



FRIEDRICH-SCHILLER-
UNIVERSITÄT
JENA



DISSERTATION

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

Dosiserfassung bei Kindern und Jugendlichen
am Universitätsklinikum Jena für zahnärztliche
Röntgenaufnahmen

(Zahnfilm-, Aufbiss- und Bissflügelaufnahmen)

vorgelegt dem Rat der Medizinischen
Fakultät

der Friedrich-Schiller-Universität Jena von

Rika Buschek

Jena, 21.09.2022

Gutachter

- 1. Prof. Dr. Hans-Joachim Mentzel, Jena**
- 2. PD Dr. Ina Manuela Schüler, Jena**
- 3. Prof. Dr. Felix Krause, Aachen**

Tag der öffentlichen Verteidigung: 05.06.2023

„Es gibt noch viel zutun, und ich bin sehr beschäftigt“

Wilhelm Conrad Röntgen (1845 – 1923)

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

1. Zusammenfassung	3
2. Einleitung	5
2.1 Sensible anatomische Regionen im Kindes- und Jungendalter	7
2.2 Grundlagen der Röntgenverfahren in der Zahnmedizin	9
2.2.1 Periapikale Aufnahme	9
2.2.2 Bissflügelaufnahme	10
2.2.3 Aufbissaufnahme	10
2.3 Röntgengeräte am UKJ	10
2.3.1 Frühere Röntgengeräte am UKJ	10
2.3.2 Aktuelle Röntgengeräte am UKJ	10
2.4 Dosisbegriffe und Dosiseinheiten	11
2.4.1 Dosisflächenprodukt (DFP)	11
2.4.2 Die effektive Dosis (E)	12
3. Ziele der Arbeit	13
4. Material und Methodik	14
4.1 Studiendesign	14
4.2 Datensatz	14
4.3 Bereinigung der Daten	15
4.4 Vervollständigung der Daten	15
4.5 Statistik	17
5. Ergebnisse	18
5.1 Dosiswerte	18
5.2 Häufigkeitsverteilung jahres- und modalitätenbezogen	18
5.3 Häufigkeitsverteilung indikationsbezogen	22
5.3.1 Absolute und relative Häufigkeiten	22
5.3.2 Relative Häufigkeiten der Indikationen pro Jahr	23
5.3.3 Häufigkeitsverteilung der Indikationen bezogen auf die Altersgruppen	24
5.4 Ermittlung des Durchschnittsalters	25
5.4.1 Durchschnittsalter modalitätenbezogen	25
5.4.2 Durchschnittsalter indikationsbezogen	26
5.5 Ermittlung der Geschlechterverteilung	28

5.5.1 Geschlechterverteilung pro Jahr	28
5.5.2 Alters- und indikationsbezogene Geschlechterverteilung.....	29
6. Diskussion	31
6.1 Dosiswerte und Strahlenbelastung	32
6.2 Häufigkeitsverteilungen und Indikationsstellungen der intraoralen Röntgenaufnahmen.....	39
7. Schlussfolgerung	45
8. Literatur- und Quellenverzeichnis.....	46
9. Anhang	52
9.1 Abbildungsverzeichnis	52
9.2 Tabellenverzeichnis	52
9.3 Danksagung.....	54
9.4 Ehrenwörtliche Erklärung.....	55

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
§	Paragraph
μSv	Mikrosievert
Abb.	Abbildung
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
ALADAIP	As Low As Diagnostically Acceptable being Indication-oriented and Patient-specific
AML	Akute myeloische Leukämie
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
cGy	Zentigray
cm ²	Quadratcentimeter
CML	chronische myeloische Leukämie
DFP	Dosisflächenprodukt
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde
Dr. med.	Doctor medicinae
Dr. med. dent.	Doctor medicinae dentariae
DVT	Digitale Volumetomographie
E	Effektive Dosis
EAPD	The European Academy of Paediatric Dentistry
ECC	Early Childhood Caries
Endo	Endodontie
ICRP	International Commission on Radiological Protection
IT-Abteilung	Informationstechnologie-Abteilung
KFO	Kieferorthopädie

KISID	Krankenhausinformationssystem-Identifikation
kV	Kilovolt, Röhrenspannung
M	Männlich
mA	Milliampere
mAs	Milliamperesekunde, Stromzeitprodukt
mGy	Milligray
MKG	Mund-Kiefer- und Gesichtschirurgie
mSv	Millisievert
OP	Operation
OPG	Orthopantomogramm
PACS	Picture Archiving and Communication System
proth. ZE	prothetischer Zahnersatz
PSA	Panoramaschichtaufnahme
RIS	Radiologieinformationssystem
RÖ	Röntgengerät
SAP	Verwaltungssoftware für Krankenhäuser
SDG	Schmelz – Dentin – Grenze
SSK	Strahlenschutzkommission
Tab.	Tabelle
UKJ	Universitätsklinikum Jena
W	Weiblich

1. Zusammenfassung

Laut Bundesamt für Strahlenschutz entfallen ca. 40 % der in Deutschland angefertigten Röntgenaufnahmen auf die Zahnmedizin. Neben der Panoramaschichtaufnahme stellen die intraoralen Röntgenaufnahmen die häufigsten Röntgenuntersuchungen dar. Vor jeder Strahlenanwendung am Menschen muss ein fachkundiger Arzt die rechtfertigende Indikation stellen. Da auch bei kleiner Strahlendosis stochastische Strahlenwirkungen auftreten können und ein Zusammenhang zwischen Dosis und Auftretswahrscheinlichkeit der stochastischen Wirkung gilt, muss das ALARA-Prinzip eingehalten werden. Dieses besagt, dass so wenig wie vernünftigerweise möglich geröntgt werden soll. Kliniken und Praxen wünschen ein Einführen bzw. Überarbeiten allgemeingültiger Leitlinien im Umgang mit Röntgenstrahlen in der dentalen Pädiatrie. Vorliegende Dosiswerte sind teils sehr inhomogen.

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Ermittlung der Dosisexposition von Kindern und Jugendlichen am Universitätsklinikum Jena (UKJ) im Alter von 0 bis 18 Jahren im Zeitraum vom 1.1.2002 bis 31.7.2020, um den (inter-)nationalen Vergleich zu ermöglichen und gültige Werte für nachfolgende Leitlinien liefern zu können. Untersucht wurden die Modalitäten Zahnfilm-, Bissflügel- und Aufbissaufnahme hinsichtlich der effektiven Dosis (E) und des Dosisflächenproduktes (DFP). Des Weiteren wurden die Daten bezüglich ihrer Indikationsstellungen analysiert: apikale Diagnostik, Endodontie, Fokussuche, Kariesdiagnostik, Kieferorthopädie, Operation (dazu wurden prä-, intra- und postoperatives Röntgen gezählt), Trauma und Zahnanlage. Der Fokus wurde hierbei auf erkennbare Unterschiede in der Alters- und Geschlechterverteilung gelegt.

Für die Indikationsstellung konnte aufgrund unvollständiger digitaler Speicherung der Daten nur auf den Zeitraum von 2011 bis 2020 zurückgegriffen werden. Die Daten wurden aus dem Radiologieinformationssystem (RIS) und dem Picture Archiving and Communication System (PACS) des UKJ extrahiert. Nachfolgend konnten 4.455 Patientenfälle für den gesamten Zeitraum von 1.1.2002 bis 31.7.2020 in die Studie eingeschlossen und mit Hilfe des Programmes IBM SPSS Statistics 27 ausgewertet werden. Für die Zahnfilm- und Bissflügelaufnahmen wurden über den gesamten Untersuchungszeitraum die folgenden Einstellparameter an den Röntgengeräten verwendet: Röhrenspannung bei 60 kV, Röhren-Stromstärke bei 7 mA und die

Belichtungszeit bei 0,1 s. Damit ergab sich für alle Zahnfilm- und Bissflügelaufnahmen ein DFP von $2,57 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ und eine E von $0,77 \text{ } \mu\text{Sv}$. Die Einstellparameter der Aufbissaufnahme betragen 65 kV, 7,5 mA und 0,3 s. Für das DFP und die E wurden $7,43 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ bzw. $2,22 \text{ } \mu\text{Sv}$ ermittelt. Mit 70,2 % der 4.455 Röntgenaufnahmen war die Modalität Zahnfilmaufnahme die vorherrschende Untersuchungsart, gefolgt von der Bissflügelaufnahme mit 20,3 %. Die Indikation Trauma mit 28,7 % und die Kariesdiagnostik bzw. die apikale Diagnostik mit jeweils 22,7 % stellten bei Kindern und Jugendlichen die Hauptindikationen der intraoralen Radiographie dar. Zwischen der Häufigkeit der Modalität Zahnfilmaufnahme und der Indikationen Trauma bzw. apikale Diagnostik als auch zwischen der Bissflügelaufnahme und Kariesdiagnostik konnte ein Zusammenhang festgestellt werden. Das mittlere Patientenalter für eine Zahnfilmaufnahme lag bei $11,7 \pm 4,4$ Jahren, wobei das minimale Alter bei 1,2 und das maximale Alter bei 17,9 Jahren lagen. Für eine Bissflügelaufnahme lag dieses bei $13,5 \pm 3,8$ Jahren (Minimum: 4,2 Jahre, Maximum: 17,9 Jahre) und $10,9 \pm 4,6$ Jahren für die Aufbissaufnahme (Minimum: 1,5 Jahre, Maximum: 17,9 Jahre). Mit durchschnittlichen $9,4 \pm 4,0$ Jahren waren die Kinder bei der Indikationsstellung Trauma deutlich jünger, während sie mit $12,4 \pm 4,3$ Jahren bei der Kariesdiagnostik etwas älter waren. Auch bei der Geschlechterverteilung konnte in der Kategorie Trauma ein Unterschied zwischen dem männlichen und weiblichen Geschlecht verzeichnet werden, indem die Jungen mit 66,5 % vermehrt aufgrund eines dentalen Traumas geröntgt wurden.

Der (inter-) nationale Vergleich der erhobenen Daten zeigt, dass die Dosiswerte und die Inzidenz- und Altersgipfel in der dentalen pädiatrischen Radiologie meist im Bereich der Vergleichsstudien lagen. Allerdings lassen sich die Dosiswerte der intraoralen Röntgenaufnahmen am UKJ nicht zur Einführung allgemeingültiger Referenzwerte in der Kinderzahnheilkunde heranziehen, da wegen der konstanten Einstellwerte an den Geräten das DFP, welches aus diesen Einstellwerten durch die Software des Röntgengerätes berechnet wird, für jede Modalität konstant ist. E wurde unter Annahme eines Konversionsfaktors von $0,03 \text{ mSv} / \text{Gycm}^2$ berechnet. Eine tatsächliche Dosismessung bei den einzelnen Untersuchungen erfolgte nicht. Weitere homogene Studien an verschiedenen Standorten, in denen individuelle Dosismessungen durchgeführt werden, sind nötig, um mittels eines großen Datensatzes an Vergleichswerten Referenzwerte für die radiologische Diagnostik in der Kinderzahnheilkunde definieren zu können.

2. Einleitung

Seitdem die Röntgenstrahlen durch Wilhelm Conrad Röntgen 1895 entdeckt und eingeführt wurden, haben sich die einzelnen Verfahren der Röntgendiagnostik enorm weiterentwickelt. Ziele der Entwicklung neuer Röntgengeräte sind nach wie vor eine optimale Bildqualität auf der einen und eine minimale Strahlenexposition auf der anderen Seite. Ganz im Sinne des As Low As Reasonably Achievable (ALARA) - Prinzips (Seibert 2008), welches mittlerweile zum As Low As Diagnostically Acceptable being Indication - oriented and Patient - specific (ALADAIP) erweitert wurde (Oenning et al. 2018). Mit Einführung der digitalen Verfahren wurde die Durchführung der Röntgenaufnahmen flexibler und schneller. Zudem nahm aufgrund der größeren dynamischen Breite der digitalen Aufnahmedetektoren die Anzahl fehlbelichteter Aufnahmen ab, was insbesondere bei vulnerablen Patientengruppen – wie Kindern oder Schwangeren – von erheblichem Vorteil bezüglich des Strahlenschutzes ist. Dass die Radiologie in der Zahnmedizin ein vorherrschendes Medium zur Diagnostik darstellt, zeigen die jährlichen Zahlen zur Abschätzung der durchgeführten Röntgenuntersuchungen in Deutschland. Hierbei entfielen im Jahr 2018 rund 40 % der Aufnahmen allein auf die Zahnmedizin (Bundesamt für Strahlenschutz 2018).

Ob und wie kritisch diese Zahlen zu beurteilen sind, wird derzeit in der Fachwelt kontrovers diskutiert. Zahnmedizinische Röntgenuntersuchungen verursachen nur einen Dosisanteil von 2 - 4% an der gesamten durch die Radiologie verursachten Kollektivdosis (Kühnisch et al. 2019; Europäische Kommission 2015), sodass in Frage gestellt werden kann, ob Studien zur Strahlenbelastung in der Zahnmedizin überhaupt sinnvoll und nötig sind. Da sich die vorliegende Arbeit aber auf Patienten im Kindes- und Jugendalter bezieht, ist die Sinnhaftigkeit darin begründet, dass die Strahlenempfindlichkeit in dieser Altersgruppe erhöht ist und bereits eine geringe Dosis zu Strahlenschäden führen kann.

Auch mit der letzten Neufassung der Strahlenschutzgesetzgebung (Strahlenschutzgesetz 2017), welche seit 2017 in Kraft ist, liegt weiterhin viel Wert in der Nutzen – Risiko – Abwägung beim Stellen der rechtfertigenden Indikation für eine Röntgenuntersuchung.

Es existieren viele Leitlinien hinsichtlich der pädiatrischen Radiologie in der Humanmedizin, allerdings lassen sich in der aktuellen Literatur wenige explizite Zahlen zum Dosismanagement bzw. zu Referenzwerten sowie Strahlenexposition von Bissflügel-, Zahnfilm- und Aufbissaufnahmen in der Kinderzahnheilkunde finden (Goodwin et al. 2017). Während die Deutsche Gesellschaft für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) der Fachwelt keine Empfehlungen zur zahnärztlichen Anwendung von Röntgenaufnahmen bereitstellt, liefert The European Academy of Paediatric Dentistry (EAPD) aus dem Jahre 2003 (aktualisiert 2019) (Espelid et al. 2003) eine Leitlinie mit möglichen Röntgenintervallen an denen sich der jeweilige Behandler orientieren kann.

Diese wurden in der nachstehenden Tabelle 1 für die intraorale Bissflügelaufnahme verdeutlicht (Kühnisch et al. 2019):

Tab. 1: Empfehlungen zum individuellen Zeitintervall (in Jahren) für die Durchführung der nächsten Bissflügelaufnahme

Zeitintervall für Bissflügelaufnahmen in Jahren		Kariesausdehnung			
Patientenalter	Dentition	Keine Karies	Schmelz-karies	Karies über SDG	Karies im äußeren Dentindrittel
3 – 7	Milchgebiss	-	~ 2 – 3	~ 1	~ 1
7 – 9	Wechselgebiss	-	-	~ 1 – 2	~ 1
10 – 12	Wechselgebiss	-	-	-	-
13 – 16	Permanentes Gebiss	~ 3 – 5	~ 2	~ 1 – 2	~ 1
> 16	Permanentes Gebiss	~ 5 – 10	~ 3	~ 1 – 2	~ 1 – 2

Schmelz – Dentin – Grenze (SDG)

Quelle: Kühnisch et al. 2019

Laut der EAPD weisen Kinder im Alter von 5 Jahren eine erhöhte Kariesaktivität auf, sodass der Einsatz der Röntgendiagnostik bereits frühzeitig in nahezu jedem Kindesalter diskutiert und individuell abgewogen werden soll, auch ohne das Vorhandensein einer klinisch sichtbaren Kavität oder Restauration (Espelid et al. 2003). Andere Autoren sehen den Einsatz der dentalen Radiographie im sehr jungen Patientenalter wiederum kritisch. Dies zeigt auf, wie individuell diese Orientierungshilfen hinsichtlich des Umfangs angewandter Röntgenaufnahmen in der dentalen Pädiatrie ausgelegt werden können und wie wichtig eine regelmäßige Evaluation des eingeschätzten Kariesrisikos bei jedem einzelnen Patienten ist, um ein übermäßiges Röntgen von Kindern durch routinemäßige Röntgenuntersuchungen zu vermeiden. Die zentralen Fragen bleiben also, ob die Röntgenverfahren in der Zahnmedizin mit ihrer jeweiligen effektiven Dosis in ihrer Häufigkeit eine relevante zusätzliche Strahlenbelastung für Kinder und Jugendliche darstellen und ob durch die Ermittlung von altersabhängigen Risikogruppen Leitlinien mit expliziteren Röntgenintervallen / Dosisangaben für diesen Fachbereich erstellt werden können.

