
|                 | KFO                | 12,5                 | 2,9                | 4,1               | 18,0              |
|                 | OP                 | 13,4                 | 4,1                | 2,5               | 18,0              |
|                 | Proth. ZE          | 17,0                 | 0,2                | 16,8              | 17q7              |
|                 | Trauma             | 10,1                 | 4,2                | 2,8               | 17,7              |
|                 | Zahnanlage         | 10,1                 | 4,0                | 2,8               | 18,0              |
|                 | Insgesamt          | 11,9                 | 3,9                | 2,5               | 18,0              |
| Insgesamt       | Apikale Diagnostik | 10,6                 | 4,2                | 2,9               | 17,9              |
|                 | Endo               | 10,9                 | 1,4                | 9,9               | 11,9              |
|                 | Fokussuche         | 11,9                 | 4,5                | 2,6               | 18,0              |
|                 | Kariesdiagnostik   | 9,2                  | 4,3                | 2,3               | 17,9              |
|                 | KFO                | 12,7                 | 2,9                | 4,1               | 18,0              |
|                 | OP                 | 13,3                 | 4,0                | 2,5               | 18,0              |
|                 | Proth. ZE          | 15,7                 | 1,9                | 12,4              | 17,1              |
|                 | Trauma             | 10,7                 | 4,4                | 2,5               | 18,0              |
|                 | Zahnanlage         | 9,9                  | 3,9                | 2,8               | 18,0              |
|                 | Insgesamt          | 11,8                 | 4,0                | 2,3               | 18,0              |

## 6. Diskussion

### 6.1 Qualität der ausgewerteten Daten

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, extraorale Röntgenverfahren von Kindern und Jugendlichen bis zum Alter von 18 Jahren im Zeitraum Januar 2002 bis Juli 2020 zu analysieren. Es sollten neben dem Ausmaß der Strahlenbelastung die Häufigkeitsverteilungen und Indikationsstellungen genauer evaluiert werden. Bislang existieren nur wenige Publikationen, die sich dem Thema Indikationen und Strahlenexposition bei zahnmedizinischen extraoralen Röntgenverfahren von Kindern und Jugendlichen numerisch widmen. Eine vergleichende Auswertung der hier vorliegenden Studienergebnisse ist daher nur stark eingeschränkt möglich.

#### 6.1.1 Dosiswerte

Zur Ermittlung geeigneter Konversionsfaktoren (KF) für die Bestimmung der effektiven Dosis (ED) wurde die Arbeit von Gosch et al. aus dem Jahr 2007 vom Universitätsklinikum Leipzig berücksichtigt (Gosch et al. 2007). In einer älteren Veröffentlichung von Williams und Montgomery wurde zur Bestimmung der effektiven Dosis eines OPG ein KF von  $0,06 \text{ mSv/ (Gy x cm}^2\text{)}$  verwendet (Williams und Montgomery 2000). Looe et al. beschäftigten sich unter Berücksichtigung der Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (International Commission on Radiological Protection/ICRP) mit dem KF beim FRS und beim OPG (Looe et al. 2007, Looe et al. 2008). Mit dem KF für die DVT haben sich 2021 Mah et al. auseinandergesetzt (Mah et al. 2021). Alle Arbeiten kamen zu vergleichbaren Ergebnissen für die Konversionsfaktoren bei extraoralen Röntgenverfahren [FRS =  $0,042 - 0,149 \text{ mSv/ (Gy x cm}^2\text{)}$ ; OPG =  $0,008 - 0,132 \text{ mSv/ (Gy x cm}^2\text{)}$ ; DVT =  $0,035 - 0,31 \text{ mSv/ (Gy x cm}^2\text{)}$ ]. Die OPG-KF aus der Veröffentlichung von Looe et al. bildeten die Grundlage für die 2018 in Graz verfasste Dissertation von Schwabl. Die darin enthaltenen Untersuchungen und Berechnungen zu OPG-Aufnahmen ergaben für das Röntgengerät Promax 3D Max bei Kindern und Jugendlichen eine effektive Dosis zwischen  $10 - 14 \mu\text{Sv}$  und für das Orthophos XG 3D zwischen  $39 - 54 \mu\text{Sv}$ . Die entsprechenden Dosisangaben für adulte Patientengrößen lagen bei  $24 - 36 \mu\text{Sv}$  bzw.  $94 - 127 \mu\text{Sv}$ . Am UKJ werden für OPG- Aufnahmen derzeit die Geräte Orthophos XG Plus DS in der Zahnklinik (Innenstadt) und das Orthophos XG 3D Ready Ceph im Klinikum (Lobeda) verwendet. Die bei den Kindern und Jugendlichen in der vorliegenden Arbeit erhobenen effektiven Dosen liegen mit

1,5 - 7  $\mu\text{Sv}$  deutlich unter den ermittelten Dosen für ein Orthophos-Gerät aus der Arbeit von Schwabl und gleichen eher den Effektivdosiswerten eines Promax3D Max. Zudem ermittelte Schwabl die Effektivdosiswerte bei einer DVT und kam zu folgenden Ergebnissen (FoV in mm in Klammern dahinter) für Kinder und Jugendliche: Planmeca Promax 3DMax: 2 - 34  $\mu\text{Sv}$  (50 x 55), 4 - 69  $\mu\text{Sv}$  (100 x 55), 6 - 108  $\mu\text{Sv}$  (100 x 90), 9 - 103  $\mu\text{Sv}$  (100 x 130), 3 - 34  $\mu\text{Sv}$  (130 x 55), 5 - 55  $\mu\text{Sv}$  (130 x 90), 21 - 315  $\mu\text{Sv}$  (230 x 160), 38 - 531  $\mu\text{Sv}$  (230 x 260) und Orthophos XG 3D: 15 - 52  $\mu\text{Sv}$  (80 x 80), 6 - 21  $\mu\text{Sv}$  (50 x 55). Für die DVT wird am UKJ aktuell das Galileos Röntgengerät der Firma Sirona verwendet. Die ermittelten Effektivdosiswerte am UKJ befinden sich mit 22,5  $\mu\text{Sv}$  (25 x 12,5), 30  $\mu\text{Sv}$  (25 x 8) und 33,8  $\mu\text{Sv}$  (25 x 7) im oberen Bereich der von Schwabl ermittelten Dosen, wobei ein Vergleich aufgrund der verschiedenen Geräte und Feldgrößen nur bedingt aussagekräftig ist. Vergleicht man die Angaben zur Effektivdosis bei der DVT mit der Metaanalyse von Ludlow et al., die 519 bzw. 743 Veröffentlichungen aus PubMed und EMBASE analysierten, wird die große Streubreite der ED bei den aktuell noch verfügbaren DVT-Einheiten deutlich (Ludlow et al. 2015). In den letztlich 20 in die Metaanalyse eingegangenen Studien lagen die effektiven Kinderdosen zwischen 13 - 769  $\mu\text{Sv}$  für große oder mittlere FoVs (> 15 cm Höhe/ 10 - 15 cm Höhe) und 7 - 521  $\mu\text{Sv}$  für kleine FoVs (<10 cm Höhe).

Werden die in der vorliegenden Arbeit erhobenen Dosiswerte extraoraler zahnmedizinischer Röntgenaufnahmen mit anderen Anwendungen im humanmedizinischen Bereich verglichen, so liegen die Einzeldosiswerte für extraorale Aufnahmen erwartungsgemäß im Niedrigdosisbereich. Beispielsweise liegt die ED bei einer Röntgenaufnahme des Bauchraumes laut Bundesamt für Strahlenschutz mit 0,4 mSv deutlich höher (Bundesamt für Strahlenschutz 2022). Das entspricht ungefähr der 60-fachen ED einer OPG-Standardaufnahme, die entsprechend den Daten dieser Studie bei 0,007 mSv lag. Die Zahnmedizin nimmt zwar laut dem Bundesamt für Strahlenschutz (Jahr 2018) mit 39 % den durchschnittlich größten Teil an numerischen Röntgenaufnahmen im Laufe eines Patientenlebens ein, jedoch ist der Anteil an der kollektiven effektiven Dosis mit 0,3 % am geringsten.

Jede Einzelperson in Deutschland ist einer natürlichen Strahlenexposition von 2,1 mSv im Jahr ausgesetzt (Bundesamt für Strahlenschutz 2022). Zum Vergleich könnte man 300 OPG-Standard- Aufnahmen durchführen, bis diese Dosis erreicht ist. Insgesamt betrachtet ist die Strahlenbelastung durch das zahnmedizinische Röntgen gegenüber

anderen Strahlenquellen auch weiterhin als gering einzuschätzen. Die Hypothese H1<sub>0</sub> ist damit bestätigt.

Es muss aber davon ausgegangen werden, dass die Patienten in unterschiedlicher Häufigkeit geröntgt werden und somit kumulativ doch ein relevanter Dosisanteil entsteht, der vor allem bei Kindern aufgrund anatomischer Gegebenheiten, höherer Strahlensensitivität und höherer Lebenserwartung besonders zu berücksichtigen ist. Die Anzahl extraoraler Röntgenaufnahmen pro Patienten und die damit steigende kumulative Dosis wurden in der vorliegenden Arbeit nicht explizit untersucht und berücksichtigt. Es ist zu bedenken, dass jede Exposition das stochastische Risiko der Krebsentstehung erhöht (Scarfe et al 2017), auch wenn die Dosis der einzelnen Aufnahme als gering einzuschätzen ist. Des Weiteren muss bedacht werden, dass das Dosisflächenprodukt gemittelt und die effektive Dosis mit einem ungefähren Konversionsfaktor errechnet wurde, da nicht alle Werte vollständig und/oder korrekt im System hinterlegt waren. Grund für die unvollständige Dosisdokumentation könnte die bislang erforderliche manuelle Eingabe ins System durch das Personal sein. Bei Modalitäten mit höherer Strahlendosis, wie bei der Computertomographie, Mammografie oder Angiografie, gibt es mittlerweile Dosismanagementprogramme wie z.B. DoseWatch (GE Healthcare), eXposure (Bayer Healthcare) oder DoseMAP (Siemens Healthineers). Solch ein Programm sendet während und nach der Untersuchung die Dosisdaten vollautomatisch an das RIS, sodass manuellen Eingabebefehlen vorgebeugt und eine adäquate Überwachung zur Einhaltung von Grenzwerten ermöglicht wird. Kumulative Dosen durch mehrfaches Röntgen eines Patienten werden registriert und können jederzeit durch den Behandler aufgerufen werden (Euler et al. 2014, Grunert 2019).

Trotz der geringen Strahlenbelastung extraoraler Röntgenaufnahmen müssen nach wie vor die drei Grundprinzipien des Strahlenschutzes, Rechtfertigung, ALARA und Dosisgrenzwerte gewahrt werden. Dies bedeutet für den Zahnarzt neben der kritischen Prüfung der rechtfertigenden Indikation die Verpflichtung, die Strahlendosis sowohl für den Patienten als auch für die Umgebung so niedrig, wie vernünftigerweise erreichbar, zu halten. Das ALARA-Prinzip wurde indes durch die ALADA-Regel (*As Low As Diagnostically Acceptable*) erweitert. Demzufolge soll die Dosis auf den diagnostisch notwendigen Anteil abgestuft werden und dabei kein optimales, sondern ein diagnostisch ausreichendes Röntgenbild im Fokus stehen (Berkhout 2015). Demnach muss das

Röntgenbild zur Feststellung einer Zahnanlage nicht der bestmöglichen Qualität entsprechen, während dies zur Detektion minimaler Kariesläsionen oder apikaler Entzündungen notwendig ist. Erweitert wurde die ALADA-Regel unter Berücksichtigung von Indikation und Individuum im Jahr 2018 mit dem ALADAIP-Prinzip (*As Low As Diagnostically Achievable being Indication-oriented and Patient-specific*) (Oenning et al. 2021).

Eine wichtige Rolle zur Varianz der Dosis spielt die Digitalisierung in der Radiologie. In der Vergangenheit fiel bei der Verwendung von Röntgenfilmen eine zu hohe Strahlendosis unmittelbar durch eine zu starke Schwärzung des Röntgenfilms auf. Digital wird eine Überexposition in der Regel durch die Software kompensiert, sodass eine zu hohe Dosis für das Röntgenpersonal und den Behandler nicht (mehr) erkennbar ist (International Commission on Radiological Protection 2004). Umso wichtiger ist es daher, diagnostische Referenzwerte (DRW) für die einzelnen Röntgenverfahren aufzustellen und zu berücksichtigen. Die Internationale Strahlenschutzkommission führte den Begriff *'diagnostic reference level'* (DRL) erstmalig 1996 ein (ICRP Publication 73). Die DRW gelten für häufig durchgeführte Untersuchungen und sind für Röntgenverfahren in der Humanmedizin in der „Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzwerte für diagnostische und interventionelle Röntgenanwendungen“ bereits aufgestellt (Bundesamt für Strahlenschutz 2016). Für dentale Übersichtsaufnahmen bei Kindern und Jugendlichen in Form eines OPG, FRS oder DVT gibt es in Deutschland derzeit keine einheitlich geltenden DRW. International gesehen kommen unterschiedliche Messmethoden und Dosiseinheiten erschwerend hinzu. Vergleichsweise wird in Deutschland weitestgehend mit dem Dosisflächenprodukt (DFP) gearbeitet, so auch in der vorliegenden Arbeit. Das National Radiological Protection Board (NRPB) des Vereinigten Königreichs hat hingegen die Einführung des Dosis-Breiten-Produktes (*dose width product/ DWP*) als Einheit für die Messung der Patientendosis beim Orthopantomogramm empfohlen (Williams und Montgomery 2000). Nach Empfehlung der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) ist das Dosis-Flächen-Produkt die angemessene Größe für die Festlegung von DRW-Werten (Radiation protection 109). Auch die *Korea Food and Drug Administration (KFDA)* empfehlen die Verwendung des DFP (Kim et al. 2014).

Um einen Richtwert im Vereinigten Königreich vorzuweisen, hat die Health Protection Agency nationale Referenzdosen (National Reference Doses/NRD) für das FRS aufgestellt. Die Studie ergab für Kinder ein DFP von  $2,5 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$  (Holroyd 2011). Eine unabhängige ältere Studie hat einen DFP von  $2,6 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$  vorgeschlagen (Looe et al. 2007). Diese Werte decken sich ungefähr mit dem Ergebnis der vorliegenden Arbeit, in der für das FRS ein DFP von  $2,2 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$  ermittelt wurde. Hingegen wurden in einer Studie aus Korea mit  $12,1 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$  ein wesentlich höherer Wert für ein FRS bei Kindern ermittelt. Resultierend schlussfolgerten die Autoren, dass Maßnahmen zur Dosisreduzierung bei Kindern in Korea erforderlich sind (Kim et al. 2014). Auch der von Kim et al. ermittelte DFP-Wert für das OPG bei Kindern lag mit  $9,6 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$  höher als der Wert des UKJ mit  $7 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$  und dem von Poppe et al. empfohlenen DRW für Deutschland mit  $7,5 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$  (Poppe et al. 2007). Auch in Griechenland wurde eine vergleichbare DRW-Empfehlung ( $7,7 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ ) für das OPG bei Kindern gegeben (Tierris et al. 2004). Der Vorschlag eines DRW von  $8,2 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$  in Indien ist geringfügig höher (Jose et al. 2020). Publierte Angaben zur effektiven Dosis einer OPG-Aufnahme von  $3,85 \mu\text{Sv}$  (Danforth und Clark 2000) befinden sich in einer ähnlichen Größenordnung wie der Wert für ein Kinder-OPG am UKJ ( $3,5 \mu\text{Sv}$ ).