2.1 Sensible anatomische Regionen im Kindes- und Jungendalter

Das kindliche Gewebe und der gesamte Körperaufbau von Kindern und Jugendlichen weisen erhebliche, für die Anwendung der pädiatrischen Radiologie, relevante Unterschiede zum Adulten auf. Im Hinblick auf die geringere Körpergröße bei Kindern ist die Gefahr einer Bestrahlung von Nachbarregionen durch Streustrahlung erhöht. Bereiche, in denen sich das sensible erythropoetische Knochenmark befindet, sind im erwachsenen Körper stark reduziert (Schneider und Montz 1966). Für die dentale Radiologie bei Kindern sind der Schädel und die umliegenden Nachbarstrukturen besonders zu beachten. Während der Anteil des blutbildenden Knochenmarks beim adulten Schädel 8 % ausmacht (Schneider und Montz 1966), beträgt er beim kindlichen Schädelknochen 27 % (Alzen und Benz-Bohm 2011). Des Weiteren macht auch der höhere mitosefähige Anteil im jungen Gewebe dieses sehr viel strahlenempfindlicher gegenüber ionisierender Strahlung. Während das Auftreten deterministischer Strahlenschäden aufgrund von intraoraler Radiographie nicht zu erwarten ist, können strahleninduzierte Malignomentstehungen bei Kindern und Jugendlichen aufgrund sehr häufiger Röntgenaufnahmen eine ernst zu nehmende Rolle spielen.

Diese stochastischen Strahlenschäden können sich in Form unterschiedlicher kanzerogener Erkrankungen, wie z. B. der akuten myeloischen Leukämie (AML) oder der chronischen myeloischen Leukämie (CML) manifestieren (Alzen und Benz-Bohm 2011). Bei der intraoralen Radiographie sind vor allem das bukkale Epithel und die Speicheldrüsen direkt der Strahlenexposition ausgesetzt. Folglich wurde in einzelnen Studien die intraorale Schleimhaut hinsichtlich des Vorkommens von Mikrokernen in den Mundschleimhautzellen untersucht, welche teils einen signifikanten Anstieg in der Quantität aufwiesen (Preethi et al. 2016). Aktuell liefern diese Studien zu diesem Thema zwar noch keine zufriedenstellenden Ergebnisse, jedoch kommen vermehrt Biomarker zum Einsatz, um die genotoxischen Folgen, insbesondere der intraoralen Radiographie bei Kindern, eindeutiger beurteilen zu können. Hierfür hat man als Biomarker den Buccal Micronucleus Cytome angewandt, welcher durch das Vorhandensein von Mikrokernen in den bukkalen Wangenschleimhautzellen die genetischen Schäden deutlich machen soll. Bei diesen Studien wurden Wangenepithelzellen von Patienten unterschiedlichen Alters vor und nach einer radiologischen Diagnostik exfoliert und untersucht. Mikrokerne sind Veränderungen im Zytoplasma einer Zelle, die unter anderem als Folge ionisierender Strahlung entstehen können. Diese führt entweder direkt zu einer Schädigung des DNA – Moleküls oder indirekt zu reaktiven Verbindungen (Preethi et al. 2016).

Ein weiteres strahlensensibles Organ, welches sich in unmittelbarer Nähe des zu bestrahlenden Gebietes in der Zahnheilkunde befindet, ist die Schilddrüse. Ionisierende Strahlung wird als die einzige bisher belegte Ursache für die Entstehung des Schilddrüsenkarzinoms angesehen (Memon et al. 2010). Dennoch wird in der aktuellen Strahlenschutzkommission (SSK) keine Notwendigkeit eines Patientenschutzmittels in der Zahnmedizin aufgeführt und die Verantwortung in die Hände des Strahlenschutzverantwortlichen gelegt (Voss 2021; SSK 2018). Aufgrund verschiedener Strahlenquellen, welche im Laufe eines Lebens aufsummiert werden müssen, ist der teratogene Einfluss der Röntgenverfahren in der Zahnmedizin auf das Erbgut oder spezifische Gewebe der Kinder und Jugendlichen schwer abschätzbar (Alzen und Benz-Bohm 2011). Dennoch zeigen die anatomischen Besonderheiten im Kindesalter und die Tatsache, dass 6 – 21 % der Patienten mit zahnärztlichen Röntgenaufnahmen unter 16 Jahre alt sind (Fiebich 2017), dass den dentalen Röntgenverfahren trotz der verhältnismäßig niedrigen effektiven Strahlendosis aufgrund ihrer Häufigkeit in der Anwendung mehr Beachtung geschenkt werden sollte.

2.2 Grundlagen der Röntgenverfahren in der Zahnmedizin

Die am häufigsten angewandten zweidimensionalen radiologischen Verfahren in der Zahnmedizin sind die intraoralen Aufnahmen. Hierzu zählen alle Arten der intraoralen Radiographie, bei denen der Bildrezeptor im Mund des Patienten platziert wird und sich die Röntgenquelle extraoral befindet (Aps et al. 2020). Vor allem in der Kinderzahnheilkunde sind die Zahnfilm-, Bissflügel- und Aufbissaufnahmen weit verbreitet.

2.2.1 Periapikale Aufnahme

Mit Hilfe der periapikalen Zahnfilmaufnahme lassen sich der gesamte Zahn, von der Zahnkrone bis zum Apex und der umliegende Alveolarknochen darstellen. Dadurch werden parodontale Defekte, die Zahnhartsubstanz und das periapikale Gewebe beurteilbar. Man unterscheidet folgende Anwendungstechniken:

Paralleltechnik:

Bei der Paralleltechnik befindet sich der haltergebundene Bildrezeptor parallel zur Zahnachse, auf welchen der Röntgenstrahl rechtwinklig fällt. Der Zahn wird hierbei zwar vergrößert, jedoch unverzerrt und relationsgetreu abgebildet (Rugani und Jakse 2010).

Halbwinkeltechnik:

Bei dieser Technik trifft der Röntgenstrahl rechtwinklig auf die Winkelhalbierende, welche sich zwischen dem Bildrezeptor und dem Zahn befindet. Diese Technik wird notwendig, sofern der Bildrezeptor nicht parallel zur Zahnachse angebracht werden kann. Der Zahn wird in seinen Größen korrekt abgebildet, allerdings sind die Proportionen im Falle einer nicht korrekten Winkeleinstellung verzerrt. Dadurch kann es zu verkleinerten Zahnkronen und verlängerten Wurzeln kommen (Rugani und Jakse 2010).

Rechtwinkeltechnik:

Der Bildträger ist bei der Rechtwinkeltechnik durch einen Halter im rechten Winkel zum Zentralstrahl fixiert, sodass dieser auf die Mitte des Bildträgers trifft. Durch den Halter wird die Fokus – Film – Distanz gewahrt und der Zahn komplett abgebildet (Pasler 2017).

2.2.2 Bissflügelaufnahme

Diese Technik wird insbesondere für die Kariesdiagnostik und die Beurteilung der approximalen Bereiche der Seitenzähne relevant. Durch den Bissflügel ist gewährleistet, dass der Zahnfilm oder -detektor immer parallel zur Zahnachse liegt. Es können mehrere Zähne gleichzeitig dargestellt werden, jedoch ohne Abbildung des dazugehörigen Apex (Rugani und Jakse 2010).

2.2.3 Aufbissaufnahme

Bei den Aufbissaufnahmen liegt der Röntgenfilm parallel zur Okklusionsebene. Je nach Art der Projektion lassen sich Ober- bzw. Unterkiefer in Form von Übersichtsaufnahmen oder Teil- / Halbseitenaufnahmen darstellen. Man nutzt diese Technik, um mögliche Raumforderungen, Speichelsteine oder verlagerte Zähne diagnostizieren zu können (Rugani und Jakse 2010).

2.3 Röntgengeräte am UKJ

2.3.1 Frühere Röntgengeräte am UKJ

Standort Innenstadt:

Dentales Tubusgerät, Heliodont (bis 05/2010 mit Film); Inbetriebnahme 11/1994 bis 10/2012

Dentales Tubusgerät, ORALIX 65S (mit Film); Inbetriebnahme: 11/1994 bis 05/2010

2.3.2 Aktuelle Röntgengeräte am UKJ

Standort Innenstadt:

Dentales Tubusgerät, Heliodont Plus, Fa. Sirona (digital); Inbetriebnahme: 16.10.2012

Standort Lobeda:

Dentales Tubusgerät, Heliodont DS (digital); Inbetriebnahme: 01.11.2004

2.4 Dosisbegriffe und Dosiseinheiten

Die Strahlendosis eines Patienten ist ein entscheidender Begriff des Strahlenschutzes, welche es immer weiter zu kontrollieren und optimieren gilt. Somit werden die relevanten Parameter bzw. Dosisgrößen verschiedener Röntgengeräte untersucht, um die individuelle Strahlendosis messen zu können. Die für den vorliegenden Datensatz wichtigsten Größen sind:

2.4.1 Dosisflächenprodukt (DFP)

Das DFP ist eine Messgröße in der Dosimetrie zur Bestimmung der Energiemenge ionisierender Strahlung und Grundlage zur Ermittlung der Strahlenbelastung bei einer entsprechenden Untersuchung (Nagel 2003). Das DFP erfasst die Einfallsdosis mal bestrahlte Fläche:

$$\text{Dosisflächenprodukt} = \text{Einfallsdosis} \cdot \text{bestrahlte Fläche}$$

Beim DFP wird die über die Fläche exponierte Strahlung als Einfallsdosis gemessen und in cGy x cm² oder Gy x m² angegeben. Das DFP verhält sich proportional zur Feldgröße, sofern die anderen Parameter wie Röhrenspannung (kV), Stromzeitprodukt (mAs) und der Fokus – Objekt – Abstand gleichbleiben. Es ist eine eindeutig messbare Größe und nicht vom Abstand abhängig. Bei Vergrößerung des Abstandes zur Röhre, divergieren die Röntgenstrahlen und das Feld vergrößert sich quadratisch. Gleichzeitig nimmt die Dosis quadratisch ab, sodass das DFP auch bei variabler Entfernung zur Röntgenröhre konstant bleibt (Nagel 2003). Da sich im DFP sowohl Intensität als auch Fläche der Strahlung wiederfinden, kann dieses sehr gut zur Abschätzung des Strahlenrisikos angewandt werden und steht hier im direkten Zusammenhang mit E (Nagel 2003).

2.4.2 Die effektive Dosis (E)

Die effektive Dosis E als Summe der mit organspezifischen Strahlenrisiken gewichteten Äquivalenzdosen der einzelnen Organe beschreibt die stochastische Wirksamkeit und somit das Strahlungsrisiko ionisierender Strahlungsarten auf die verschiedenen Organe und Gewebe des menschlichen Körpers. Die Einheit von E ist Sievert (Sv). Die Effektivdosis wird genutzt, um verschiedene Modalitäten mit ionisierender Strahlung bezüglich ihrer Risiken zu vergleichen (Strahlenschutzkommission 1997). Eine Messung der Effektivdosis ist nicht möglich. Berechnet wird E, indem die Organdosen (D_i) mit dem organbezogenen Gewebe - Wichtungsfaktor (w_i) multipliziert werden (Nagel 2003).

Diese gewichtete Summe (\sum_i) der Organdosen ergibt E:

$$E = \sum_i w_i \cdot D_i$$

E wird in der Regel zum Vergleich des Strahlenrisikos unterschiedlicher Röntgenuntersuchungen genutzt. Jedoch muss hier bedacht werden, dass die einzelnen Gewebe - Wichtungsfaktoren gemittelte Werte darstellen und individuelle Parameter des Patienten wie Alter und Geschlecht unberücksichtigt bleiben (Nagel 2003). Um die Bestimmung von E zu vereinfachen, wurden untersuchungsabhängige Konversionsfaktoren eingeführt.

Dabei gilt der Zusammenhang:

$$E = \text{Konversionsfaktor} \cdot DFP$$

3. Ziele der Arbeit

Nachdem das Thema der vorliegenden Arbeit genauer recherchiert wurde, konnte festgestellt werden, dass die bereits vorhandene Datenbank in Pubmed nur sehr wenig Aufschluss darüber gibt, welche Grenzwerte im Umgang mit Strahlung in der Zahnheilkunde bei Kindern gültig sind. Es wurden folgende Schlagwörter eingegeben: dental x – ray, children, bitewing, intraorale Radiographie, dental film, dosis. Folglich gibt es derzeit keine allgemein gültige Leitlinie bezogen auf die Maximaldosis von Röntgenstrahlung bzw. Maximalwerte von Röntgenaufnahmen bei Kindern in diesem Fachbereich. Aufgrund dieser Problematik sollte mit der vorliegenden Datenanalyse aufgezeigt werden, ob und inwieweit die dentalen Röntgenaufnahmen bei Kindern und Jugendlichen im Alter von 0 bis 18 Jahren am UKJ Einfluss auf deren Strahlenbelastung nahmen. Es wurden die Anzahl und die Dosiswerte der Modalitäten Bissflügel, Zahnfilm- und Aufbissaufnahmen im Zeitraum 1.1.2002 bis 31.7.2020 genauer untersucht.

Folgende Kernfragen sollten in der vorliegenden Studie bearbeitet werden:

1. Wie hoch ist das für die einzelnen Modalitäten durchschnittliche DFP und die daraus berechenbare E mit welchen Kinder und Jugendliche am UKJ geröntgt werden?
2. Sind DFP und E der zahnärztlichen Aufnahmen im Vergleich zu anderen Strahlenquellen als verhältnismäßig gering einzustufen und gab es eine Veränderung dieser im Laufe der Jahre?
3. Welche Indikationen wurden in welcher Häufigkeit für dentale Röntgenaufnahmen bei Kindern und Jugendlichen durchgeführt?
4. Gibt es bestimmte Altersgipfel und Geschlechterverteilungen im Rahmen der intraoralen Röntgenaufnahmen bei Kindern und Jugendlichen?

Angesichts der bestehenden Literatur erfolgte der Vergleich zu den ermittelten Werten am UKJ, um das Erheben bzw. Aktualisieren bestehender Leitlinien zu ermöglichen.

4. Material und Methodik

4.1 Studiendesign

In der vorliegenden Studie wurden die Anzahl der dentalen Röntgenaufnahmen von Kindern und Jugendlichen bezüglich der Verfahren Bissflügel, Zahnfilm- und Aufbissaufnahmen im Zeitraum vom 1.1.2002 bis einschließlich 31.7.2020 erhoben und das DFP sowie die E der einzelnen Modalitäten ermittelt. Aufgrund der geringen Anzahl der Übersichts- und Mundbodenaufnahmen wurden diese in die Aufbissaufnahmen inkludiert.

4.2 Datensatz

Im ersten Schritt fand die Datenerhebung mit Hilfe des Radiologie Information Systems (RIS) und Picture Archiving and Communication System (PACS) durch die IT-Abteilung des UKJ statt. Zu dem Patientenkollektiv zählten alle Kinder und Jugendliche im Alter von 0 bis 18 Jahren am UKJ, welche im Zeitraum vom 01.01.2002 bis zum 31.07.2020 einer dentalen Röntgenuntersuchung unterzogen wurden. Zu den Fachbereichen gehörten die Kieferorthopädie (KFO), Mund – Kiefer – Gesichtschirurgie (MKG) und konservierende bzw. präventive (Kinder-) Zahnheilkunde. Die Aufnahmen der Röntgengeräte für den Kopfbereich RÖ7 und RÖ11 (Standort Alte Post Zahnklinik und MKG Klinikum Lobeda) wurden nach den folgenden Parametern extrahiert:

Identifikationsnummer des Krankenhausinformationssystems (KISID), Name, Vorname, Geburtsdatum, Geschlecht, Untersuchungsdatum, Raum/Gerät, Dosisflächenprodukt, Indikation und Modalität. In einem weiteren Schritt wurde der Datensatz in eine Excel-Tabelle übertragen.

4.3 Bereinigung der Daten

Zu Beginn ergaben die Untersuchungen eines Patienten in der vorläufigen Excel-Tabelle mehrere Zeilen, sodass die Formatierung zu einer Patientenzeile erfolgte. Radiologische Testversuche durch Phantomarbeiten der Studenten an der Zahnklinik, Konstanzprüfungen und aufgelistete Aufnahmen nach dem Erreichen des 18. Lebensjahres wurden aus der Tabelle eliminiert. Die Berechnung des Patientenalters erfolgte mit Hilfe des Programmes Excel bis auf zwei Dezimalstellen.

Röntgendokumentationen wegen stornierter Doppelanmeldungen oder nicht durchgeführte Aufnahmen infolge mangelnder Compliance, welche der Datensatz zum Teil beinhaltete, wurden entfernt. Für das Jahr 2017 waren dies z.B. 35 zusätzliche Aufnahmen. Die Gestaltung der Excel-Tabelle geschah modalitätenbezogen, sodass die Dosiserfassung für die verschiedenen Modalitäten patientenbezogen erfolgen konnte. Im letzten Schritt wurde die gesamte Tabelle hinsichtlich der Modalitäten aufgeteilt. Für die Bissflügel-, Zahnfilm- und Aufbissaufnahmen waren es im Ergebnis 4.455 Röntgenaufnahmen.

4.4 Vervollständigung der Daten

Die individuellen Informationen bezüglich des Geschlechtes und der Indikation einzelner Patienten wurden teils unvollständig durch die Systeme extrahiert, sodass diese manuell ergänzt werden mussten. Es erfolgte ein nochmaliges Aufrufen aller Patienten von den Jahren 2011 bis 2020 mit Hilfe der KISID im RIS und ein Vergleich aller Daten der Excel-Tabelle mit den dazugehörigen Röntgenbildern, um die rechtfertigende Indikation hinzuzufügen. Für die Jahre 2002 bis 2010 konnten keine Indikationen ermittelt werden, da diese nicht vollständig digital hinterlegt waren. Die Indikationen wurden daraufhin in folgende Kategorien klassifiziert: apikale Diagnostik, Endodontie, Fokussuche, Kariesdiagnostik, Kieferorthopädie (KFO), Operation (OP), Trauma und Zahnanlage. Zur Einhaltung der Übersicht fand ein Umbenennen der Modalität Bissflügel rechts bzw. links in die Modalität Bissflügel statt. Daraufhin wurde eine zusätzliche Patientenspalte hinzugefügt, um die Anzahl der Aufnahmen beizubehalten (1 Spalte entspricht 1 Aufnahme). Da es sich um den gleichen Aufnahmemodus handelt, wurden die Modalitäten wie Übersichtsaufnahme Oberkiefer bzw. Unterkiefer oder Mundbodenaufnahme zu Aufbissaufnahmen zusammengefasst.

Der extrahierte Begriff Zahn im vorläufigen Datensatz konnte nach Kontrolle des dazugehörigen Röntgenbildes im RIS oder im Verwaltungssystem SAP in Zahnfilm umbenannt werden. Bei fehlender Angabe, um welchen Zahn es sich handelt, wie z. B. 1 - 3 Zähne, wurden daraus 1 - 3 einzelne Zahnfilmaufnahmen formatiert, sofern diese nach Kontrolle der Röntgenbilder nicht auf einer Aufnahme abgebildet wurden. Die extrahierten Dosiswerte waren des Weiteren nicht immer vollständig bzw. korrekt, da sie zum Teil manuell in der Zahnklinik durch das jeweilige Fachpersonal eingetragen werden. Folglich konnte es durch eine falsch gesetzte Kommastelle zur Veränderung des Endergebnisses kommen. Dies wurde für die Studie korrigiert. Nach Überprüfung der einzelnen Röntgenaufnahmen im RIS / PACS konnte außerdem festgestellt werden, dass die Dokumentation der Dosiswerte im System lückenhaft war. Nach Rücksprache mit dem Strahlenschutzbevollmächtigten des UKJ Herrn Dr. rer. nat. Scheithauer und mit Hilfe der hinterlegten Dosiswerte erfolgte die Mittelung der vorliegenden Ergebnisse für das DFP der jeweiligen Modalitäten. Anschließend wurden die fehlenden Angaben um die gemittelten Werte ergänzt. Mit Hilfe des DFP konnte die effektive Dosis (E) für die jeweiligen Patienten berechnet werden. Die dafür angewandte Formel lautete:

$$E = DFP \cdot \text{Konversionsfaktor des Schädels}$$

Auf Empfehlung von Dr. med. dent. Edgar Hirsch, Leiter der Röntgenabteilung für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten am Universitätsklinikum Leipzig, wurde für den Konversionsfaktor der Wert 0,03 mSv / Gy cm^2 angenommen.

Umrechnungsbeispiel:

Umrechnung des DFP von cGy in Gy (2,57 cGy $\text{cm}^2 \triangleq 0,0257$ Gy cm^2)

z. B.: $E = 0,0257 \text{ Gy}\text{cm}^2 \cdot 0,03 \text{ mSv} / \text{Gy}\text{cm}^2 = 0,000771 \text{ mSv} = 0,77 \text{ }\mu\text{Sv}$

Für die Aufbissaufnahmen konnten aufgrund der mangelnden Datenlage keine eindeutigen Werte berechnet bzw. ermittelt werden. Es wurde mit Hilfe des Instituts für angewandte Ökologie (Küppers, C., Sering, M., et al., Öko – Institut e.V. 2006) ein Wert für E von 2,22 μSv und das DFP von 7,43 cGy cm^2 unter Anwendung des selbigen Konversionsfaktors von 0,03 angenommen.

4.5 Statistik

Die Datenauswertung erfolgte mit IBM SPSS Statistics 27. Unter Anwendung des Programms und nach Beratung durch Herrn Dr. rer. pol. Lehmann, Mitarbeiter des Instituts für Medizinische Statistik, konnten deskriptive Statistiken erhoben und die dentalen Röntgenaufnahmen anhand absoluter und relativer Häufigkeitsverteilungen analysiert werden. Hierfür kam es zur Einteilung unterschiedlicher Kategorien (Jahr, Alter, Indikation, Geschlecht). In einem weiteren Schritt erfolgten statistische Analysen des Patientenalters. Zunächst wurde dieses als abhängige Variable festgelegt, um Mittelwertmodelle durchführen zu können. Eine andere Auswertung mit Hilfe linear gemischter Modelle legte das Patientenalter als Zielvariable fest, wobei der Patient das Random-Effekt bildete. Paarweise Vergleiche und Kreuztabellen machten einen Vergleich der unterschiedlichen Modalitäten mit den einzelnen Kategorien möglich. Die Korrektur aller multiplen Tests erfolgte durch Bonferroni.

5. Ergebnisse

5.1 Dosiswerte

Für die Modalitäten Zahnfilm und Bissflügel bzw. Aufbiss wurden am UKJ die Einstellungsmodi Röhrenspannung, Stromstärke und Belichtungszeit folgendermaßen gewählt:

60 kV, 7 mA und 0,1 s bzw. 65 kV, 7,5 mA und 0,3 s.

Das DFP am UKJ ergab die nachstehenden Werte in $\text{cGy} \times \text{cm}^2$:

Tab. 2: Dosisflächenprodukt (DFP) je Modalität

Modalität	DFP in $\text{cGy} \times \text{cm}^2$
Bissflügel	2,57
Zahnfilm	2,57
Aufbiss	7,43

Das DFP am UKJ konnte nicht exakt für jede Aufnahme aus dem Datensatz extrahiert werden bzw. wird dieses aus den definierten Einstellwerten an den Geräten durch die Software des Röntgengerätes berechnet und ist somit für jede Aufnahme konstant. Damit ergab für alle Zahnfilm- und Bissflügelaufnahmen das DFP $2,57 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$.

Für die Aufbissaufnahme wurde ein Wert von $7,43 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ angenommen (Küppers, C., Sering, M., et al.; Öko – Institut e.V. 2006).

Die effektive Dosis E ergab unter Annahme eines Konversionsfaktors von $0,03 \text{ mSv} / \text{Gy} \times \text{cm}^2$ folgende Werte in μSv :

Tab. 3: Effektive Dosis (E) je Modalität

Modalität	E in μSv
Bissflügel	0,77
Zahnfilm	0,77
Aufbiss	2,22

5.2 Häufigkeitsverteilung jahres- und modalitätenbezogen

Für die absoluten und relativen Häufigkeiten in Prozent der dentalen intraoralen Röntgenaufnahmen Bissflügel, Zahnfilm- und Aufbissaufnahmen ergab sich in der Tabelle 4 folgende Darstellung:

Tab. 4: Absolute und relative Häufigkeiten in % der Röntgenmodalitäten pro Jahr

			Bissflügel	Aufbiss	Zahnfilm	Gesamt
Jahr	2002	Anzahl	70	105	255	430
		% von Jahr	16,3%	24,4%	59,3%	100,0%
	2003	Anzahl	54	113	180	347
		% von Jahr	15,6%	32,6%	51,9%	100,0%
	2004	Anzahl	62	66	112	240
		% von Jahr	25,8%	27,5%	46,7%	100,0%
	2005	Anzahl	35	36	146	217
		% von Jahr	16,1%	16,6%	67,3%	100,0%
	2006	Anzahl	54	23	166	243
		% von Jahr	22,2%	9,5%	68,3%	100,0%
	2007	Anzahl	71	11	131	213
		% von Jahr	33,3%	5,2%	61,5%	100,0%
	2008	Anzahl	54	8	116	178
		% von Jahr	30,3%	4,5%	65,2%	100,0%
	2009	Anzahl	43	8	144	195
		% von Jahr	22,1%	4,1%	73,8%	100,0%
	2010	Anzahl	42	14	153	209
		% von Jahr	20,1%	6,7%	73,2%	100,0%
	2011	Anzahl	29	7	129	165
		% von Jahr	17,6%	4,2%	78,2%	100,0%
	2012	Anzahl	34	7	127	168
		% von Jahr	20,2%	4,2%	75,6%	100,0%
	2013	Anzahl	26	6	145	177
		% von Jahr	14,7%	3,4%	81,9%	100,0%
	2014	Anzahl	40	10	122	172
		% von Jahr	23,3%	5,8%	70,9%	100,0%
	2015	Anzahl	30	4	198	232
		% von Jahr	12,9%	1,7%	85,3%	100,0%
	2016	Anzahl	35	5	258	298
		% von Jahr	11,7%	1,7%	86,6%	100,0%
	2017	Anzahl	60	1	231	292
		% von Jahr	20,5%	0,3%	79,1%	100,0%
	2018	Anzahl	62	0	211	273
		% von Jahr	22,7%	0,0%	77,3%	100,0%
	2019	Anzahl	66	0	207	273
		% von Jahr	24,2%	0,0%	75,8%	100,0%
	2020	Anzahl	36	0	97	133
		% von Jahr	27,1%	0,0%	72,9%	100,0%
Gesamt		Anzahl	903	424	3128	4455
		% von Jahr	20,3%	9,5%	70,2%	100,0%

Die Tabelle 4 zeigt eine Gesamtzahl von 4.455 intraoralen Röntgenaufnahmen, welche im genannten Zeitraum am UKJ zur zahnmedizinischen Diagnostik durchgeführt wurden. Entsprechend der Analyse variierte die Anzahl der Anwendungen pro Jahr über die Jahre hinweg. Zu Beginn der Erfassung im Jahre 2002 lag die Anzahl der Röntgenaufnahmen mit 430 nahezu doppelt so hoch wie im Jahre 2005 (217 Röntgenaufnahmen pro Jahr). Der niedrigste Wert wurde im Jahre 2011 mit nur noch 165 intraoralen Röntgenaufnahmen pro Jahr erreicht. Ab dem Jahr 2015 konnte ein sprunghafter Anstieg mit 232 intraoralen Aufnahmen verzeichnet werden, welcher sich bis zur Jahresmitte 2020 auf einem konstanten Niveau hielt. Analyierte man Tabelle 4 hinsichtlich der jeweiligen Modalitäten ließ sich feststellen, dass die Modalität Zahnfilm, die am häufigsten angefertigte intraorale Röntgenaufnahme mit 70,2 % am UKJ darstellte. Insgesamt handelte es sich im besagten Zeitraum um 3128 Zahnfilmaufnahmen, gefolgt von 903 Bissflügelaufnahmen und nur 424 Aufbissaufnahmen, welche ab 2018 keinen Stellenwert mehr einnahmen. Einen Wandel gab es bei der Diagnostik mit Hilfe der Bissflügelaufnahmen. Während 2002 diese mit nur 16,3 % (70 / 430) der insgesamt 430 Röntgenaufnahmen einen relativ niedrigen Anteil ausmachten, lag der prozentuale Anteil 2019 bereits bei 24,2 % (66 / 273) von insgesamt 273 Aufnahmen.

Anhand der beiden nachfolgenden graphischen Darstellungen ließen sich die Ergebnisse der absoluten Häufigkeiten bezüglich der angefertigten intraoralen Röntgenaufnahmen nochmals deutlicher visualisieren, unter Berücksichtigung, dass die Daten im Jahre 2020 lediglich bis zum 31.07. erfasst wurden:

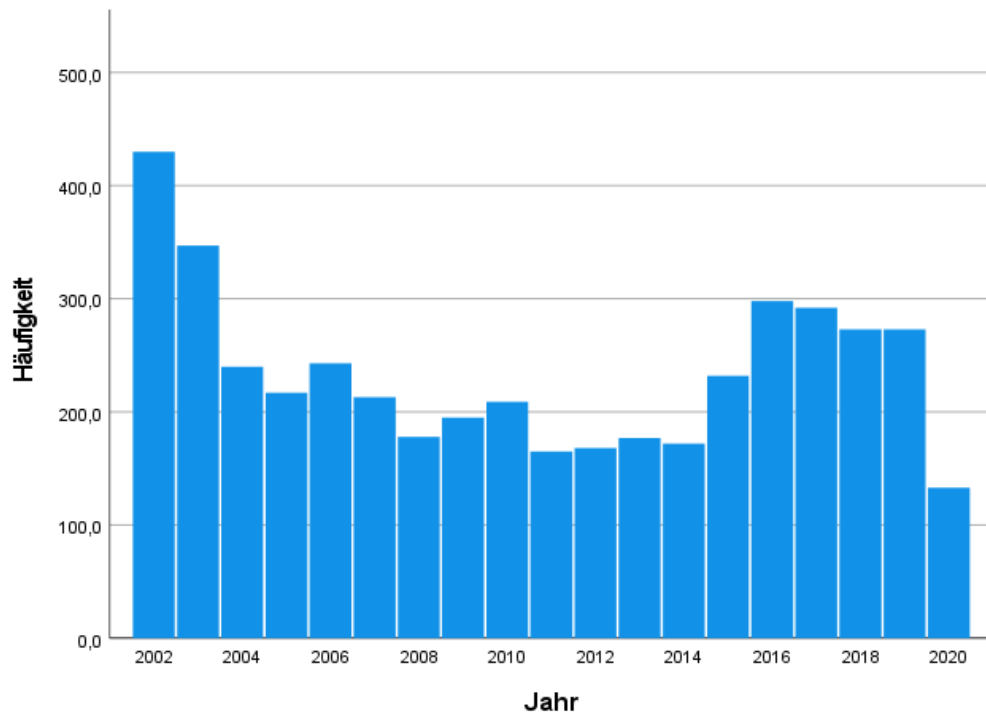


Abb. 1: Balkendiagramm zu den absoluten Häufigkeiten der Röntgenaufnahmen pro Jahr

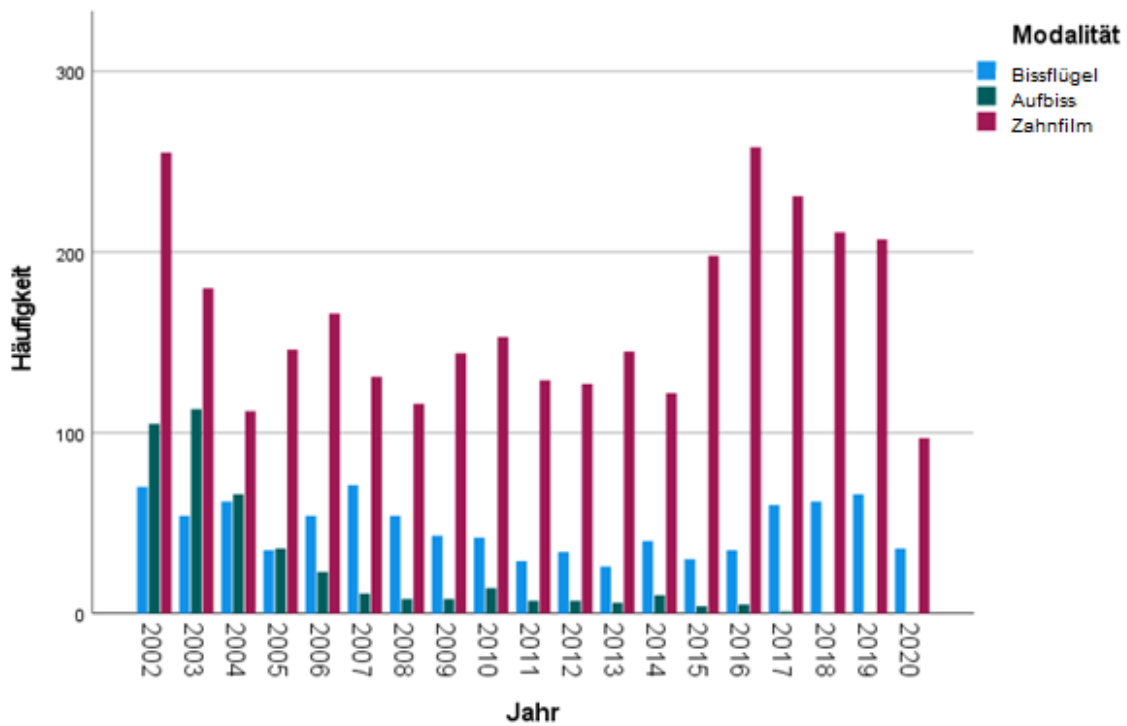


Abb. 2: Balkendiagramm zu den absoluten Häufigkeiten der Röntgenmodalitäten pro Jahr