In der Literatur wird in Anlehnung an das ALADAIP-Prinzip eine weitere Möglichkeit zur Dosisüberwachung diskutiert, indem Richtwerte und Höchstdosen für einzelne Indikationen festgelegt werden. Diese sollten in der Arbeitsanweisung (SOP/ Standard Operating Procedure) zur Durchführung der Untersuchung verankert werden. Beispielsweise könnten Kariesläsionen mit der digitalen Volumtomographie deutlich besser dargestellt werden, jedoch hätte die wesentlich höhere Strahlenbelastung keinen Mehrwert womit sie zu rechtfertigen wäre, da die Diagnose auch mit weniger strahlenintensiven Verfahren (z.B. Zahnfilm/ Bissflügel) eindeutig gestellt werden kann (Wenzel et al. 2013; Jaju 2015). Die Strahlenexposition einer DVT-Aufnahme kann dabei das bis zu 15-fache einer Panoramaschichtaufnahme umfassen (Deman et al. 2014).

Unabhängig davon sollte auch bei vorhandenen Referenzwerten allseits das Bestreben der Dosisminimierung im Vordergrund stehen. Dabei sind die Optimierung der Belichtungszeit und der Röhrenspannung ein wichtiger Faktor (Horner und Hirschmann

1990; Napier 1999). Dies wird allerdings in den meisten Einrichtungen, wie auch am UKJ, nicht für jeden Patienten individuell durchgeführt.

Die Einstellung der Strahlung ausgesetzten Feldgröße, sowohl in der vertikalen als auch in der horizontalen Ebene, ist relevant, um vorgegebene Strahlenexpositionswerte in der Referenz einzuhalten oder bestenfalls zu unterschreiten (Pakbaznejad Esmaeili et al. 2016). Durch eine optimale Einblendung wird das Strahlenfeld an die Größe des für die Diagnostik interessierenden Gewebes/Volumens angepasst und somit die Gesamtstrahlung und auch die Streustrahlung reduziert. Es resultiert eine höhere Bildqualität und verminderte Strahlenexposition. Beim FRS kann so der diagnostisch unwesentliche Teil des exponierten Gewebevolumen aus dem Strahlenfeld herausgehalten und die Dosis minimiert werden (Mandall et al. 1999; Berkhout 2015). Auch beim OPG kann eine Dosisersparung durch Einblendung (Kollimation) erreicht werden. In einer Studie von Benchimol et al. aus dem Jahr 2018 wurden neun verschiedene Panoramamodi mit Kollimation (PAN) getestet und dabei eine Dosisreduktion von 4,5 % bis 86,9 % erreicht. Die verschiedenen Aufnahmetypen waren: PAN 1 = volle Größe, PAN 2 = Oberkieferfront, PAN 3 = Unterkieferzähne, PAN 4 = einseitige untere Unterkiefermolaren, PAN 5 = alle Zähne, PAN 6 = alle Zähne und Sinus maxillaris, PAN 7 = alle Zähne und Ramus mandibularis, PAN 8 = Oberkieferzähne, PAN 9 = Oberkieferzähne und Kieferhöhle und PAN 10 = einseitige untere rechte Molaren und anteriorer Ramus. Potenziell könnte bei der Panoramaschichtaufnahme, laut den Testergebnissen dieser Studie, durchschnittlich eine Gesamtdosisreduktion von circa 35 % erreicht werden (Benchimol et al. 2018).

Eine Dosisersparung durch Reduktion des strahlenexponierten Volumens konnte auch bei der Auswertung der vorliegenden Arbeit festgestellt werden. Am Universitätsklinikum Jena werden sechs verschiedene OPG-Programme für PSA von Kindern und Jugendlichen eingesetzt. Der OPG- Standard-Modus entspricht dabei der vollen Feldgröße von etwa 15 cm x 30 cm (100%; vgl. PAN 1) mit einem DFP von 14 cGy x cm<sup>2</sup>. Des Weiteren gibt es drei Programme, welche das Kiefergelenk nicht mit einbeziehen. Dabei können entweder alle vier Kieferquadranten abgebildet werden (OPG- ohne KG 4 Qu.), was einer Feldgröße und Dosis von circa 85 % entspricht (12 cGy x cm<sup>2</sup>, vgl. PAN 5) oder nur zwei (OPG- ohne KG 2 Qu.) beziehungsweise ein (OPG- ohne KG 1 Qu.) Quadrant. Reicht die Information zweier Quadranten aus, halbiert sich verständlicherweise die Feldgröße und somit auch das DFP (6 cGy x cm<sup>2</sup>). Beim OPG- ohne

KG 1 Qu. halbieren sich FoV und DFP schließlich erneut und entsprechen resultierend einem Viertel der Dosis des OPG- ohne KG 4 Qu. (3 cGy x cm<sup>2</sup>). Zudem besteht die Möglichkeit des alleinigen Röntgens des Kiefergelenks (OPG-Kiefergelenksprogramm). Dieser Aufnahmemodus entspricht dabei ebenfalls circa 85 % des DPF einer OPG- Standardaufnahme (12 cGy x cm<sup>2</sup>). Die sechste PSA- Variante ist ein spezieller Kindermodus (OPG- Kind), wobei die Feldgröße im Vergleich zum OPG- Standard aufgrund der geringeren Kopfgröße nur etwa halb so groß ist. Das DFP mit 7 cGy x cm<sup>2</sup> entspricht daher nur noch 50 % des Standardwertes. Die Kinder sind bei diesem OPG-Verfahren durchschnittlich 5,5 Jahre alt. Da aufgrund des Körperwachstums diese Variante ab einer bestimmten Kiefergröße nicht mehr angewandt werden kann, entspricht dies korrelierend dem jüngsten Altersdurchschnitt der extraoralen Röntgenverfahren. Zur Anwendung kam das OPG im untersuchten Zeitraum bereits ab dem dritten Lebensjahr.

Zusammenfassend ist zu erkennen, dass mit Hilfe der verschiedenen OPG- Programme in Jena für Kinder eine signifikante Dosisreduktion ( $p < 0,001$ ) erreicht werden kann. Es ist möglich, kleinere Kinder mit Hilfe des OPG- Kinderprogramms nur der Hälfte der Dosis auszusetzen, als es beim OPG- Standardverfahren der Fall wäre. Da diese OPG-Variante jedoch nur bis zu einem gewissen Alter durchgeführt werden kann, wären DRW für bestimmte Altersgruppen einzuführen. Zu berücksichtigen ist dabei entsprechend des ALADAIP auch die jeweilige Indikation.

Viele Studien haben sich mit dem Zusammenhang des zahnmedizinischen Röntgens und der möglichen Entstehung von Krebs auseinandergesetzt. Vor allem in älteren Studien wird darauf hingewiesen, dass ein erhöhtes Risiko für Leukämie (White 1992), Schilddrüsentumore (Memon et al. 2010; Maillie et al. 1993) sowie auch Speicheldrüsentumore besteht (Horn-Ross et al. 1997). Des Weiteren werde die steigende Frequenz von Meningeomen kritisch thematisiert (Preston-Martin und White 1990; Longstreth et al. 1993). So haben Kinder, die im Alter von weniger als 10 Jahren ein OPG erhalten, laut Claus et al., ein 4,6-fach erhöhtes Risiko im Laufe ihres Lebens ein Meningeom zu entwickeln (Claus et al. 2012). Neuere Studien revidieren den Zusammenhang zwischen zahnärztlichem extraoralem Röntgen und der Meningeomentstehung und sind zu dem Ergebnis gekommen, dass keine direkte Kausalität besteht (Xu et al. 2015, Mupparapu et al. 2019). Zu bedenken ist aber, dass die Strahlendosis,



welcher der Patient ausgesetzt ist, proportional zur Höhe des Krebsrisikos ist. Sie hat dabei jedoch keinen Einfluss auf den Schweregrad der möglichen Krebserkrankung (Isaacson et al. 2015, Scarfe et al. 2017). Die Risikowahrscheinlichkeit wird dabei nicht allein durch die Dosis beeinflusst, sondern auch Geschlecht und Alter zum Zeitpunkt der Exposition spielen eine Rolle. In aktuellen Studien wird davon ausgegangen, dass die Risiken für das weibliche Geschlecht etwas höher sind (Zangeneh et al. 2020). Eine ältere Untersuchung zum FRS ergab, dass Frauen eine höhere Wahrscheinlichkeit haben, an Schilddrüsenkrebs zu erkranken, Männer wiederum eher an Hirntumoren leiden. Gleich hoch sei das Risiko für Speicheldrüsentumore (Maillie und Gilda 1993). Zu Beginn der vorliegenden Arbeit wurde mit der Hypothese  $H_{5_0}$  davon ausgegangen, dass keine Unterschiede bei der Geschlechterverteilung (Häufigkeit, Alter, Indikationsstellung) über den betrachteten Jahreszeitraum bestehen. Allerdings wurden innerhalb des untersuchten Zeitraumes mit 54,5 % aller Röntgenaufnahmen signifikant mehr Jungen geröntgt als Mädchen ( $p < 0,001$ ), wobei diese mit 12,2 Jahren signifikant älter waren als die Jungen mit 12,0 Jahren. Auch bezüglich der Indikationsstellungen gab es signifikante Alters- und Häufigkeitsunterschiede. Aufgrund dessen ist die Hypothese  $H_{2_0}$  bestätigt.

### 6.1.2 Modalitäten und Indikationen

Die Analyse der Häufigkeitsverteilung der Bildgebung wies über den Zeitverlauf deutliche Schwankungen auf. Zu Beginn des Zeitraumes im Jahr 2002 wurden sehr viele Aufnahmen durchgeführt. Anschließend ist die absolute Häufigkeit bis zum Jahr 2012 auf ein Minimum gesunken, gefolgt von einem stetigen Anstieg. Das Jahr 2020 ist nicht vollständig dokumentiert, dennoch ist ein weiterer kontinuierlicher Anstieg zu erwarten. Retrospektiv sind Ursachen für diesen Verlauf im Rahmen dieser Arbeit nicht nachvollziehbar. Die Hypothese  $H_{3_1}$  ist für die besondere Situation des UKJ widerlegt, da kein durchgehender Anstieg im Laufe des Zeitraumes zu verzeichnen ist.

Die modalitätenbezogene Analyse ergab bezüglich der Häufigkeit der Anwendung ein komplexeres Ergebnis. Zu berücksichtigen sind hierbei die geschilderten Schwankungen in der absoluten Anzahl aller Röntgenaufnahmen, die sich natürlich auch innerhalb der einzelnen Modalitäten wiederfinden. Lässt man dies jedoch außer Acht und betrachtet ausschließlich die prozentualen Anteile je Jahr, so ist über den analysierten

historischen Zeitraum ein signifikanter Anstieg des OPG bei gleichzeitiger Abnahme des FRS ersichtlich, weshalb die Hypothese H4<sub>1</sub> bestätigt werden kann.

Eine Studie aus Finnland zeigte, dass extraorale Röntgenaufnahmen bei 7- bis 12-jährigen Kindern den überwiegenden Anteil der dentalen Röntgenuntersuchungen einnehmen, wobei die Indikationen aus der Kieferorthopädie mit 95 % mit Abstand überwiegen (Pakbaznejad Esmaeili et al. 2016). Auch am UKJ wurden bei Kindern und Jugendlichen die extraoralen Röntgenaufnahmen am häufigsten durch kieferorthopädische Fragestellungen indiziert. Der Anteil bezüglich der Gesamtzahl extraoraler Röntgenaufnahmen beträgt 33,8%. Die Auswertung zeigt, dass kieferorthopädische Aufnahmen prozentual am häufigsten im Alter von 12 bis 13 Jahren angefertigt wurden. Dies erscheint plausibel, da zu diesem Zeitpunkt meist alle permanenten Zähne (bis auf die Weisheitszähne) durchgebrochen sind.

Andere Indikationen der Studie von Pakbaznejad Esmaeili et al. waren die Kariesdiagnostik, Trauma, Infektionen, postoperative Beurteilungen und Kiefergelenksschmerzen (Pakbaznejad Esmaeili et al. 2016). Dies deckt sich im überwiegenden Teil mit den vorliegenden Ergebnissen. Perioperativ wurden Indikationen zu extraoralen Aufnahmen auch am Universitätsklinikum in Jena in 878 Fällen (entspricht circa 19 %) gestellt. Diese stehen oft mit überzähligen Zahnanlagen in Verbindung, wobei laut aktueller Leitlinie (AWMF-Register-Nummer: 083-005) die Anfertigung einer DVT-Aufnahme gerechtfertigt ist, um eine bessere Einschätzung des Zugangsweges (oral/vestibulär) und angrenzender anatomischer Strukturen verlagert/retinierter Zähne zu erhalten. Sinnvoll ist der Einsatz der DVT auch bei interdisziplinären Operationen im Rahmen einer kieferchirurgisch-kieferorthopädischen Behandlung, um diese bestmöglich vorzubereiten und durchzuführen (Schulze 2013, Garib et al. 2014, Kühnisch et al. 2020, Akkuc et al. 2021, Oenning et al. 2021). In Einzelfällen bzw. überwiegend im Erwachsenenalter wird die DVT zur perioperativen Planung von Implantaten genutzt. Entscheidender Vorteil ist dabei die Möglichkeit zum Vermessen des Knochenangebotes (Jacobs et al. 2018, Schulze 2011).