5.3 Häufigkeitsverteilung indikationsbezogen

5.3.1 Absolute und relative Häufigkeiten

Die absoluten und relativen Häufigkeiten der Indikationsstellungen bezogen auf die 3 Modalitäten am UKJ konnten wie folgt ausgewertet werden:

Tab. 5: Absolute und relative Häufigkeiten in % der Indikationsstellungen bezogen auf die Röntgenmodalitäten

		Häufigkeit	Prozent
Indikation	Apikale Diagnostik	495	22,7
	Endo	244	11,2
	Fokussuche	68	3,1
	Kariesdiagnostik	496	22,7
	KFO	15	0,7
	OP	130	6,0
	Proth. ZE	4	0,2
	Trauma	627	28,7
	Zahnanlage	104	4,8
	Gesamt	2183	100,0

Endodontie (Endo), Kieferorthopädie (KFO), Operation (OP), Prothetischer Zahnersatz (ZE)

Aus der Tabelle 5 der deskriptiven Statistik bezogen auf die absolute und relative Häufigkeit der Indikationsstellungen von intraoralen Röntgenaufnahmen bei Kindern und Jugendlichen am UKJ im Zeitraum von 2011 bis 2020 lässt sich ablesen, dass bei einer Gesamtzahl von 2183 Patienten, die häufigste Indikation das Trauma darstellte. Mit einer Anzahl von 627 wurden diesbezüglich nahezu ein Drittel der Aufnahmen durchgeführt. Mit jeweils 22,7 % wurden die intraoralen Röntgenaufnahmen aufgrund der Kariesdiagnostik und apikaler Diagnostik indiziert und angefertigt. Die am wenigsten gestellten Indikationen stellten prothetischer Zahnersatz (proth. ZE) mit 4 und Kieferorthopädie (KFO) mit 15 Aufnahmen dar.

5.3.2 Relative Häufigkeiten der Indikationen pro Jahr

Die Tabelle 6 veranschaulicht die jährlichen Veränderungen der Indikationsstellungen. Die Indikationen Fokussuche, KFO und proth. ZE wurden nicht berücksichtigt, da diese keinen essentiellen Anteil ausmachten. Die Rubriken apikale Diagnostik und Trauma hielten sich über die Jahre konstant zwischen 22,5 % und 31,1 % bzw. 22,0 % und 31,9 %. Ausnahmen stellten die Jahre 2014 mit 19,2 %, 2018 mit 14,3 % und 2019 mit 18,3 % für die apikale Diagnostik bzw. 2018 mit 37,7 % für das Trauma dar. Ansonsten korrelierten die relativen Häufigkeiten dieser beiden Indikationen eng miteinander, wie z. B. die Jahre 2011 (25,5 % und 26,1 %) und 2015 (28,4 % und 29,7 %) zeigten. Betrachtete man die Indikation Kariesdiagnostik fiel auf, dass ab dem Jahr 2017 ein Anstieg von 15,5 % im Jahre 2015 auf 32,2 % im Jahre 2019 zu verzeichnen war. Die Abundanz der Gruppe Endo wies über die Jahre hinweg keine Konstanz auf. Im Jahre 2015 wurden 6,9 % der Aufnahmen wegen der Indikation Endo durchgeführt, 2 Jahre später waren es 22,9 %. Die Indikationen OP und Zahnanlagen hielten sich im Zeitraum von 2011 bis 2020 auf einem niedrigen Niveau mit zwischen 8 und 22 bzw. 4 und 16 Aufnahmen pro Jahr.

Tab. 6: Absolute und relative Häufigkeiten in % der Indikationsstellungen pro Jahr

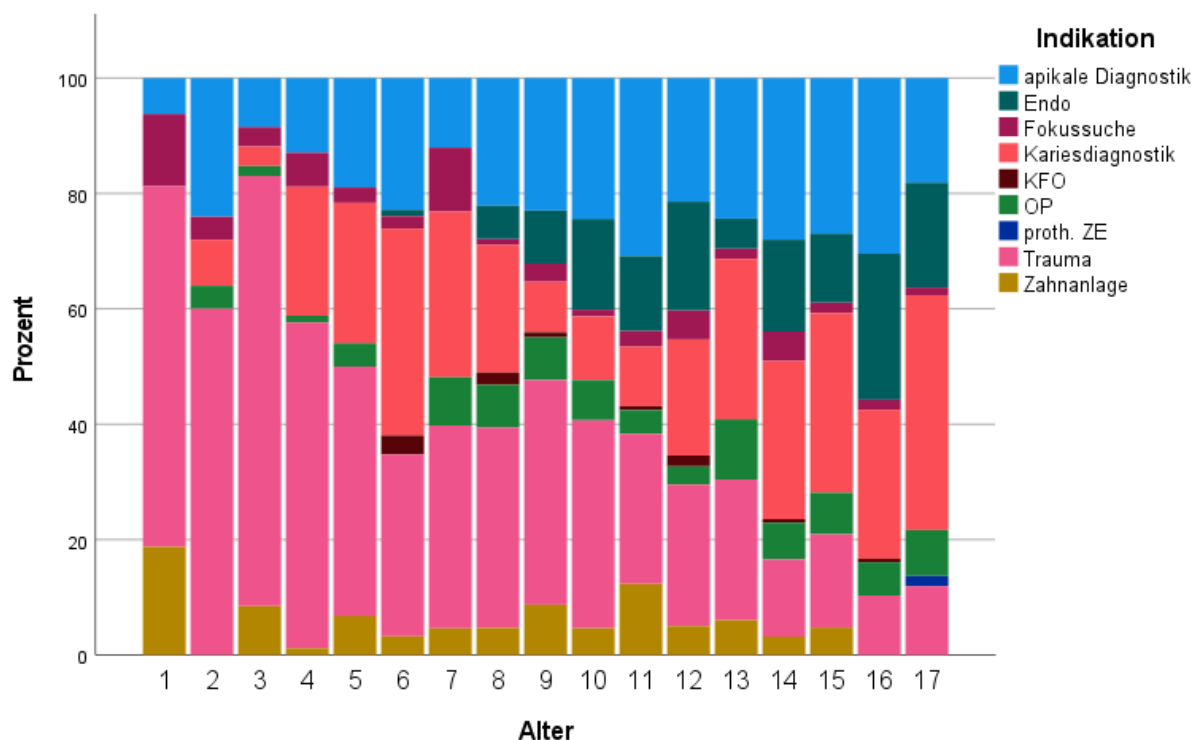
Jahr		Apik. Diagn.	Endo	Karies-diagn.	OP	Trauma	Zahn-anlage	Gesamt
2011	Anzahl	42	23	31	10	43	12	165
	% von Jahr	25,5%	13,9%	18,8%	6,1%	26,1%	7,3%	100,0%
2012	Anzahl	50	17	35	8	37	9	168
	% von Jahr	29,8%	10,1%	20,8%	4,8%	22,0%	5,4%	100,0%
2013	Anzahl	55	15	32	8	49	9	177
	% von Jahr	31,1%	8,5%	18,1%	4,5%	27,7%	5,1%	100,0%
2014	Anzahl	33	12	45	8	46	16	172
	% von Jahr	19,2%	7,0%	26,2%	4,7%	26,7%	9,3%	100,0%
2015	Anzahl	66	16	36	22	69	10	232
	% von Jahr	28,4%	6,9%	15,5%	9,5%	29,7%	4,3%	100,0%
2016	Anzahl	67	42	48	22	89	13	298
	% von Jahr	22,5%	14,1%	16,1%	7,4%	29,9%	4,4%	100,0%
2017	Anzahl	70	67	62	8	65	16	292
	% von Jahr	24,0%	22,9%	21,2%	2,7%	22,3%	5,5%	100,0%
2018	Anzahl	39	22	70	20	103	10	273
	% von Jahr	14,3%	8,1%	25,6%	7,3%	37,7%	3,7%	100,0%
2019	Anzahl	50	22	88	18	87	5	273
	% von Jahr	18,3%	8,1%	32,2%	6,6%	31,9%	1,8%	100,0%
2020	Anzahl	23	8	49	6	39	4	133
	% von Jahr	17,3%	6,0%	36,8%	4,5%	29,3%	3,0%	100,0%
Gesamt	Anzahl	495	244	496	130	627	104	2183
	% von Jahr	22,7%	11,2%	22,7%	6,0%	28,7%	4,8%	100,0%

Apikale Diagnostik (Apik. Diagn.), Endodontie (Endo), Kieferorthopädie (KFO), Operation (OP)

5.3.3 Häufigkeitsverteilung der Indikationen bezogen auf die Altersgruppen

Die folgende Abbildung 3 demonstriert die Variabilität der Indikationsstellungen innerhalb der ersten 18 Lebensjahre in Prozent. Durch die Graphik wurde ersichtlich, dass die dominierende Indikationsrubrik bis zum 9. Lebensjahr das Trauma darstellte, folglich aber danach konstant abnahm und im jugendlichen Alter teils unter 20 % aller intraoralen Aufnahmen lag. Gegenläufig dazu musste die Rubrik Endo genannt werden, welche bis zum 8. Lebensjahr keine Indikation einer intraoralen Röntgenaufnahme ausmachte, fortan jedoch bis zum vollendeten 17. Lebensjahr zu einer nennenswerten Indikation wurde.

Röntgenaufnahmen zur Kariesdiagnostik nahmen ab dem 4. Lebensjahr zahlenmäßig zu. Die häufigsten Aufnahmen bezüglich dieser Kategorie wurden im 6. und ab dem 12. Lebensjahr durchgeführt. Einen nahezu prozentual konstanten Wert lieferten die Indikationen apikale Diagnostik und OP, wobei die MKG im 1. Lebensjahr keine Röntgenaufnahmen aufgrund indizierter Operationen durchführte.



Endodontie (Endo), Kieferorthopädie (KFO), Operation (OP), prothetischer Zahnersatz (ZE)

Abb. 3: Graphik zur Indikationsverteilung innerhalb der Altersgruppen (in Jahren) in %

5.4 Ermittlung des Durchschnittsalters

5.4.1 Durchschnittsalter modalitätenbezogen

Das Durchschnittsalter der Patienten in Jahren bezogen auf die einzelnen Modalitäten am UKJ liefert in der Tabelle 7 folgende Ergebnisse:

Tab. 7: Mittelwertmodell zum Durchschnittsalter in Jahren bezogen auf die Röntgenmodalitäten und das Geschlecht

Patientenalter						
Geschlecht	Modalität	Mittelwert	N	Std.- Abweichung	Min.	Max.
M	Bissflügel	13,20	448	3,85	4,19	17,98
	Aufbiss	11,02	244	4,70	1,50	17,98
	Zahnfilm	11,65	1892	4,38	1,17	17,99
	Insgesamt	11,86	2584	4,37	1,17	17,99
W	Bissflügel	13,86	455	3,78	4,17	17,99
	Aufbiss	10,76	180	4,38	2,84	17,29
	Zahnfilm	11,76	1236	4,31	1,41	17,99
	Insgesamt	12,18	1871	4,31	1,41	17,99
Insgesamt	Bissflügel	13,53	903	3,83	4,17	17,99
	Aufbiss	10,90	424	4,56	1,50	17,98
	Zahnfilm	11,70	3128	4,35	1,17	17,99
	Insgesamt	11,99	4455	4,35	1,17	17,99

Standardabweichung (Std. – Abweichung), Männlich (M), Weiblich (W), Gesamtzahl (N), Minimum (Min.), Maximum (Max.)

Das mittlere Alter bei Anfertigung einer Bissflügelaufnahme lag am UKJ bei $13,5 \pm 3,8$ Jahren. Kinder und Jugendliche, die mit Hilfe eines Zahnfilmes geröntgt wurden, waren hingegen im Durchschnitt 1,8 Jahre jünger. Das jüngste durchschnittliche Alter fand sich bei den Aufbissaufnahmen mit rund $10,9 \pm 4,6$ Jahren wieder.

Die nachfolgende Graphik in Abbildung 4 verdeutlicht das durchschnittliche Patientenalter bezogen auf die absolute Häufigkeit der einzelnen Modalität Bissflügel:

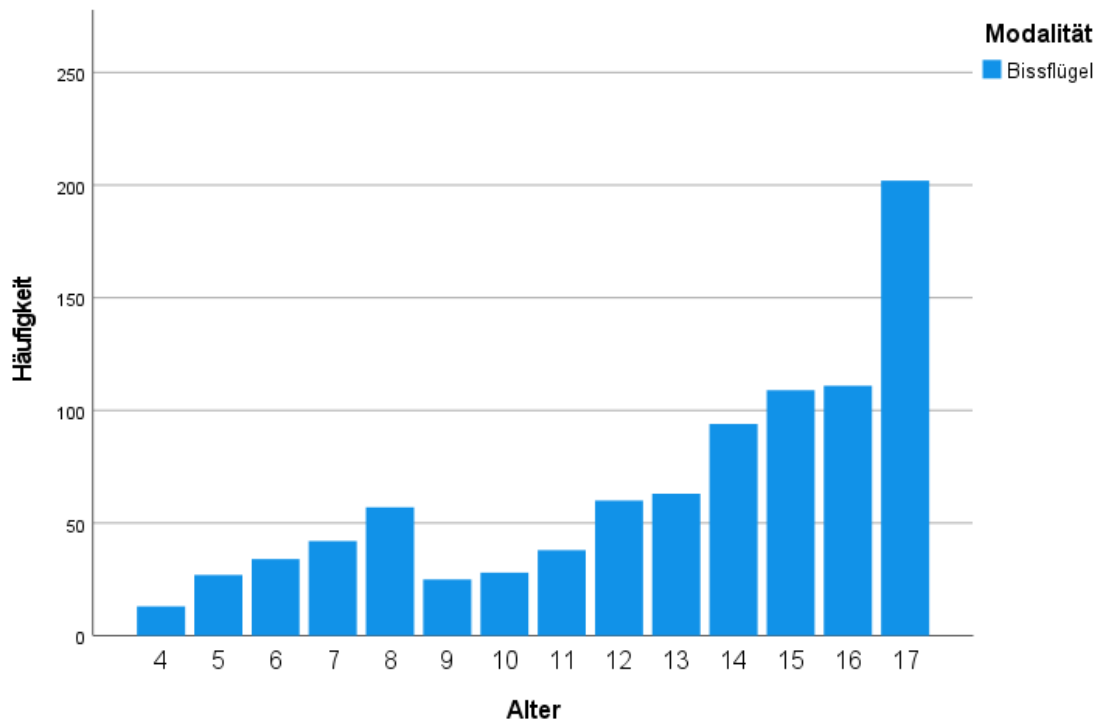


Abb. 4: Balkendiagramm zur Angabe des Lebensalters in Jahren bezogen auf die Röntgenmodalität Bissflügel

Die Abbildung 4 gibt Aufschluss darüber, dass sich die meisten Patienten mit einer Bissflügelaufnahme bereits im jugendlichen Alter befanden. Hier lag der größte Anteil deutlich bei 17 Jahren.

Der erste auffällige Anstieg der angefertigten Bissflügelaufnahmen ließ sich in der 1. Wechselgebissphase der Kinder um das 6. Lebensjahr verzeichnen, welche zwischen dem 6. und 8. Lebensjahr liegt. Zwischen dem 9. und 12. Lebensjahr hingegen gab es einen deutlichen Abfall dieser Modalität, während jedoch mit Beginn des bleibenden Gebisses wieder ein erneuter Anstieg hinsichtlich der angeordneten Bissflügelaufnahmen erkennbar wurde.

5.4.2 Durchschnittsalter indikationsbezogen

Das Durchschnittsalter bezogen auf die einzelnen Indikationsstellungen am UKJ wurde in der Tabelle 8 ausgewertet:

Tab. 8: Mittelwertmodell zum Durchschnittsalter in Jahren bezogen auf die Indikationsstellungen der Röntgenmodalitäten und das Geschlecht

Patientenalter						
Geschlecht	Indikation	Mittelwert	N	Std.- Abweichung	Min.	Max.
M	Apik. Diagn.	12,06	290	3,89	1,75	17,92
	Endo	13,78	164	2,97	8,27	17,94
	Fokussuche	10,59	37	3,84	1,88	17,53
	Karies- diagnostik	12,15	249	4,28	2,83	17,98
	KFO	9,91	11	3,59	6,05	16,71
	OP	11,72	70	3,47	2,90	17,72
	Trauma	9,51	417	4,01	1,22	17,89
	Zahnanlage	9,83	66	3,51	1,17	15,75
	Insgesamt	11,29	1304	4,13	1,17	17,98
W	Apik. Diagn.	11,87	205	3,84	2,54	17,93
	Endo	13,89	80	3,03	6,70	17,88
	Fokussuche	9,61	31	4,66	1,48	17,71
	Karies- diagnostik	12,73	247	4,30	2,60	17,92
	KFO	10,86	4	1,77	8,83	12,34
	OP	12,78	60	3,89	3,40	17,42
	proth. ZE	17,14	4	0,09	17,00	17,19
	Trauma	9,15	210	4,10	1,41	17,86
	Zahnanlage	10,61	38	3,23	1,72	15,87
	Insgesamt	11,59	879	4,28	1,41	17,93
	Insgesamt	Apik. Diagn.	11,98	495	3,87	1,75
Endo		13,81	244	2,98	6,70	17,94
Fokussuche		10,14	68	4,23	1,48	17,71
Karies- diagnostik		12,44	496	4,30	2,60	17,98
KFO		10,16	15	3,18	6,05	16,71
OP		12,21	130	3,69	2,90	17,72
proth. ZE		17,14	4	0,09	17,00	17,19
Trauma		9,39	627	4,04	1,22	17,89
Zahnanlage		10,12	104	3,42	1,17	15,87
Insgesamt		11,41	2183	4,19	1,17	17,98

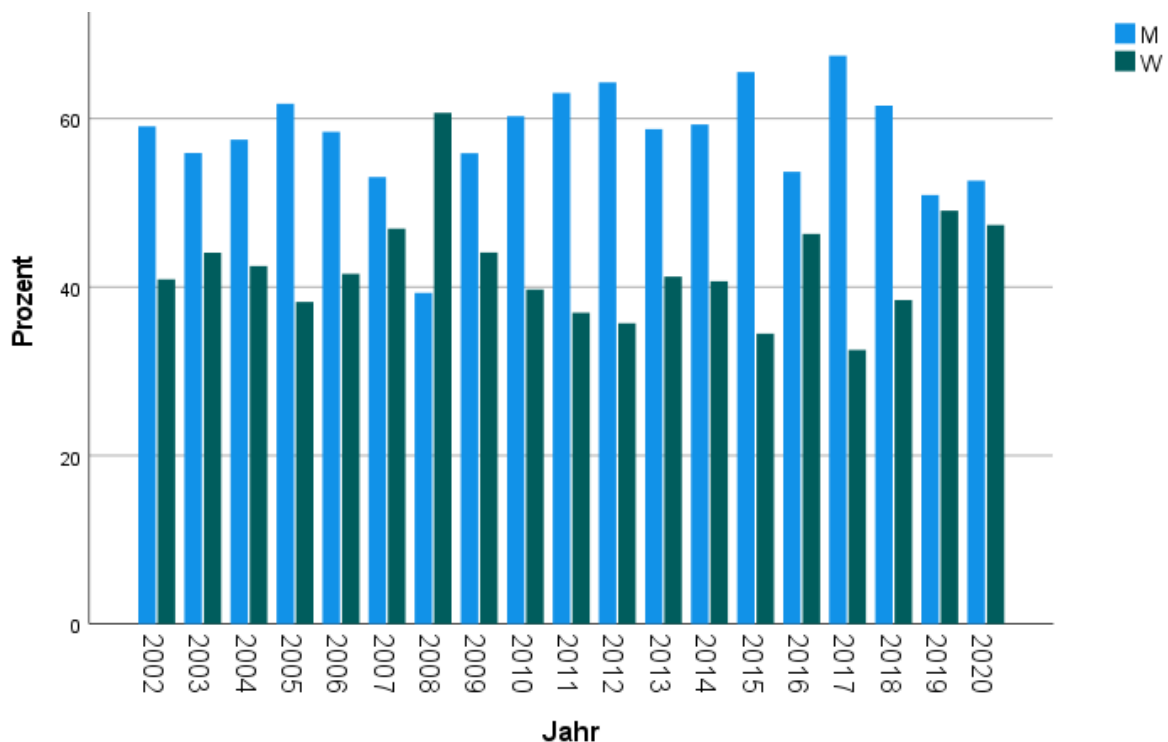
Standardabweichung (Std. – Abweichung), Männlich (M), Weiblich (W), Gesamtzahl (N), Minimum (Min.), Maximum (Max.), Endodontie (Endo), Kieferorthopädie (KFO), Operation (OP), prothetischer Zahnersatz (ZE), Apikale Diagnostik (Apik. Diagn.)

Die deskriptive Statistik aus der Tabelle 8 beschreibt das Durchschnittsalter des Patientenkollektivs der jeweiligen Indikationsstellungen am UKJ in Jahren. Das höchste durchschnittliche Alter lag bei $17,1 \pm 0,1$ Jahren für die Indikation proth. ZE, gefolgt von der Indikation Endo mit $13,8 \pm 3,0$ Jahren. Am jüngsten waren die Patienten mit einem mittleren Alter von $9,4 \pm 4,0$ Jahren, bei denen die rechtfertigende Indikation Trauma gestellt wurde. Eine häufige Indikation der angeordneten intraoralen Röntgenaufnahmen am UKJ stellte die Kariesdiagnostik dar. Hier lag das Durchschnittsalter des Patientenkollektivs bei $12,4 \pm 4,3$ Jahren.

5.5 Ermittlung der Geschlechterverteilung

5.5.1 Geschlechterverteilung pro Jahr

Für die Geschlechterverteilung in Prozent über den untersuchten Zeitraum von 2002 bis 2020 ließen sich die Ergebnisse graphisch wie folgt in der Abbildung 5 darstellen:

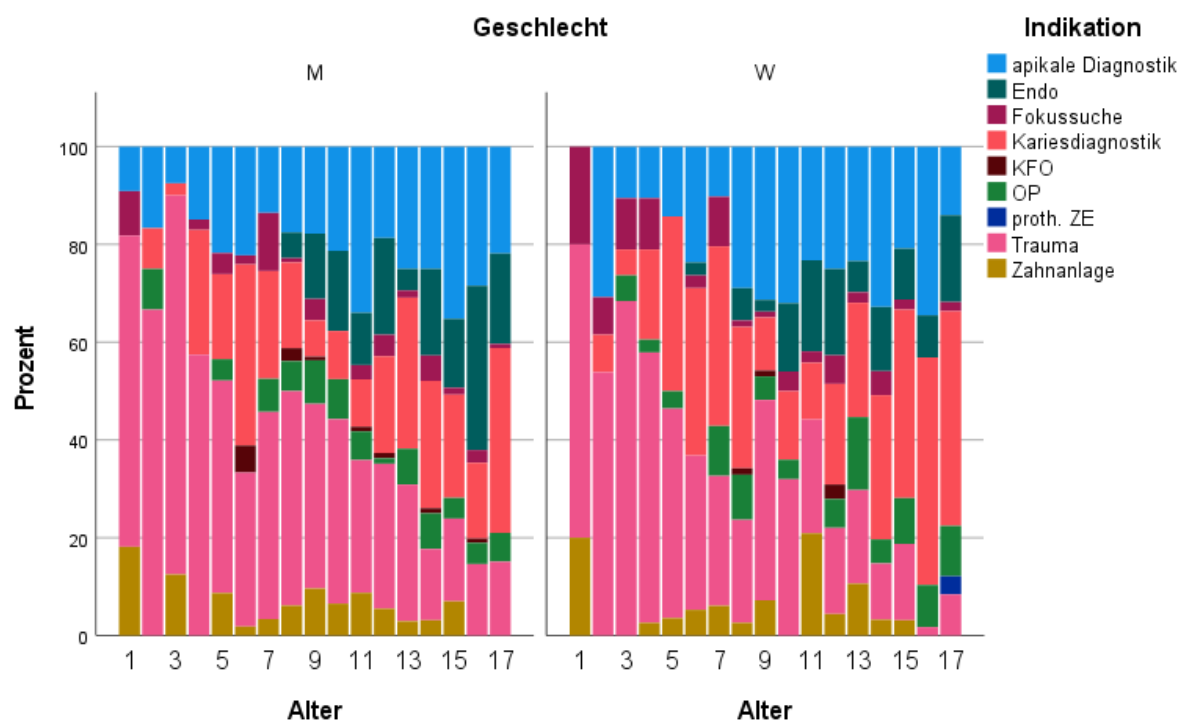


Männlich (M), Weiblich (W)

Abb. 5: Balkendiagramm zur Geschlechterverteilung in % pro Jahr

Die in der Abbildung 5 dargestellte Geschlechterverteilung über die Jahre 2002 bis 2020 in Prozent zeigt, dass die Verteilung nahezu in jedem Jahr bei knapp 60 % Jungen und 40 % Mädchen lag. Ausnahmen stellten hier lediglich die Jahre 2008 mit einer Verteilung von rund 60 % Mädchen und 40 % Jungen und 2017 mit einer Verteilung von über 60 % Jungen und ca. 35 % Mädchen dar.

5.5.2 Alters- und indikationsbezogene Geschlechterverteilung



Endodontie (Endo), Kieferorthopädie (KFO), Operation (OP), prothetischer Zahnersatz (ZE), Männlich (M), Weiblich (W)

Abb. 6: Graphik zur Geschlechterverteilung bezogen auf die Indikation der Röntgenmodalitäten und das Lebensalter in Jahren

Die 2. graphische Darstellung der Geschlechterverteilung in der Abbildung 6 erläutert den Bezug dieser auf die jeweilige Indikationsstellung der Röntgenmodalitäten und das Lebensalter der Patienten in Jahren. Es ergab sich eine nahezu symmetrische Verteilung, sodass nur bei einzelnen Indikationen und Altersgruppen Differenzen zwischen den Geschlechtern erkennbar waren.

Diese Unterschiede wurden in der nachfolgenden Tabelle 9 mit Hilfe prozentualer Werte deutlich.

Insbesondere wich die Geschlechterverteilung bei den Indikationen Trauma, apikale Diagnostik und Endo eindeutig voneinander ab, indem der Anteil der Jungen in den 3 Kategorien mit 58,6 % - 67,2 % höher als der der Mädchen lag (32,8 % - 41,4 %).

Bei einer Gesamtzahl von 496 intraoralen Röntgenaufnahmen, welche aufgrund der Kariesdiagnostik erfolgten, lag die Geschlechterverteilung nahezu bei jeweils 50 % gleichauf.

Tab. 9: Absolute und relative Häufigkeiten in % der Indikationsstellungen der Röntgenmodalitäten pro Jahr

			Geschlecht		Gesamt
			M	W	
Indikation	apikale Diagnostik	Anzahl	290	205	495
		% von Indikation	58,6%	41,4%	100,0%
	Endo	Anzahl	164	80	244
		% von Indikation	67,2%	32,8%	100,0%
	Fokussuche	Anzahl	37	31	68
		% von Indikation	54,4%	45,6%	100,0%
	Kariesdiagnostik	Anzahl	249	247	496
		% von Indikation	50,2%	49,8%	100,0%
	KFO	Anzahl	11	4	15
		% von Indikation	73,3%	26,7%	100,0%
	OP	Anzahl	70	60	130
		% von Indikation	53,8%	46,2%	100,0%
	proth. ZE	Anzahl	0	4	4
		% von Indikation	0,0%	100,0%	100,0%
	Trauma	Anzahl	417	210	627
		% von Indikation	66,5%	33,5%	100,0%
	Zahnanlage	Anzahl	66	38	104
		% von Indikation	63,5%	36,5%	100,0%
Gesamt		Anzahl	1304	879	2183
		% von Indikation	59,7%	40,3%	100,0%

Endodontie (Endo), Kieferorthopädie (KFO), Operation (OP), prothetischer Zahnersatz (ZE), Männlich (M), Weiblich (W)

6. Diskussion

Neben der Panoramaschichtaufnahme sind die verschiedenen intraoralen Röntgenaufnahmen die am häufigsten durchgeführten radiologischen Verfahren in der Zahnmedizin. Vor allem spielen Zahnfilm- und Bissflügelaufnahmen bei Zahnerkrankungen aufgrund eines Traumas oder im Rahmen der Kariesdiagnostik im Kindes- und Jugendalter eine entscheidende Rolle. Durch diese werden Therapieansätze festgelegt oder im Verlauf der Behandlung zum Nutzen des Patienten angepasst. Hierbei gilt es immer wieder den individuellen Nutzen gegen das Strahlenrisiko abzuwägen (Oenning et al. 2018). Die International Commission on Radiological Protection (ICRP) liefert hierzu das Rechtfertigungsprinzip im Strahlenschutz, welches vor allem im Kindesalter nochmals an Bedeutung gewinnt und dem Behandler die Anwendung ionisierender Strahlung untersagt, sofern eine Diagnose auf eine alternative Weise gestellt werden kann (ICRP 2007). Ein Hauptziel der Auswertung des vorliegenden Datensatzes war es, herauszufinden, mit welcher durchschnittlichen effektiven Dosis Kinder und Jugendliche am UKJ im Zeitraum vom 01.01.2002 bis 31.07.2020 geröntgt wurden und ob sich diese im Laufe der Jahre verändert hat. Des Weiteren sollten die Verfahren hinsichtlich der Häufigkeiten, Indikationsstellungen, Geschlechter- und Altersverteilung genauer untersucht werden, um nützliche Daten für die Erstellung einer aktuellen Leitlinie liefern zu können. Ausgewertet wurden hierfür alle Röntgenaufnahmen der Modalitäten Bissflügel, Zahnfilm- und Aufbissaufnahmen von Kindern und Jugendlichen im Alter von 0 bis 18 Jahren am UKJ.

6.1 Dosiswerte und Strahlenbelastung

Fragestellung I

Wie hoch ist das für die einzelnen Modalitäten durchschnittliche DFP und die daraus berechenbare E mit welchen Kinder und Jugendliche am UKJ geröntgt werden?

Fragestellung II

Sind DFP und E der zahnärztlichen Aufnahmen im Vergleich zu anderen Strahlenquellen als verhältnismäßig gering einzustufen und gab es eine Veränderung dieser im Laufe der Jahre?

Die am UKJ ermittelten durchschnittlichen effektiven Dosen (E) von 0,77 μSv für die Modalitäten Bissflügel und Zahnfilmaufnahmen, sowie 2,22 μSv für die Modalität Aufbissaufnahme ergaben im Vergleich zur natürlichen Strahlung in Deutschland von rund 2100 μSv / Jahr (Bundesamt für Strahlenschutz 2022) eine sehr niedrige zusätzliche Strahlenexposition pro Einzelaufnahme für Kinder und Jugendliche. Die natürliche Strahlenexposition entspräche demnach ca. 2727 bzw. 945 intraoralen Aufnahmen im Jahr. Es konnte also grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass einzelne intraorale Röntgenaufnahmen in der Zahnmedizin und die damit verbundene zusätzliche Strahlenbelastung im Vergleich zu anderen Strahlenquellen als verhältnismäßig unkritisch einzustufen sind.

Allerdings musste berücksichtigt werden, dass mit dieser Arbeit nicht die gesamte Dosisexposition für das kindliche Individuum pro Fallvorstellung bzw. für den gesamten Behandlungsverlauf untersucht wurde. So lag die individuelle kumulative Strahlenbelastung bei einem Kind mit einem miserablen Zahnstatus zum Beispiel deutlich höher, da in diesen Fällen ein wiederholtes Röntgen medizinisch indiziert und notwendig war. Dadurch wurde ein Vergleich der vorliegenden Werte auf nationaler und internationaler Ebene interessant, um die scheinbar niedrige Strahlenbelastung gezielter einschätzen zu können.