Im Rahmen der Kariesdiagnostik wurden extraorale Aufnahmen am UKJ im Alter von 10 – 15 Jahren weniger häufig als in früheren Lebensaltern verwendet. Ursache dafür könnte sein, dass jüngere Kinder eine Panoramaschichtaufnahme oft besser tolerieren als intraorale Aufnahmen, obwohl diese das eigentliche Standardverfahren zur Kariesdiagnostik im Milch- und Wechselgebiss darstellen. Eine Studie aus den Niederlanden

berichtet, dass es bei 18 % der 6-jährigen Patienten nicht möglich war, eine Bissflügelaufnahme zur Kariesdiagnostik anzufertigen (Poorterman et al. 2010). Dennoch spielt die Früherkennung eine entscheidende Rolle, weshalb bei gegebenen Umständen auf extraorale Röntgenverfahren ausgewichen wird (Kühnisch et al. 2020). Zukünftig könnte die Bildschärfe bei Panoramaschichtaufnahmen beispielsweise durch die Verwendung von Multilayer-Bildgebungsprogrammen verbessert werden (Jeon et al. 2020). Somit könnten Kariesläsionen zuverlässiger diagnostiziert werden. Jedoch benötigen nicht alle Diagnosen eine hohe Bildqualität. Für die Feststellung der Zahnanlage ist, wie bereits zuvor beschrieben, auch eine geringere Qualität ausreichend. Das OPG eignet sich sehr gut zur Bestätigung oder Identifizierung von Anomalien in der Zahnanzahl (Fogarty et al. 2015). Die Indikation Zahnanlage wurde vor allem im ersten Lebensjahrzehnt häufig gestellt. Die relative Häufigkeit am UKJ nahm dabei in den letzten Jahren zu. Dies könnte zum einen mit der Zunahme von Nichtanlagen und starken Veränderungen der Durchbruchzeiten (*Dentitio tarda*) zu begründen sein. Zum anderen sind die Patientenzahlen in der kieferorthopädischen Fachabteilung angestiegen und damit auch die anteilige Dichte der Diagnostik von Zahnanlagen. Aber auch in der Kinderzahnheilkunde hat sich die Patientenstruktur geändert. Die Anzahl von Komplexfällen sowohl mit als auch ohne Behinderungen/ Allgemeinerkrankungen ist gestiegen, wodurch eine Röntgendiagnostik von Zahnanlagen indiziert war. Insgesamt ist eine Veränderung der Häufigkeitsverteilungen der verschiedenen Indikationen über den Zeitraum von 2011 bis 2020 hinweg zu verzeichnen. So wurden die Indikationen Kariesdiagnostik und Zahnanlage signifikant häufiger gestellt. Die vermehrte Häufigkeit der Indikationsverwendung KFO ist dabei rein deskriptiv. Bei den Rubriken apikale Diagnostik, Fokussuche, OP und Trauma variieren die Häufigkeiten im Laufe der Jahre und es ist kein konstanter Anstieg zu verzeichnen. Zusammenfassend ist die Hypothese H5<sub>1</sub> damit bestätigt. In der Literatur waren Aussagen zu Altersmittelwerten von Kindern und Jugendlichen bei den extraoralen Röntgenmodalitäten sowie Alterspeaks und Verteilungen bezüglich der Indikationsstellung nicht zu finden (Schlagwörter: *dental xray, children, radiography, panoramic, lateral cephalometric, CBCT, indication, age*).

## 6.2 Klinischer Ausblick

Es ist nur eingeschränkt möglich, vergleichende Dosiswerte für dentale Röntgenaufnahmen bei Kindern und Jugendlichen zu finden, da viele Studien unterschiedliche Messmethoden und Einheiten verwenden. Zudem ist eine in vivo Dosismessung derzeit noch nicht möglich (International Commission on Radiological Protection 2004). Auch die Werte der vorliegenden Arbeit waren nicht immer vollständig in digitalen Archivierungsprogrammen hinterlegt und mussten nachträglich manuell anhand analoger Daten ergänzt bzw. interpoliert werden.

Anhand des vorliegenden Datensatzes könnten künftig weitere Untersuchungen erfolgen. So wäre es interessant, das Kind als Individuum im longitudinalen Verlauf zu analysieren, indem man anhand der KIS-ID und RIS-Daten ermittelt, wie oft derselbe Patient und mit welcher Dosis untersucht wurde. Somit könnte man Schätzwerte für die kumulative Dosis im Kindesalter aufstellen und Aussagen darüber treffen, wie oft und mit welcher Gesamtdosis Kinder in Abhängigkeit von der Fragestellung durchschnittlich in den ersten achtzehn Lebensjahren im Universitätsklinikum Jena geröntgt werden. Das setzt allerdings voraus, dass nicht zwischenzeitlich eine Behandlung und Diagnostik andernorts erfolgt (sogenanntes *lost of follow up*).

Ein weiterer interessanter Punkt wäre die Erstellung altersgruppenbezogener DRW. Durch Verwendung der erhobenen Daten für die spezifischen Kinderprogramme könnten mit anderen Einrichtungen gemeinsam entsprechende Vorschläge für DRW beim OPG und FRS von Kindern und Jugendlichen entwickelt werden.

## 7. Schlussfolgerung

Diese Studie zeigt, dass bei Kindern und Jugendlichen extraorale Röntgenverfahren für die Zahnmedizin eine große diagnostische Rolle spielen. Die Strahlendosis, welcher Kinder und Jugendliche bei OPG, FRS und DVT ausgesetzt sind, ist im Vergleich zu verschiedenen Röntgenaufnahmen im humanmedizinischen Bereich (z.B. Röntgenaufnahmen des Körperstamms) oder auch zur natürlichen Strahlenexposition als gering einzuschätzen. So entspricht die effektive Dosis einer Röntgenaufnahme des Bauchraumes ca. 60 OPG-Standard-Aufnahmen. Die jährliche Strahlenexposition von 2,1 mSv pro Jahr in Deutschland gleicht ca. 300 OPG-Standard-Aufnahmen.

Das OPG als extraorales Röntgenverfahren wurde im Laufe des untersuchten Zeitraumes immer häufiger angewandt. Dies nahm 78 % aller 9.680 durchgeführten Übersichtsaufnahmen im dentalen Bereich ein. Kieferorthopädische Fragestellungen haben dabei 33,8 % den größten Anteil im Indikationsspektrum für extraorale Aufnahmen bei Kindern und Jugendlichen.

Auch wenn bei Röntgenuntersuchungen in der Zahnheilkunde kein Risiko für deterministische Strahlenschäden besteht, nimmt aufgrund der Häufigkeit der Untersuchungen die Wahrscheinlichkeit stochastischer Schäden für das Individuum zu. Die Entstehung eines Tumors infolge häufiger zahnmedizinischer Röntgenaufnahmen ist damit grundsätzlich möglich. Da Kinder und Jugendliche strahlenempfindlichere Organe aufweisen und die Wahrscheinlichkeit für Spätfolgen mit der Länge der zu erwartenden Lebenszeit steigt, ist das Risiko in dieser Altersgruppe besonders zu berücksichtigen. Korrelierend sind die Indikationsstellungen für jede Untersuchung mit ionisierender Strahlung auch im zahnmedizinischen Bereich kritisch zu prüfen.

Perspektivisch sollten im Rahmen der Qualitätssicherung die Festlegung einheitlicher diagnostischer Referenzwerte für alle Röntgenaufnahmen im zahnmedizinischen Bereich erfolgen und indikationsgerechte SOP (*Standard Operating Procedure*) für die Anwendung extraoraler Aufnahmetechniken im Kindes- und Jugendalter entwickelt werden und verfügbar sein. Diese können neben den Qualitätskriterien, wie regelmäßigen Konstanzprüfungen, einen adäquaten Umgang mit ionisierender Strahlung gewährleisten. Zudem spielt die Qualifizierung des Personals eine wichtige Rolle. Das ausführende Röntgenpersonal muss dahingehend geschult werden, Röntgenparame-

ter künftig für jeden Patienten entsprechend Alter und Indikation individuell zu justieren. Eine Hilfe zur Gewährleistung der Umsetzung könnten dabei geeignete Dosismanagementprogramme sein, wie sie bereits bei der Computertomographie angewendet werden.