Einzelne Publikationen wie die von Kiefer et al. haben mit Hilfe von Phantom - Versuchen Werte für die effektive Dosis von intraoralen Röntgenaufnahmen herausgefunden. Jedoch musste bedacht werden, dass bei den meisten Studien die einzelnen Parameter wie Röhrenspannung (kV), Stromstärke (mA) und Belichtungszeit (s) teils variabel waren (90 kV statt 65 kV oder 10 - 15 mA statt 7 mA).

Wie auch bei den extrahierten Daten des UKJ, fehlten in den Einzelfällen die exakten Werte für den Röhrenstrom, die Filterung oder die Belichtungszeit. Es wurden die Werte entsprechend der Arbeitsanweisungen an den Modalitäten bei der Analyse zugrunde gelegt (Kiefer et al. 2004). In der Studie von Kiefer et al. wurde die effektive Dosis eines 14 – Bild – Zahnstatus analog und digital berechnet. Der Wert von E lag mit 41 μSv bei der digitalen Vollmunduntersuchung deutlich unter den 78 μSv eines analog durchgeführten Zahnstatus. Die Arbeit verglich die Werte mit anderen Studien, welche für einen Zahnstatus im Durchschnitt niedrigere Werte erzielten (4,7 – 63 μSv) (Lecomber und Faulkner 1993). Dies hatte unterschiedliche Ursachen. Teils wurden hier weniger Bilder angefertigt, Expositionszeiten kürzer gewählt oder eine höhere Filterung genutzt (Kiefer et al. 2004).

Nach Anwendung der gemittelten Werte der Zahnfilmuntersuchung am UKJ auf einen 14 – Bild – Zahnstatus der Studie von Kiefer und Kollegen, ergab sich ein Wert von 10,7 μSv ($0,77 \mu\text{Sv} \times 14$). Setzte man diesen Wert mit dem Ergebnis von 41 μSv für einen digitalen Zahnstatus der zuvor genannten Studie ins Verhältnis, so waren die 10,7 μSv als vergleichsweise niedrig einzustufen.

Die Daten des UKJ konnten nicht beweisen, ob es eine Veränderung hinsichtlich der Dosis nach Umstellung von analog zu digital durchgeführten Röntgenaufnahmen gab. Aus dem vorliegenden Datensatz ging nicht hervor, zu welchem Zeitpunkt genau diese Umstellung der Röntgengeräte stattfand. Jedoch zeigte die Konstanz der Werte für die effektive Dosis und das DFP über den gesamten Zeitraum hinweg, dass die digitale Umstellung am UKJ wohl keinen maßgeblichen Einfluss auf die Dosis hatte.

In einer weiteren Studie wurden von Granlund und Kollegen ebenfalls Dosismessungen an Phantompatienten durchgeführt, um das biologische Risiko intraoraler Radiographie abzuschätzen (Granlund et al. 2016). Die intraorale Röntgeneinheit, mit der man die Messreihe durchführte, kam mit einer Röhrenspannung von 60 kV, einer Stromstärke von 7 mA und einem rechteckigen Kollimator zum Einsatz. Die effektive Dosis für eine Vollmunduntersuchung betrug in dieser Studie 15 μSv , für eine intraorale periapikale Röntgenaufnahme durchschnittlich 0,8 μSv (0,1 bis 2,6 μSv) und für 4 Bissflügelaufnahmen 3,4 μSv (Granlund et al. 2016).

Eine weitere Publikation zu den untersuchten Daten ermittelte an einem Kopfphantom folgende Werte (verschiedene radiologische Parameter):

Intraorale Vollmunduntersuchung mit hochempfindlichem Film und rechteckiger Kollimation 34,9 μSv , mit hochempfindlichem Film und runder Kollimation 170,7 μSv , sowie mit weniger empfindlichem Film und runder Kollimation 388 μSv . Das Ergebnis dieser Studie sollte zeigen, dass die Patientendosis deutlich reduziert werden kann, indem digitale Bildrezeptoren, hochempfindliche Filme bzw. rechteckige Kollimation genutzt werden (Ludlow et al. 2008). Jedoch werden von einem Großteil der Kliniken, welche über konventionelle Systeme verfügen, weiterhin die weniger empfindlichen Filme genutzt, obwohl die Strahlenexposition mit den hochempfindlichen Filmen um 50% reduziert werden kann (Looe et al. 2006).

Eine der neuesten Metanalysen aus dem Jahr 2021 veröffentlichte mittlere effektive Dosen anhand bereits vorliegender Publikationen aus den Jahren 2010 bis 2020 für die Modalitäten intraorale Radiographie, Panoramaschichtaufnahme (PSA) und Digitale Volumentomographie (DVT). Bei dieser Analyse wurden die Organdosen für Schilddrüse, Knochenmark, Gehirn und Speicheldrüse berücksichtigt. Angelehnt an die Arbeit am UKJ, mussten teils effektive Dosen aus den Organdosen unter Anwendung des Gewebe-Wichtungsfaktors für Knochenmark, Gehirn, Speichel- und Schilddrüse berechnet werden, sofern bestimmte Dosen nicht vorlagen. Es wurden die Faktoren aus den ICRP - Richtlinien angewandt, welche zwischen 0,01 – 0,12 liegen (Vergleich zu dieser Studie: 0,03) (ICRP 2007). Für die intraoralen Aufnahmen wurde folglich ein mittlerer Wert der effektiven Dosis von 1,32 μSv (0,60 - 2,56 μSv) angegeben, wobei aber auch die Erwachsenen - Phantomuntersuchungen mit einbezogen wurden. Der Wert für die effektive Dosis eines 10 Jahre alten Phantomkopfes lieferte bei der Untersuchung und einer Röhrenspannung von 66 kV einen Wert zwischen 0,6 - 0,7 μSv und war nahezu identisch zu der ermittelten effektiven Dosis von 0,77 μSv der Datenanalyse des UKJ (Lee und Badal 2021).

Ein weiterer Vergleich dieser Werte konnte mit einer aktuellen Studie aus dem Jahr 2020 erfolgen, welche in der Abteilung für Stomatologie eines Krankenhauses in China durchgeführt wurde. Auch hier wurden die effektiven Dosen für die drei Kategorien (Intraorale Radiographie, PSA, DVT) an männlichen und weiblichen Phantomen ermittelt und ein Maximalwert bei intraoralen Aufnahmen von 2,56 μSv (Mann) und 2,39 μSv (Frau) angegeben.

Nennenswert und rechtfertigend für die Relevanz der vorliegenden Arbeit waren die verschiedenen ermittelten Organdosen der Publikation aus China, welche die höchsten Ergebnisse bei Schild- und Speicheldrüse lieferten (18,38 - 45,25 μSv) und erneut präsentierten, dass es bei der Durchführung der dentalen intraoralen Radiographie Risiken zu berücksichtigen gilt (Li et al. 2020).

Es ließ sich durch die vorliegenden Ergebnisse konstatieren, dass die Dosiswerte bei der dentalen Radiographie in den verschiedenen Untersuchungen teils variabel waren, maßgeblich davon abhingen, mit welchem Verfahren, welchen Geräten (analog / digital) geröntgt wurde und welche Parameter (kV, mAs) in den jeweiligen Standard Operating Procedures der zahnärztlichen Radiologie - Einrichtungen definiert wurden (Ludlow et al. 2008). Außerdem untersuchten die meisten Studien die effektive Dosis und das DFP in Kombination mit (Erwachsenen-) Phantomversuchen, sodass wichtige Faktoren wie Patientenalter, Körpergröße oder Knochendichte, wie sie bei in-vivo Studien relevant sind, unberücksichtigt blieben und meist nur von geschätzten Werten ausgegangen werden konnte (Kiefer et al. 2004). Durch die hier durchgeführte Datenerhebung am UKJ sollte aber insbesondere der Einfluss des dentalen Röntgens auf Kinder und Jugendliche analysiert werden. Gerade dieser Bereich zeigt in der aktuellen Wissenschaft deutliche Defizite bezüglich Erfahrungsberichte zum Dosisaufkommen bei Kindern und eindeutiger Dosisreferenzwerte.

Zwei nennenswerte Publikationen aus den Jahren 2004 und 2006 beschäftigten sich mit der Ermittlung des DFP, um einheitliche Referenzwerte im Bereich der dentalen Radiographie zu erzielen und Werte der intraoralen Röntgenaufnahmen mit denen der Panoramaaufnahmen ins Verhältnis zu setzen (Tierris et al. 2004; Looe et al. 2006). Die Besonderheit dieser Studien war, dass auch hier der Fokus auf der röntgenologischen Diagnostik bei Kindern und Jugendlichen lag.

Untersucht wurde das DFP an 62 Röntgengeräten verschiedener Praxen bzw. Kliniken in der Region Athens, Griechenland, für 3 Expositionsarten: männlich, weiblich und kindlich (Tierris et al. 2004). Bei dieser Studie lag der Fokus zwar auf der Panoramaschichtaufnahme, jedoch wurden DFP-Messungen auch an 20 intraoralen Röntgengeräten durchgeführt, welche in der Tabelle 10 hervorgehoben wurden. Diese Werte konnten mit den Werten der vorliegenden Daten für die Zahnfilm- und Bissflügelaufnahmen (2,57 cGycm², 60 kV, 7 mA, 0,1 s) verglichen werden. Aus der nachstehenden Tabelle wird deutlich, dass alle 4 Parameter immer im Verbund betrachtet werden müssen.

Tab. 10: Dosisflächenprodukte für intraorale Röntgenaufnahmen

kV	n	mA	s	DFP in cGycm²
50	7	10	0,6	8,0
60	6	8	0,4	6,2
70	7	8	0,2	3,4

Röhrenspannung (kV), Anzahl (n), Stromstärke (mA), Belichtungszeit (s), Dosisflächenprodukt (DFP)

Quelle: Tierris et al. 2004

Die Multicenter-Studie aus dem Jahr 2006 (Looe et al. 2006) führte an 52 Röntgengeräten bei 45 unterschiedlichen Zahnärzten im Bundesland Niedersachsen DFP-Messungen durch, welche für die intraorale dentale Diagnostik im klinischen Alltag genutzt wurden. 4 dieser Röntgengeräte wurden mit 50 kV bedient, 6 mit 60 kV, 30 mit 65 kV und 12 mit 70 kV. Ziel war es, Referenzwerte für die intraorale Radiographie bei Kindern festzulegen.

Die Ergebnisse zeigten, dass nicht alle untersuchten Röntgengeräte über einen Einstellungsmodus mit reduzierter Belichtungszeit oder niedriger Röhrenspannung für Kinder verfügten und Kinder somit teils mit der Belichtungszeit eines Erwachsenen geröntgt wurden. 32 der 52 Geräte wiesen für das Röntgen von Kindern und Jugendlichen eine niedrigere Röhrenspannung oder geringere Belichtungszeit auf. Die restlichen Geräte verfügten nicht über diese voreingestellten Parameter für Kinder.

Unter Berücksichtigung der Einstellungsparameter für Kinder wurden Werte für das DFP zwischen 1,4 und 4,9 cGycm² erhoben. Ließ man diese unberücksichtigt, lag das DFP zwischen 2,0 und 4,8 cGycm² (Looe et al. 2006).

Einen Ausblick zur Einführung konkreter Referenzwerte im Bereich der dentalen Radiographie bei Kindern lieferte ein Ressortforschungsvorhaben des Bundesamtes für Strahlenschutz (Borowski 2009). Hier werteten Borowski und Kollegen 2009 statistische Daten zum Thema der Strahlenexposition von Kindern bei dentalen Röntgenuntersuchungen aus, um Referenzwerte für die Diagnostik zu liefern. Über einen Zeitraum von September 2006 bis August 2007 wurden von 4385 Zahnärzten Abrechnungsdaten bezüglich radiologischer Untersuchungen der Kassenzahnärztlichen Vereinigung Niedersachens eingereicht. Die Studie inkludierte unter anderem 54 Tubusgeräte.

Für alle Untersuchungsmethoden wurde das DFP als Vergleichsmessgröße für die Strahlenexposition angewandt. Einen Unterschied zur Datenerhebung des UKJ ließ sich bei dieser Arbeit bezüglich der Altersverteilung erkennen, da Personen ab dem vollendeten 16. Lebensjahr bereits als Erwachsene galten.

Um den Vergleich mit den Werten des UKJ zu skizzieren, wurden die ermittelten DFP-Werte aus der Arbeit von Borowski tabellarisch in den Tabellen 11 und 12 dargestellt:

Tab. 11: Statistische Daten zur Strahlenexposition von Kindern bei Einzelzahn-Aufnahmen des Ober- bzw. Unterkiefers

Statistisches Maß	DFP in cGycm ²			
	OK-Molar	OK-Prämolar	OK-Eckzahn	OK-SZ
Mittelwert	4,14	3,02	2,74	2,74
Statistisches Maß	DFP in cGycm ²			
	UK-Molar	UK-Prämolar	UK-Eckzahn	UK-SZ
Mittelwert	2,91	2,39	2,16	1,87

Dosisflächenprodukt (DFP), Oberkiefer (OK), Unterkiefer (UK), Schneidezahn (SZ)

Quelle: In Anlehnung an Borowski 2009

Der Mittelwert des DFP bei diesen Aufnahmen lag demnach zwischen 1,87 cGy x cm² und 4,14 cGy x cm², sodass das DFP der Zahnfilmaufnahmen des UKJ von 2,57 cGy x cm² mit diesen Ergebnissen weitestgehend übereinstimmt.

Tab. 12: Statistische Daten zur Strahlenexposition von Kindern bei Bissflügelaufnahmen sowie bei Aufbissaufnahmen des Ober- bzw. Unterkiefers

Statistisches Maß	DFP in cGycm ²		
	Bissflügel	Aufbiss OK	Aufbiss UK
Mittelwert	3,54	4,27	4,54

Dosisflächenprodukt (DFP), Oberkiefer (OK), Unterkiefer (UK)

Quelle: In Anlehnung an Borowski 2009

Der Mittelwert des DFP bei den Bissflügelaufnahmen lag bei der Arbeit von Borowski um $0,97 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ höher als der ermittelte Wert am UKJ, wohingegen die Werte für die Aufbissaufnahmen im Vergleich niedriger sind (UKJ: $7,43 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$). Hier muss jedoch die mangelnde Datenlage der Aufbissaufnahmen am UKJ berücksichtigt werden, sodass ein Vergleich dieser Werte nur eingeschränkt zu bewerten ist.

Die aktuelle Datenbank und die vorliegende Arbeit konzentrierten sich insbesondere auf die Ermittlung von Dosiswerten bei intraoralen Röntgenaufnahmen. Als Daten des UKJ wurden für die analysierten Modalitäten lediglich die dokumentierten Mittelwerte für die effektive Dosis und das DFP erhoben, sodass keine Aussagen bezüglich einer individuellen Strahlenexposition für die Patienten bzw. einer Veränderung dieser über die Jahre hinweg getroffen werden konnten. Dies ist kritisch zu sehen und reduziert die Aussagekraft der vorliegenden Arbeit für die Erhebung von Referenzwerten. Um gültige und einheitliche diagnostische Referenzwerte für Praxen und Kliniken einführen zu können, bedarf es homogenerer Studien, die sich nicht nur mit der Ermittlung der Patientendosis allein beschäftigen, sondern auch auf die Befundbarkeit der Röntgenbilder und optimierte Bildqualität eingehen.

6.2 Häufigkeitsverteilungen und Indikationsstellungen der intraoralen Röntgenaufnahmen

Fragestellung III:

Welche Indikationen wurden in welcher Häufigkeit für dentale Röntgenaufnahmen bei Kindern und Jugendlichen durchgeführt?

Fragestellung IV:

Gibt es bestimmte Altersgipfel und Geschlechterverteilungen im Rahmen der intraoralen Röntgenaufnahmen bei Kindern und Jugendlichen?

Für die Auswertung der Indikationsstellungen konnte nur auf den Datensatz des Zeitraumes von 2011 bis 2020 zurückgegriffen werden, da erst ab 2011 die Indikationen für die dentalen Röntgenaufnahmen digital hinterlegt waren. Die Indikationen für intraorale Aufnahmen am UKJ wurden in die folgenden Kategorien eingeteilt: apikale Diagnostik, Endodontie, Fokussuche, Kariesdiagnostik, Kieferorthopädie, Operation, prothetischer Zahnersatz, Trauma und Zahnanlage.