## 8. Literatur- und Quellenverzeichnis

- Akkuc S, Duruk G, Duman S. 2021. Evaluation of impacted canines' localization and adjacent lateral incisors' root resorption with orthopantomography and cone-beam computed tomography. *Oral Radiology*, 37(3), 476–486.
- Alzen G, Benz-Bohm G. 2011. Radiation protection in pediatric radiology. *Dtsch Arztebl Int*, 108(24): 407–14.
- Angemeldetes Leitlinienvorhaben. AWMF online Das Portal der wissenschaftlichen Medizin. URL: <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/anmeldung/1/II/083-006.html> [Stand: 07.05.2022]
- Ann ICRP. 2001. Radiation and your patient: a guide for medical practitioners, 31(4):5-31.
- Benchimol D, Koivisto J, Kadesjö N, Shi XQ. 2018. Effective dose reduction using collimation function in digital panoramic radiography and possible clinical implications in dentistry. *Dento maxillo facial radiology*, 47(7).
- Berkhout WE. 2015. Het ALARA-principe. Achtergronden en toepassing in de praktijk [The ALARA-principle. Backgrounds and enforcement in dental practices]. *Nederlands tijdschrift voor tandheelkunde*, 122(5), 263–270.
- Claus EB, Calvocoressi L, Bondy ML, Schildkraut JM, Wiemels JL, Wrensch M. 2012. Dental x-rays and risk of meningioma Cancer, 118(18), 4530–4537.
- Danforth RA., Clark DE. 2000. Effective dose from radiation absorbed during a panoramic examination with a new generation machine. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*, 89(2), 236–243.
- Deman P, Atwal P, Duzenli C, Thakur Y, Ford NL. 2014. Dose measurements for dental cone-beam CT: a comparison with MSCT and panoramic imaging. *Physics in medicine and biology*, 59(12), 3201–3222.
- Espelid I, Mejàre I, Weerheijm K, EAPD. 2003. EAPD guidelines for use of radiographs in children. *European journal of paediatric dentistry*, 4(1), 40–48.
- Euler A, Szücs-Farkas Z, Schindera S. 2014. Möglichkeiten der Strahlenreduktion bei der CT des Körperstamms, 170.
- Europäische Kommission, Generaldirektion Energie und Verkehr. 2015. The safe use of radiographs in dental practice, Publications Office

- Fogarty WP, Drummond BK, Brosnan MG. 2015. The use of radiography in the diagnosis of oral conditions in children and adolescents. *The New Zealand dental journal*, 111(4), 144–150.
- Frane N, Bitterman A. 2021. *Radiation Safety and Protection*. StatPearls Publishing.
- Frey H, Huster E, Keller A, Keinert K, Klinger J, Sattler B, Simon A. 2019. *Grundkurs zum Erwerb der Fachkunde im Strahlenschutz in der Medizin, Strahlenschutzseminar in Thüringen e.V.*
- Garib DG, Calil LR, Leal CR, Janson G. 2014. Is there a consensus for CBCT use in Orthodontics?. *Dental press journal of orthodontics*, 19(5), 136–149.
- Gosch D, Gosch K, Kahn T. 2007. Konversionsfaktoren zur Ermittlung der effektiven Dosis für Patienten aus dem Dosisflächenprodukt bei Röntgendurchleuchtungsuntersuchungen [Conversion coefficients for estimation of effective dose to patients from dose area product during fluoroscopy x-ray examinations]. *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, 179(10), 1035–1042.
- Grunert J. 2019. *Strahlenschutz für Röntgendiagnostik und Computertomografie*. 1. Auflage. Springer Verlag, 286.
- Harding K, Thomson WH. 1997. Radiological protection and safety in medicine - ICRP 73. *Eur J Nucl Med*.
- Holroyd JR. 2011. National reference doses for dental cephalometric radiography. *Br J Radiol*. 84(1008):1121-4.
- Horner K, Hirschmann PN. (1990). Dose reduction in dental radiography. *Journal of dentistry*, 18(4), 171–184.
- Horn-Ross PL, Ljung BM, Morrow M. 1997. Environmental factors and the risk of salivary gland cancer. *Epidemiology*. 8(4):414-9.
- International Commission on Radiological Protection 2004. Managing patient dose in digital radiology. A report of the International Commission on Radiological Protection. *Annals of the ICRP*, 34(1), 1–73.
- Isaacson KG, Thom AR, Atack NE, Horner K, Whaites E 2015. *guidelines for the use of radiographs in clinical orthodontics*
- Jacobs R, Salmon B, Codari M, Hassan B, Bornstein MM. 2018. Cone beam computed tomography in implant dentistry: recommendations for clinical use. *BMC oral health*, 18(1), 88.



- Jaju PP, Jaju SP. 2015. Cone-beam computed tomography: Time to move from ALARA to ALADA. *Imaging science in dentistry*, 45(4), 263–265.
- Jeon KJ, Han SS, Lee C, Choi YJ, Jung HI, Kim YH. 2020. Application of panoramic radiography with a multilayer imaging program for detecting proximal caries: a preliminary clinical study. *Dento maxillo facial radiology*, 49(8).
- Jose A, Kumar AS, Govindarajan KN, Manimaran P. 2020. Assessment of Regional Pediatric Diagnostic Reference Levels for Panoramic Radiography Using Dose Area Product. *Journal of medical physics*, 45(3), 182–186.
- Kapila SD, Nervina JM. 2015. CBCT in orthodontics: assessment of treatment outcomes and indications for its use. *Dento maxillo facial radiology*, 44(1), 20140282.
- Kim YH, Yang BE, Yoon SJ, Kang BC, Lee JS. 2014. Diagnostic reference levels for panoramic and lateral cephalometric radiography of Korean children. *Health physics*, 107(2), 111–116.
- Kühnisch J, Anttonen V, Duggal MS., Spyridonos ML, Rajasekharan S, Sobczak, M, Stratigaki E, Van Acker J, Aps J, Horner K, Tsiklakis K. 2020. Best clinical practice guidance for prescribing dental radiographs in children and adolescents: an EAPD policy document. *European archives of paediatric dentistry : official journal of the European Academy of Paediatric Dentistry*, 21(4), 375–386.
- Lee KS, Nam OH, Kim GT, Choi SC, Choi YS, Hwang EH. 2021. Radiation dosimetry analyses of radiographic imaging systems used for orthodontic treatment: comparison among child, adolescent, and adult patients. *Oral Radiol.* 37(2):245-250.
- Longstreth WT Jr, Dennis LK, McGuire VM, Drangsholt MT, Koepsell TD. 1993. Epidemiology of intracranial meningioma. *Cancer*, 72(3), 639–648.
- Looe HK, Eenboom F, Chofo N, Pfaffenberger A, Sering M, Rühmann A, Poplawski A, Willborn K, Poppe B. 2007. Dose-area product measurements and determination of conversion coefficients for the estimation of effective dose in dental lateral cephalometric radiology. *Radiat Prot Dosimetry*;124(2):181-6.
- Looe HK, Eenboom F, Chofo N, Pfaffenberger A, Steinhoff M, Rühmann A, Poplawski A, Willborn K, Poppe B. 2008. Conversion coefficients for the estimation of effective doses in intraoral and panoramic dental radiology from dose-area product values. *Radiation protection dosimetry*, 131(3), 365–373.
- Ludlow JB, Timothy R, Walker C, Hunter R, Benavides E, Samuelson DB, Scheske MJ. 2015. Effective dose of dental CBCT-a meta analysis of published data and