Neben einheitlichen Dosisreferenzwerten sind auch Röntgenintervalle für Leitlinien von Relevanz, sodass die Daten des UKJ auch hinsichtlich rechtfertigender Indikationen, der Häufigkeitsverteilungen in bestimmten Altersgruppen und der Geschlechterverteilung der untersuchten Kinder für die jeweiligen intraoralen Röntgenmodalitäten ausgewertet wurden. Ziel war es, Phasen in der kindlichen Entwicklung zu ermitteln, in welchen die Notwendigkeit häufigeren Röntgens in der Zahnmedizin indiziert scheint. Um in den (inter-) nationalen Vergleich gehen zu können, wurden die vorliegenden Ergebnisse mit den Untersuchungen anderer Studien verglichen. Genutzt wurden hier vorrangig Publikationen aus der Datenbank Pubmed. Aufgrund der fehlenden konkreten Leitlinien im Umgang mit der dentalen Radiographie bei Kindern, analysierte 2020 Aps et al. die Effektivität und die Indikationen der intraoralen radiologischen Diagnostik in der Kinderzahnheilkunde. Untersucht wurden in dieser Metanalyse die folgenden Kategorien: Karies, Parodontalerkrankungen, Traumata, akute Infektionen, entwicklungsbedingte Anomalien und Pathologie (Aps et al. 2020). Diese Einteilung korrelierte mit den Indikationsrubriken des UKJ.

Die Analyse der Daten des UKJ zeigte den Zusammenhang zwischen der Häufigkeit der Modalität Zahnfilmaufnahme und der Indikationen Trauma und apikale Diagnostik, sowie der Bissflügelaufnahme und Kariesdiagnostik.

Anhand der Metanalyse von Aps und Kollegen wurde deutlich, dass exakte Empfehlungen für zahnärztliches Röntgen nach einem dento-alveolären Trauma bei Kindern fehlen (Aps et al. 2020) und die Daten diesbezüglich international noch sehr stark in der Fachliteratur variieren (Day und Duggal 2010). Global wird die Prävalenz eines Zahntraumas im Milchgebiss zwischen 11 % und 47 % angegeben (Lembacher et al. 2022). Nur mit Hilfe homogener Studienergebnisse könnten genaue Therapieansätze generiert, die physischen und psychischen Folgen des Traumas auf die Lebensqualität der Kinder minimiert (Lam 2016; Craddock 2009) und eine überdurchschnittlich hohe Quantität an Folgeuntersuchungen vermieden werden (Brüllmann et al. 2010).

Die Relevanz eindeutiger Behandlungskonzepte wird durch die Tatsache unterstrichen, dass insbesondere der erste Zahnarztbesuch bei Kleinkindern aufgrund eines Traumas stattfindet (Lam 2016). Die intraorale Röntgenaufnahme stellt im Vergleich zur klinischen Analyse nach Zahntrauma an Milchzähnen das diagnostische Mittel der Wahl dar und zeigt die Notwendigkeit des Röntgens in ausgewählten Fällen auch im jungen Alter (Holan und Yodko 2017).

Im Durchschnitt stellte das Trauma am UKJ im Zeitraum von 2011 bis 2020 mit 28,7 % die häufigste Indikation für intraorale Aufnahmen dar, gefolgt von apikaler- und Kariesdiagnostik mit jeweils 22,7 %. Das durchschnittliche Alter bei einer Zahnfilmaufnahme, welche das übliche radiologische Verfahren bei traumatischen Zahnverletzungen darstellte, betrug $11,7 \pm 4,4$ Jahre. Bezogen auf die Indikation Trauma, betrug das durchschnittliche Alter am UKJ $9,4 \pm 4,0$ Jahre, welches durch andere Studien bestätigt wurde. In diesen lag der Gipfel der Inzidenz zwischen 7 und 12 Jahren und wurde durch die zunehmende sportliche Aktivität der Kinder und Jugendlichen begründet (Brüllmann et al. 2010; Day und Duggal 2010; Naidoo et al. 2009; Díaz et al. 2010). Eine Studie aus Österreich beschrieb einen weiteren Alterspeak zwischen 2 und 3 Jahren, da das zunehmende selbstständige Laufen der Kinder einen Risikofaktor darstellt (Lembacher et al. 2022). Dies korrelierte mit den Ergebnissen der Daten des UKJ, da auch hier ein Gipfel im Alter von 2 bis 3 Jahren erkennbar war (Vergleich Abbildung 6).

Eine vergleichbare aktuelle retrospektive Pilotstudie aus dem Jahr 2021 untersuchte das Vorkommen eines Zahntraumas bei 1- bis 14- jährigen Kindern an einer Klinik in Neu-Delhi (Abteilung für Kinderzahnheilkunde und präventive Zahnmedizin) über einen Zeitraum von 10 Monaten. Die Studie inkludierte 6.765 Kinder, von denen 85 die Klinik primär aufgrund eines Zahntraumas aufsuchten. Das durchschnittliche Alter betrug hier 9,98 Jahre (Goswami und Aggarwal 2021), wobei Jungen mit 10,16 Jahren und Mädchen mit 9,28 Jahren repräsentiert waren. Auch diese Studie konnte eine steigende Prävalenz im Alter von 10 - 12 Jahren beweisen, sodass die Werte des UKJ vergleichbar sind.

Einen prädisponierenden Faktor für ein Zahntrauma lieferte bei der Studie aus Indien das Geschlecht. Die Häufigkeit bei Jungen lag hier bei 78,8 % (Goswami und Aggarwal 2021). Dieser Wert lag damit höher als in der hier vorliegenden Arbeit (66,5 %).

Einen Geschlechtsunterschied ließ sich am UKJ hingegen im höheren Alter zwischen 16 und 17 Jahren bei beiden Geschlechtern erkennen. Während die Indikation Trauma bei 16- jährigen Jungen rund 18 % aller intraoralen Aufnahmen betrug, war diese bei Mädchen desselben Alters vernachlässigbar gering. Des Weiteren lag der Anteil der Röntgenaufnahmen für die Indikationen Endodontie, welche meist Folge eines Traumas sein kann, bei Jungen in diesem Alter mit rund 25 % ebenfalls über dem der Mädchen. Als Hauptursachen für diese Unterschiede wurden in anderen Studien die körperliche Auseinandersetzung Gleichaltriger oder erneut die sportliche Aktivität genannt (Lembacher et al. 2022).

Weitere Publikationen zeigten ebenfalls tendenziell höhere Werte beim männlichen Geschlecht bzgl. der Indikation Trauma (Soriano et al. 2004; Patel und Sujana 2012), obwohl neuere Studien postulieren, dass sich die Prävalenz eines Traumas im höheren Kindesalter auszugleichen scheint, da Mädchen und Jungen im Jugendalter mittlerweile ähnliche sportliche Freizeitaktivitäten verfolgen und sich die prädisponierenden Faktoren für das Auftreten von Zahnfrakturen inzwischen ähneln (Glendor 2008).

Neben der Zahnfilmaufnahme stellte in der Kinderzahnheilkunde die intraorale Bissflügelaufnahme mit durchschnittlichen 20,3 % von insgesamt 4.455 Röntgenaufnahmen ein weiteres entscheidendes diagnostisches Verfahren dar. Diese Modalität wurde am UKJ nahezu ausnahmslos zur (approximalen) Kariesdiagnostik angewandt, sodass das durchschnittliche Patientenalter einer Bissflügelaufnahme von $13,5 \pm 3,8$ Jahren mit dem der initialen Kariesdiagnostik von $12,4 \pm 4,3$ Jahren korrelierte und erwartungsgemäß etwas höher lag.

Die Kariesdiagnostik wurde durch bestimmte Peaks im Alter von 4 bis 8 Jahren und 12 bis 17 Jahren gekennzeichnet, wodurch deutlich wurde, dass insbesondere die Wechselgebissphasen einen Risikofaktor für das Aufkommen von Kavitäten im kindlichen Alter darstellen. Einzelne Schwankungen ließen sich hier bei den Geschlechtern in den Altersgruppen zwischen 7 bis 8 Jahren und 14 bis 16 Jahren erkennen, in denen Mädchen vermehrt, aufgrund (potenzieller) kariöser Läsionen, am UKJ geröntgt wurden. Zudem zeigte sich in dieser Studie eine steigende Abundanz der durchgeführten Bissflügelaufnahmen von 16,3 % der insgesamt 430 Aufnahmen im Jahre 2002 auf 24,2 % der 273 Aufnahmen im Jahre 2019, sodass die Anwendung dieses radiologischen Verfahrens in der Kinderzahnheilkunde vermehrt beleuchtet werden muss.

Dies fordern auch aktuelle Studien bzw. Metanalysen, welche sich immer wieder mit der Frage beschäftigen, ob die Bissflügelaufnahme als Methode zur Kariesdiagnostik einen signifikanten Mehrwert bringt (Gimenez et al. 2021).

Leider lieferten auch die Studienergebnisse zur diagnostischen Effektivität der Bissflügelaufnahmen inhomogene Ergebnisse, sodass auch diese radiologische Modalität, bezüglich für die Praxis einheitlicher Referenzwerte, genauer untersucht werden muss.

Einige Studien stellten die Vorteile der Bissflügelaufnahmen eindeutig in Frage. Während die einen allein die rein visuelle Kariesdiagnostik für den Großteil der jüngeren Patienten als ausreichend ansahen (Gimenez et al. 2021; Pontes et al. 2020), ging eine andere sogar noch einen Schritt weiter und besagte, dass die zusätzliche radiologische Kariesdiagnostik zu viele falsch positive Ergebnisse lieferte und dies eine Übertherapie der Kinder zur Folge hätte. In dieser Studie, welche den Kariesnachweis von 3- bis 6- jährigen Kindern über 2 Jahre untersuchte, wurde sogar von einem höheren Schaden als Nutzen für den Patienten gesprochen (Pontes et al. 2021).

Dies steht im klaren Widerspruch zur Meinung vieler Kinderzahnärzte, welche die Karieserkrankung, vor allem im Milchgebiss, als weiterhin großes Behandlungsproblem ansehen. Die Early Childhood Caries (ECC) stellt auch aktuell immer noch die häufigste chronische Erkrankung im Vorschulalter dar (Bekes 2021). Die EAPD beschreibt eine hohe Kariesprävalenz bei 5-jährigen Kindern und gibt eine klare Empfehlung auch bei nicht sichtbaren kariösen Kavitäten, Bissflügelaufnahmen in diesem Alter durchzuführen.

Außerdem wurden die Altersgruppen 8 bis 9 Jahre und 12 bis 14 Jahre als Risikogruppen identifiziert und eine dentale radiologische Kontrolluntersuchung könnte hier erfolgen (Espelid et al. 2003).

Diese Altersgruppen stimmen nahezu mit den Daten am UKJ überein. Weiterhin gibt die EAPD auch Intervalle vor, in denen Kinder geröntgt werden können und teilte diese hierfür in Risikogruppen ein (Vergleich Tabelle 1). Bei einem Kind mit geringem bis mittlerem Kariesrisiko kann ein Abstand von 2 bis 3 Jahren gewählt werden, bei Kindern mit hohem Risiko sollte die Kontrolluntersuchung jährlich erfolgen.

Die bereits zuvor erwähnte Metaanalyse von Aps et al. analysierte das Aufkommen einer (früh-) kindlichen Karies und die damit einhergehende radiologische Diagnostik. Die Daten wurden bei dieser Metanalyse aus elektronischen Datenbanken und Handbüchern extrahiert. Zu Beginn konnten 4449 Artikel von Aps et al. zusammengetragen werden, von welchen 32 definitiv in die Analyse miteinbezogen wurden. Zunächst wurden die Kinder in 3 Hauptgruppen eingeteilt: Primär-, Wechsel- und permanentes Gebiss. Danach separierten Aps und Kollegen diese nochmals hinsichtlich ihrer Kariesprogression.

Die Metaanalyse kam zu dem Ergebnis, dass die klinische Untersuchung allein, die Kariesprävalenz zu unterschätzen scheint und dass selbst Kinder ohne hohe Kariesaktivität von einer intraoralen radiologischen Untersuchung profitieren würden (Sköld et al. 1997). Eine zusätzliche Bissflügelaufnahme sei bei Kindern im Alter von 4 bis 6 Jahren mit bereits durchgebrochenen Molaren und schwieriger klinischer Diagnostik indiziert. In der Milchgebissphase, kombiniert mit einem hohen Kariesrisiko, gingen die Empfehlungen sogar soweit, Röntgenuntersuchungen ab dem 1. bis 4. Lebensjahr durchzuführen, um eine genaue Kontrolle gewährleisten zu können (Cortes et al. 2017). In den höheren Altersgruppen unterschieden sich die Meinungen der Studien allerdings wieder stark.

Während die einen bei kariesfreien Gebissen von 8- Jährigen keinen Vorteil in einer röntgenologischen Routineuntersuchung sahen (Ruiken et al. 1982), gingen die anderen davon aus, dass diese Patientengruppe, vor allem durch das Erkennen einer approximalen Karies, deutlich von einer radiologischen Diagnostik profitieren würde (Hintze und Wenzel 1994; Llana-Puy und Forner 2005).

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass die Bissflügelaufnahme, insbesondere in der Kinderzahnheilkunde, ein relevantes radiologisches Verfahren zur Kariesdiagnostik darstellt. Dies lässt sich primär durch den Aspekt unterstreichen, dass bei Kindern mit einer hohen Kariesaktivität rund 41 % der Kariesläsionen durch die reine visuelle Diagnostik übersehen wurden (Gowda et al. 2009).

Aufgrund der sehr unterschiedlichen und geringen Angaben bezüglich des optimalen Zeitpunktes und der Frequenz von intraoralen Aufnahmen in der Kinderzahnheilkunde, ist eine allgemein gültige Leitlinie einzufordern, damit Kliniker und Zahnärzte im praktischen Alltag die dentale Radiographie bei Kindern und Jugendlichen optimal anwenden können.

Zu beachten ist, dass die weiteren Indikationen, neben Trauma und Kariesdiagnostik, nicht mit anderen Studien verglichen werden konnten, da die intraorale Radiographie zum einen für diese nicht immer das Standardverfahren darstellt bzw. es keine eindeutigen Studien zu diesen in der Kinderzahnheilkunde gibt. Die Analyse der relativ hohen Zahlen für die Indikation Endodontie und apikale Diagnostik der hier erhobenen Daten deutete darauf hin, dass davon ausgegangen werden muss, dass es sich teils um Folgeuntersuchungen des zuvor im jüngeren Alter aufgetretenen Traumas oder der kariösen Läsion handelte.

7. Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der ausgewerteten Daten zeigen, dass die Hauptindikationen der intraoralen Radiographie am UKJ wie Trauma, apikale Diagnostik und Kariesdiagnostik, weitestgehend mit denen der anderen Kliniken und Praxen übereinstimmen. Auch der Vergleich mit den Auswertungen anderer nationaler und internationaler Studien hat gezeigt, dass die Zeitpunkte und Indikationen der durchgeführten radiologischen Untersuchungen in der Zahnheilkunde des UKJ mit vielen Inzidenz- und Altersgipfeln übereinstimmen, es jedoch aufgrund mangelnder aktueller Leitlinien große Unsicherheiten im Hinblick auf die Wahl des richtigen Zeitpunktes des Röntgens bei Kindern und auch Abweichungen bei den Werten der effektiven Dosis oder des Dosisflächenproduktes gibt.

Die ermittelten Dosiswerte der intraoralen Röntgenaufnahmen am UKJ sind jedoch nicht für das Einführen allgemeingültiger Referenzwerte in der Kinderzahnheilkunde verwendbar, da das DFP aufgrund der konstanten Einstellwerte an den Geräten für jede Modalität als konstant angenommen wurde und keine individuellen Dosiserhebungen vorliegen. Es konnte unter Annahme eines Konversionsfaktors von $0,03 \text{ mSv} / \text{Gycm}^2$ berechnet werden. Eine tatsächliche Dosismessung erfolgte allerdings nicht. Es ist zu fordern, dass künftige Studien mit individueller Dosismessung an verschiedenen Standorten erfolgen sollten, um mittels eines großen Datensatzes Referenzwerte für die radiologische Diagnostik in der Kinderzahnheilkunde definieren zu können.