- additional data for nine CBCT units. *Dento maxillo facial radiology*, 44(1), 20140197.
- Mah E, Ritenour ER, Yao H. 2021. A review of dental cone-beam CT dose conversion coefficients. *Dento maxillo facial radiology*, 50(3), 20200225.
- Maillie HD, Gilda JE. Radiation-induced cancer risk in radiographic cephalometry. 1993. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 75(5):631-7.
- Mandall NA, O'Brien KD, Worthington HV. 1999. Radiation reduction using a modified collimated lateral skull radiograph during orthodontic treatment. *Clinical orthodontics and research*, 2(4), 179–185.
- Medizinische Strahlenschutzverordnung (2020, 01. August). Rechtsinformationssystem des Bundes. URL: <https://www.ris.bka.gv.at/NormDokument.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20010088&Artikel=&Paragraf=&Anlage=1&Uebergangsrecht=> [Stand: 13.07.2022]
- Memon A, Godward S, Williams D, Siddique I, Al-Saleh K. 2010. Dental x-rays and the risk of thyroid cancer: a case-control study. *Acta Oncol*.
- Mupparapu M, Baddam V, Lingamaneni KP, Singer SR. 2019. Dental x-ray exposure is not associated with risk of meningioma: a 2019 meta-analysis. *Quintessence international* (Berlin, Germany : 1985), 50(10), 822–829.
- Napier ID. 1999. Reference doses for dental radiography. *British dental journal*, 186(8), 392–396.
- Natürliche Strahlung in Deutschland (2022, 18. Mai). Bundesamt für Strahlenschutz. URL: [https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/natuerliche-strahlung/natuerliche-Bustrahlung\\_node.html#:~:text=Die%20gesamte%20nat%C3%BCrliche%20Strahlenexposition%20in,Millisievert%20bis%20zu%2010%20Millisievert.](https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/natuerliche-strahlung/natuerliche-Bustrahlung_node.html#:~:text=Die%20gesamte%20nat%C3%BCrliche%20Strahlenexposition%20in,Millisievert%20bis%20zu%2010%20Millisievert.) [Stand 10.07.2022]
- Oenning AC, Jacobs R, Salmon B, DIMITRA Research Group (<http://www.dimitra.be>). 2021. ALADAIP, beyond ALARA and towards personalized optimization for paediatric cone-beam CT. *International journal of paediatric dentistry*, 31(5), 676–678.
- Pakbaznejad Esmaeili E, Ekholm M, Haukka J, Evälahti M, Waltimo-Sirén J. 2016. Are children's dental panoramic tomographs and lateral cephalometric radiographs sufficiently optimized?. *European journal of orthodontics*, 38(1), 103–110.

- Pakbaznejad Esmaeili E, Ekholm M, Haukka J, Waltimo-Sirén J. 2016. Quality assessment of orthodontic radiography in children. *European journal of orthodontics*, 38(1), 96–102.
- Pearce MS, Salotti JA, Little MP, McHugh K, Lee C, Kim KP, Howe NL, Ronckers CM, Rajaraman P, Sir Craft AW, Parker L, Berrington de González A. 2012. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *Lancet*. 380(9840):499-505.
- Poorterman JH, Vermaire EH, Hoogstraten J. 2010. Value of bitewing radiographs for detecting approximal caries in 6-year-old children in the Netherlands. *International journal of paediatric dentistry*, 20(5), 336–340.
- Poppe B, Looe HK, Pfaffenberger A, Chofo N, Eenboom F, Sering M, Rühmann A, Poplawski A, Willborn K. 2007. Dose-area product measurements in panoramic dental radiology. *Radiation protection dosimetry*, 123(1), 131–134.
- Praveen BN, Shubhasini AR, Bhanushree R, Sumsum PS, Sushma CN. 2013. Radiation in Dental Practice: Awareness, Protection and Recommendations. *J Contemp Dent Pract*; 14(1):143-148
- Preston-Martin S, White SC. 1990. Brain and salivary gland tumors related to prior dental radiography: implications for current practice. *Journal of the American Dental Association* (1939), 120(2), 151–158.
- Scarfe WC, Azevedo B, Toghyani S, Farman AG. 2017. Cone Beam Computed Tomographic imaging in orthodontics. *Australian dental journal*, 62 Suppl 1, 33–50.
- Schegerer A. 2016. Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzwerte für diagnostische und interventionelle Röntgenanwendungen. Bundesamt für Strahlenschutz.
- Schulze R. 2011. DVT-Diagnostik in der Implantologie: Grundlagen – Fallstricke. *Zahnheilkunde Management Aktuell*. URL: [https://www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/implantologie/story/dvt-diagnostik-in-der-implantologie-grundlagen--fallstricke\\_404.html](https://www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/implantologie/story/dvt-diagnostik-in-der-implantologie-grundlagen--fallstricke_404.html) [Stand: 14.07.2022]
- Schulze R. 2013. s2k-Leitlinie Dentale digitale Volumetomographie. AWMF-Register-Nummer: 083-005
- Schulze R. 2019. Zahnärztliches Röntgen: Grundlagen, Technik, Anwendung – Hintergrundinformationen –, Mainz: Johannes Gutenberg-Universität

- Schwabl D. 2018. Evaluierung der Effektivdosis verschiedener zahnärztlich radiologischer Verfahren an der Medizinischen Universität Graz [Diplomarbeit]. Graz: Medizinische Universität.
- Strahlenschutz. Bundesamt für Strahlenschutz. URL: [https://www.bfs.de/DE/themen/ion/strahlenschutz/strahlenschutz\\_node.html](https://www.bfs.de/DE/themen/ion/strahlenschutz/strahlenschutz_node.html) [Stand: 06.04.2022]
- Strahlenschutzkommission. 2006. Bildgebende Diagnostik beim Kind –Strahlenschutz, Rechtfertigung und Effektivität – Empfehlung der Strahlenschutzkommission
- Tierris CE, Yakoumakis EN, Bramis GN, Georgiou E. 2004. Dose area product reference levels in dental panoramic radiology. *Radiation protection dosimetry*, 111(3), 283–287.
- Was ist ionisierende Strahlung? (2022, 24. März). Bundesamt für Strahlenschutz. URL: <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/einfuehrung/einfuehrung.html> [Stand: 06.04.2022]
- Wenzel A, Hirsch E, Christensen J, Matzen LH, Scaf G, Frydenberg M. 2013. Detection of cavitated approximal surfaces using cone beam CT and intraoral receptors. *Dento maxillo facial radiology*, 42(1), 39458105.
- White SC. 1992. 1992 assessment of radiation risk from dental radiography. *Dento maxillo facial radiology*, 21(3), 118–126.
- Williams JR, Montgomery A. 2000. Measurement of dose in panoramic dental radiology. *The British journal of radiology*, 73(873), 1002–1006.
- Xu P, Luo H, Huang GL, Yin XH, Luo SY, Song JK. 2015. Exposure to ionizing radiation during dental X-rays is not associated with risk of developing meningioma: a meta-analysis based on seven case-control studies. *PloS one*, 10(2), e0113210.
- Zangeneh M, Deevband MR, Mohsenzadeh B. 2020. Lifetime attributable risk of cancer incidence and mortality in routine digital radiology procedures. *Clinical imaging*, 67, 226–236.