8. Literatur- und Quellenverzeichnis

- Alzen G, Benz-Bohm G: Radiation protection in pediatric radiology. *Dtsch Arztebl Int* 2011; 108(24): 407–14.
- Aps, J.K.M., Lim, L.Z., Tong, H.J. et al. Diagnostic efficacy of and indications for intraoral radiographs in pediatric dentistry: a systematic review. *Eur Arch Paediatr Dent* 21, 429–462 (2020).
- Bekes, K. Frühkindliche Karies. *DFZ* 65, 46–53 (2021).
- Borowski, M.: Erhebung von statistischen Daten zur Exposition von Kindern bei zahnmedizinischen Röntgenuntersuchungen zur Erstellung von diagnostischen Referenzwerten: Abschlussbericht zum UFO-Plan Vorhaben 3607S04559. Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz; 09/09: 23-24.
<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2009011293> [17.09.22].
- Brüllmann D, Schulze RK, d'Hoedt B. Die Behandlung von anteriorem Zahntrauma. *Dtsch Arztebl Int*. 2010 Aug;108(34-35):565-70.
- Bundesamt für Strahlenschutz. Röntgendiagnostik: Häufigkeit und Strahlenexposition für die deutsche Bevölkerung (Stand: 14.04.22).
<https://www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-medizin/diagnostik/roentgen/haeufigkeit-exposition.html> [29.05.22].
- Bundesamt für Strahlenschutz. Von der Aktivität zur Dosis (Stand: 25.01.22).
https://www.bfs.de/DE/themen/ion/strahlenschutz/einfuehrung/aktivitaet-dosis/aktivitaet-dosis_node.html [01.06.22].
- Cortes A, Ekstrand KR, Gamboa LF, González L, Martignon S. Caries status in young Colombian children expressed by the ICCMS™ visual/radiographic combined caries staging system. *Acta Odontol Scand*. 2017 Jan;75(1):12-20.
- Craddock HL. Consequences of tooth loss: 1. The patient perspective--aesthetic and functional implications. *Dent Update*. 2009 Dec;36(10):616-9.
- Day P, Duggal M. Interventions for treating traumatised permanent front teeth: avulsed (knocked out) and replanted. *Cochrane Database Syst Rev*. 2010 Jan 20;(1):CD006542.
- Díaz JA, Bustos L, Brandt AC, Fernández BE. Dental injuries among children and adolescents aged 1-15 years attending to public hospital in Temuco, Chile. *Dent Traumatol*. 2010 Jun;26(3):254-61.

- Espelid I, Mejåre I, Weerheijm K; EAPD. EAPD guidelines for use of radiographs in children. *Eur J Paediatr Dent*. 2003 Mar;4(1):40-8.
- Europäische Kommission (EK). Strahlenschutz. Nr. 180. Medizinische Strahlenbelastung der europäischen Bevölkerung. Luxemburg: Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union. 2015:36.
<https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/RP180.pdf> [01.06.22].
- Fiebich, M. Praktischer Strahlenschutz am Patienten in der radiologischen Diagnostik. *Radiologe* 57, 534–540 (2017).
- Gimenez T, Tedesco TK, Janoian F, Braga MM, Raggio DP, Deery C, Ricketts DNJ, Ekstrand KR, Mendes FM. What is the most accurate method for detecting caries lesions? A systematic review. *Community Dent Oral Epidemiol*. 2021 Jun;49(3):216-224.
- Glendor, U. (2008), Epidemiology of traumatic dental injuries – a 12 year review of the literature. *Dental Traumatology*, 24: 603-611.
- Goodwin TL, Devlin H, Glenn AM, O'Malley L, Horner K. Guidelines on the timing and frequency of bitewing radiography: a systematic review. *Br Dent J*. 2017 Apr 7;222(7):519-526.
- Goswami M, Aggarwal T. Prevalence of Traumatic Dental Injuries among 1- to 14-year-old Children: A Retrospective Study. *Int J Clin Pediatr Dent* 2021;14(4):467–470.
- Gowda S, Thomson WM, Foster Page LA, Croucher NA. What difference does using bitewing radiographs make to epidemiological estimates of dental caries prevalence and severity in a young adolescent population with high caries experience? *Caries Res*. 2009;43(6):436-41.
- Granlund, C., Thilander-Klang, A., Ylhan, B., Lofthag-Hansen, S., & Ekestubbe, A. (2016). Absorbed organ and effective doses from digital intra-oral and panoramic radiography applying the ICRP 103 recommendations for effective dose estimations. *The British journal of radiology*, 89(1066), 20151052.
- Hintze H, Wenzel A. Clinically undetected dental caries assessed by bitewing screening in children with little caries experience. *Dentomaxillofac Radiol*. 1994 Feb;23(1):19-23.
- Holan G, Yodko E. Radiographische Hinweise auf traumatische Verletzungen der primären Schneidezähne ohne begleitende klinische Symptome. *Dent Traumatol*. 2017 Apr;33(2):133-136.

- ICRP, 2007. Die Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission aus dem Jahr 2007. ICRP-Veröffentlichung 103. Ann. ICRP 37 (2-4).
- Kiefer H, Lambrecht JT, Roth J. Strahlenexposition von analogen und digitalen Zahnstaten und Panoramaschichtaufnahmen [Dose exposure from analog and digital full mouth radiography and panoramic radiography]. Schweiz Monatsschr Zahnmed. 2004;114(7):687-93. German.
- Kühnisch J, Anttonen V, Duggal MS, Spyridonos ML, Rajasekharan S, Sobczak M, Stratigaki E, Van Acker JWG, Aps JKM, Horner K, Tsiklakis K. Best Clinical Practice Guidance for Producing Dental Radiographs in Children and Adolescents: an EAPD policy document. Eur Arch Pädiatr Dent. 2020 Aug;21(4):375-386. Epub 2019 25. November.
- Küppers C, Sering M, Poppe B, Poplawski A, Looe H.K., Beyer D, Pfaffenberger A, Chofer N, Eenboom F. 15.11.2006. Erarbeitung eines Konzepts zur Ermittlung der Strahlenexposition von Patienten bei zahnmedizinischen Röntgenuntersuchungen und Erhebung von statistischen Daten zur Erstellung von diagnostischen Referenzwerten. Öko – Institut e.V., StSch 4436 – Abschlussbericht: 37.
- Lam R. Epidemiology and outcomes of traumatic dental injuries: a review of the literature. Aust Dent J. 2016 Mar;61 Suppl 1:4-20.
- Lecomber AR, Faulkner K. Organabsorbierte Dosen in der intraoralen dentalen Radiographie. Br. J. Radiol. 1993 Nov;66(791):1035-41.
- Lee, H., & Badal, A. (2021). A Review of Doses for Dental Imaging in 2010-2020 and Development of a Web Dose Calculator. Radiology research and practice, 2021, 6924314.
- Lembacher, S., Schneider, S., Lettner, S. et al. Prevalence and patterns of traumatic dental injuries in primary teeth: a 3-year retrospective overview study in Vienna. Clin Oral Invest 26, 2085–2093 (2022).
- Li Y, Huang B, Cao J, Fang T, Liu G, Li X, Wu J. Estimating Radiation Dose to major organs in dental x-ray examinations: a phantom study. Radiat Prot Dosimetry. 2020 Dec 30;192(3):328-334.
- Llena-Puy C, Forner L. A clinical and radiographic comparison of caries diagnosed in approximal surfaces of posterior teeth in a low-risk population of 14-year-old children. Oral Health Prev Dent. 2005;3(1):47-52.

- Looe HK, Pfaffenberger A, Chofor N, Eenboom F, Sering M, Rühmann A, Poplawski A, Willborn K, Poppe B. Radiation exposure to children in intraoral dental radiology. *Radiat Prot Dosimetry*. 2006;121(4):461-5.
- Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, White SC. Patient risk related to common dental radiographic examinations: the impact of 2007 International Commission on Radiological Protection recommendations regarding dose calculation. *J Am Dent Assoc*. 2008 Sep;139(9):1237-43.
- Memon A, Godward S, Williams D, Siddique I, Al-Saleh K. Zahnrontgenaufnahmen und das Risiko von Schilddrüsenkrebs: eine Fall-Kontroll-Studie. *Acta Oncol*. 2010 Mai;49(4):447-53.
- Nagel HD. Strahlenphysikalische Grundlagen der Röntgendiagnostik: Wechselwirkungsprozesse, Strahlungserzeugung, Filterung, Kontrastgebung, Detektion, Dosisbegriffe. *Phys. Med. Biol*. 2003: 31-33.
- Naidoo S, Sheiham A, Tsakos G. Traumatic dental injuries of permanent incisors in 11- to 13-year-old South African schoolchildren. *Dent Traumatol*. 2009 Apr;25(2):224-8.
- Oenning, A.C., Jacobs, R., Pauwels, R. et al. Cone-beam CT in paediatric dentistry: DIMITRA project position statement. *Pediatr Radiol* 48, 308–316 (2018).
- Pasler F. 2017. Zahnärztliche Radiologie. 6. unveränderte Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG: S.95.
- Patel MC, Sujan SG. The prevalence of traumatic dental injuries to permanent anterior teeth and its relation with predisposing risk factors among 8-13 years school children of Vadodara city: an epidemiological study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*. 2012 Apr-Jun;30(2):151-7.
- Pontes LRA, Lara JS, Novaes TF, Freitas JG, Gimenez T, Moro BLP, Maia HCM, Imperato JCP, Braga MM, Raggio DP, Mendes FM; CARDEC collaborative group. Negligible therapeutic impact, false-positives, overdiagnosis and lead-time are the reasons why radiographs bring more harm than benefits in the caries diagnosis of preschool children. *BMC Oral Health*. 2021 Mar 31;21(1):168.

- Pontes LRA, Novaes TF, Lara JS, Gimenez T, Moro BLP, Camargo LB, Michel-Crosato E, Pannuti CM, Raggio DP, Braga MM, Mendes FM. Impact of visual inspection and radiographs for caries detection in children through a 2-year randomized clinical trial: The Caries Detection in Children-1 study. *J Am Dent Assoc.* 2020 Jun;151(6):407-415.e1.
- Preethi N, Chikkanarasaiah N, Bethur SS. Genotoxic effects of X-rays in buccal mucosal cells in children subjected to dental radiographs. *BDJ Open.* 2016 Mar 25;2:1600.
- Rugani P, Jakse N. 09.04.2010. Der aktuelle Stand der Röntgendiagnostik in der Zahnmedizin – Teil 2. ZMK-aktuell.
https://www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/allgemeine-zahnheilkunde/story/der-aktuelle-stand-der-roentgendiagnostik-in-der-zahnmedizin--teil-2__3918.html [01.06.22].
- Ruiken HM, Truin GJ, König KG. Feasibility of radiographical diagnosis in 8-year-old schoolchildren with low caries activity. *Caries Res.* 1982;16(5):398-403.
- Schneider C, Montz R. Die quantitative Verteilung des erythropoetischen Knochenmarks beim Menschen gemessen mit Radioeisen. *Klin Wochenschr.* 1966 Aug 15;44(16):969-73.
- Seibert JA. Digitale Radiographie: Bildqualität und Strahlendosis. *Health Phys.* 2008 Nov;95(5):586-98.
- Sköld UM, Klock B, Lindvall AM. Differences in caries recording with and without bitewing radiographs. A study on 5-year old children in the County of Bohuslän, Sweden. *Swed Dent J.* 1997;21(3):69-75.
- Soriano EP, Caldas AF Jr, Góes PS. Risk factors related to traumatic dental injuries in Brazilian schoolchildren. *Dent Traumatol.* 2004 Oct;20(5):246-50.
- Strahlenschutzgesetz. Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz - StrlSchG); Strahlenschutzgesetz vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966): 17-18.
- Strahlenschutzkommission. Anwendung der effektiven Dosis bei medizinischen Untersuchungen. Verabschiedet in der 147. Sitzung am 3./4. Juli 1997
 Veröffentlicht in: - Bundesanzeiger Nr. 213 vom 14. November 1997 -
 Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 41: 5-6.

Strahlenschutzkommission. Verwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln bei der diagnostischen Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen Empfehlung der Strahlenschutzkommission und wissenschaftliche Begründung. Verabschiedet in der 297. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 13./14. Dezember 2018: 6.

Tierris CE, Yakoumakis EN, Bramis GN, Georgiou E. Dose area product reference levels in dental panoramic radiology. Radiat Prot Dosimetry. 2004;111(3):283-7.

Voss K. 16.08.21. Diese Patientenschutzmittel sind erforderlich. zm-online, 111, Nr. 15-16: 24-25.

https://www.zm-online.de/archiv/2021/15_16/praxis/diese-patientenschutzmittel-sind-erforderlich/ [29.05.22].

9. Anhang

9.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Balkendiagramm zu den absoluten Häufigkeiten der Röntgenaufnahmen pro Jahr	21
Abb. 2: Balkendiagramm zu den absoluten Häufigkeiten der Röntgenmodalitäten pro Jahr	21
Abb. 3: Graphik zur Indikationsverteilung innerhalb der Altersgruppen (in Jahren) in %	24
Abb. 4: Balkendiagramm zur Angabe des Lebensalters in Jahren bezogen auf die Röntgenmodalität Bissflügel	26
Abb. 5: Balkendiagramm zur Geschlechterverteilung in % pro Jahr	28
Abb. 6: Graphik zur Geschlechterverteilung bezogen auf die Indikation der Röntgenmodalitäten und das Lebensalter in Jahren	29

9.2 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Empfehlungen zum individuellen Zeitintervall (in Jahren) für die Durchführung der nächsten Bissflügelaufnahme.....	6
Tab. 2: Dosisflächenprodukt (DFP) je Modalität.....	18
Tab. 3: Effektive Dosis (E) je Modalität	18
Tab. 4: Absolute und relative Häufigkeiten in % der Röntgenmodalitäten pro Jahr..	19
Tab. 5: Absolute und relative Häufigkeiten in % der Indikationsstellungen bezogen auf die Röntgenmodalitäten	22
Tab. 6: Absolute und relative Häufigkeiten in % der Indikationsstellungen pro Jahr	23
Tab. 7: Mittelwertmodell zum Durchschnittsalter in Jahren bezogen auf die Röntgenmodalitäten und das Geschlecht.....	25
Tab. 8: Mittelwertmodell zum Durchschnittsalter in Jahren bezogen auf die Indikationsstellungen der Röntgenmodalitäten und das Geschlecht	27
Tab. 9: Absolute und relative Häufigkeiten in % der Indikationsstellungen der Röntgenmodalitäten pro Jahr	30
Tab. 10: Dosisflächenprodukte für intraorale Röntgenaufnahmen	36

Tab. 11: Statistische Daten zur Strahlenexposition von Kindern bei Einzelzahn- Aufnahmen des Ober- bzw. Unterkiefers.....	37
Tab. 12: Statistische Daten zur Strahlenexposition von Kindern bei Bissflügelaufnahmen sowie bei Aufbissaufnahmen des Ober- bzw. Unterkiefers	38

9.3 Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. med. habil. Hans - Joachim Mentzel, leitender Arzt der Kinderradiologie Jena, für die Möglichkeit der Promotion und die tatkräftige Unterstützung während der gesamten Bearbeitungszeit, bedanken. Vielen Dank für die stets konstruktive Kritik und die immer zeitnahe Beantwortung jeglicher Fragen.

An dieser Stelle gilt ein weiteres großes Dankeschön Herrn Dr. med. Marcel Scheithauer, Strahlenschutzbeauftragter des Universitätsklinikums Jena, welcher mir den Weg ins Institut der Kinderradiologie Jena ebnete.

Ausdrücklich zu erwähnen sind des Weiteren Frau PD. Dr. med. dent. Ina Schüler, Oberärztin und Leiterin der Sektion Präventive Zahnheilkunde und Kinderzahnheilkunde, welche mir Anreize und Hilfestellungen bei der Entwicklung der Fragestellungen lieferte und Herr Dr. Lehmann, dem ich für die Erörterung und positive Zusammenarbeit während der statistischen Auswertung danke.

Danken möchte ich auch Rebecca Scherbaum und meiner besten Freundin Sophia Schüler, die mir durch ihre positive und motivierende Art immer zur Seite standen.

Mit tiefer Verbundenheit möchte ich meinen Eltern, Ute und Stephan Buschek, sowie meinen beiden Schwestern, Mirja und Lara danken, ohne die mein Lebensweg sicher so nicht hätte ablaufen können. Hervorzuheben ist an dieser Stelle auch mein Partner, Christopher Fischer. Ich danke Ihnen allen aus tiefstem Herzen für das immer offene Ohr und die liebevolle und ausdauernde Unterstützung.

Widmen möchte ich diese Arbeit aber vor allem dir, Mirja. Ich habe dich lieb!

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. med. Mentzel, PD. Dr. med. dent. Schüler, Dr. med. Scheithauer, Dr. rer. pol. Lehmann, Dr. med. dent. Hirsch,

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.

Jena, 21.09.2022

Unterschrift des Verfassers