## 9. Anhang

### 9.1 Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| <b>Abb. 1:</b> Graphische Darstellung zur absoluten Häufigkeit aller extraoralen Röntgenaufnahmen pro Jahr .....   | 25 |
| <b>Abb. 2:</b> Graphische Darstellung zur Geschlechterverteilung pro Jahr (Pat-Geschlecht – Patientengeschlecht [M – männlich, W – weiblich]) .....  | 27 |
| <b>Abb. 3:</b> Graphische Darstellung zur Indikationsverteilung über die ersten 18 Lebensjahre (M – männlich, W – weiblich, KFO – Kieferorthopädie, OP – Operation, Proth. ZE – prothetischer Zahnersatz) .....                          | 34 |
| <b>Abb. 4:</b> Graphische Darstellung zur geschlechterspezifischen Indikationsverteilung über die ersten 18 Lebensjahre (M – männlich, W – weiblich, KFO – Kieferorthopädie, OP – Operation, Proth. ZE – prothetischer Zahnersatz) ..... | 36 |

### 9.2 Tabellenverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| <b>Tab. 1:</b> Derzeitige Röntgengeräte der Zahnklinik in der Innenstadt (OPG – Orthopantomogramm, FRS – Fernröntgenseitenbild, DVT – Digitale Volumentomographie) .....   | 11 |
| <b>Tab. 2:</b> Derzeitige Röntgengeräte im Klinikum in Lobeda (OPG – Orthopantomogramm, FRS – Fernröntgenseitenbild, DVT – Digitale Volumentomographie) .....  | 11 |
| <b>Tab. 3:</b> Frühere Röntgengeräte der Zahnklinik in der Innenstadt (OPG – Orthopantomogramm, FRS – Fernröntgenseitenbild, DVT – Digitale Volumentomographie) .....  | 11 |
| <b>Tab. 4:</b> Frühere Röntgengeräte im Klinikum in Lobeda (OPG – Orthopantomogramm, FRS – Fernröntgenseitenbild, DVT – Digitale Volumentomographie) .....   | 12 |
| <b>Tab. 5:</b> Anpassung der Modalitätenbezeichnungen (DVT/ Digit. Volument. – Digitale Volumentomographie, OK – Oberkiefer, UK – Unterkiefer, OPG – Orthopantomogramm, KG – Kiefergelenk, Qu. – Kieferquadrant, FRS – Fernröntgenseitenbild, RIS – Radiologieinformationssystem, TMG – Temporomandibulargelenk) .....                     | 19 |
| <b>Tab. 6:</b> Zusammenfassung der Konversionsfaktoren für Schädeluntersuchungen nach Gosch et al. 2007 .....  | 21 |
| <b>Tab. 7:</b> Dosisflächenprodukt je Modalität (DFP – Dosisflächenprodukt, kV – Spannung, mA – Stromstärke, sec – Belichtungszeit, mAs – Stromstärkezeitprodukt, FoV – Field of View/ Feldgröße, OPG – Orthopantomogramm [KG – Kiefergelenk, Qu. – Kieferquadrant], FRS – Fernröntgenseitenbild, DVT – Digitale Volumentomographie) ..... | 23 |
| <b>Tab. 8:</b> Effektive Dosis je Modalität (OPG – Orthopantomogramm [KG – Kiefergelenk, Qu. – Kieferquadrant], FRS – Fernröntgenseitenbild, DVT – Digitale Volumentomographie) .....  | 24 |
| <b>Tab. 9:</b> Deskriptive Statistik zur absoluten und relativen Häufigkeit aller extraoralen Röntgenaufnahmen pro Jahr (OPG – Orthopantomogramm, FRS – Fernröntgenseitenbild, DVT – Digitale Volumentomographie) .....  | 26 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Tab. 10:</b> Deskriptive Statistik zur geschlechterspezifischen Häufigkeitsverteilung (Pat-Geschlecht – Patientengeschlecht [M – männlich, W – weiblich]) .....  | 28 |
| <b>Tab. 11:</b> Deskriptive Statistik zur absoluten und relativen Häufigkeit der vereinfachten Modalitätenverteilung je Geschlecht (Pat-Geschlecht – Patientengeschlecht [M – männlich, W – weiblich], OPG – Orthopantomogramm, FRS – Fernröntgenseitenbild, DVT – Digitale Volumentomographie) ..... | 29 |
| <b>Tab. 12:</b> Deskriptive Statistik zur absoluten und relativen Häufigkeit der vereinfachten Modalitätenverteilung je Geschlecht (Pat-Geschlecht – Patientengeschlecht [M – männlich, W – weiblich], OPG – Orthopantomogramm, FRS – Fernröntgenseitenbild, DVT – Digitale Volumentomographie) ..... | 30 |
| <b>Tab. 13:</b> Deskriptive Statistik zur absoluten und relativen Häufigkeit der Indikation für alle extraoralen Aufnahmeverfahren (KFO – Kieferorthopädie, OP – Operation, Proth. ZE – prothetischer Zahnersatz) .....   | 31 |
| <b>Tab. 14:</b> Deskriptive Statistik zur Häufigkeitsverteilung ab Januar 2011 bis Juli 2020 für alle extraoralen Aufnahmeverfahren (KFO – Kieferorthopädie, OP – Operation, Proth. ZE – prothetischer Zahnersatz).....   | 33 |
| <b>Tab. 15:</b> Deskriptive Statistik zur modalitätenbezogenen (vereinfacht) Indikationsstellung (KFO – Kieferorthopädie, OP – Operation, Proth. ZE – prothetischer Zahnersatz).....  | 35 |
| <b>Tab. 16:</b> Deskriptive Statistik zur geschlechterspezifischen Indikationsstellung (Pat-Geschlecht – Patientengeschlecht [M – männlich, W – weiblich], KFO – Kieferorthopädie, OP – Operation, Proth. ZE – prothetischer Zahnersatz).....   | 37 |
| <b>Tab. 17:</b> Mittelwertmodell zum Durchschnittsalter je Modalität und Geschlecht (Pat-Geschlecht – Patientengeschlecht [M – männlich, W – weiblich], (OPG – Orthopantomogramm [KG – Kiefergelenk, Qu. – Kieferquadrant], FRS – Fernröntgenseitenbild, DVT – Digitale Volumentomographie).....      | 39 |
| <b>Tab. 18:</b> Mittelwertmodell zum Durchschnittsalter je vereinfachter Modalität und Geschlecht (Pat-Geschlecht – Patientengeschlecht [M – männlich, W – weiblich], OPG – Orthopantomogramm, FRS – Fernröntgenseitenbild, DVT – Digitale Volumentomographie) .....                                  | 40 |
| <b>Tab. 19:</b> Mittelwertmodell zum Durchschnittsalter je Indikation (Pat- Geschlecht – Patientengeschlecht [M – männlich, W – weiblich], KFO – Kieferorthopädie, OP – Operation, Proth. ZE – prothetischer Zahnersatz).....   | 41 |

### 9.3 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich über den Zeitraum der Promotionsarbeit so tatkräftig unterstützt haben, mir mit Rat und Tat zur Seite standen und mich motivierten, wenn es etwas mühselig voran ging.

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Hans-Joachim Mentzel für die freundliche Betreuung, Geduld und Hilfsbereitschaft während des gesamten Zeitraumes.

Außerdem möchte ich mich herzlichst bei Dr. Marcel Scheithauer bedanken, der stets ein offenes Ohr für mich hatte und mich bei der Umsetzung der Dissertation jederzeit geduldig unterstützte.

Ein weiteres großes Dankeschön geht an Dr. Thomas Lehmann vom Institut für Medizinische Statistik, Informatik und Datenwissenschaften (IMSID), ohne dessen umfangreiche Erklärungen ich heute noch verzweifelt vor dem SPSS- Programm sitzen würde.

Der größte Zuspruch gilt jedoch **meinen lieben Eltern**, ohne deren uneingeschränkte Unterstützung ich das alles nie geschafft hätte. Sie haben mich immer wieder ermutigt, mir den Rücken gestärkt und alle Sorgen und Bedenken in Luft aufgelöst. Dafür bin ich unendlich dankbar!

#### 9.4 Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben:

- **Prof. Dr. Hans- Joachim Mentzel**
- **Dr. Marcel Scheithauer**
- **Dr. Thomas Lehmann**

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Leipzig, 07.12.2022

Unterschrift des Verfassers