

SARAH FREYCHE<sup>1</sup>  
 LYDIA VAZQUEZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universitätsklinik für Zahnmedizin, Medizinische Fakultät, Universität Genf, Schweiz

<sup>2</sup> Département für orofaziale Rehabilitation, Abteilung für zahnärztliche Radiologie, Universitätsklinik für Zahnmedizin, Medizinische Fakultät, Universität Genf, Schweiz

#### KORRESPONDENZ

Lydia Vazquez  
 Département de réhabilitation oro-faciale  
 Unité de radiologie dentaire  
 Clinique universitaire de médecine dentaire  
 Faculté de médecine  
 Université de Genève  
 Rue Michel-Servet 1  
 CH-1211 Genève 4  
 E-Mail: lydia.vazquez@unige.ch



## Intraorale Röntgenaufnahmen: Qualitätsstudie

Beeinträchtigen rechteckige Kollimatoren die Qualität von intraoralen Röntgenaufnahmen, die von Studierenden der Clinique universitaire de médecine dentaire in Genf erstellt werden?

#### SCHLÜSSELWÖRTER

Intraorale Röntgenaufnahmen; intraorale Radiografie; digitale Radiologie; Bildqualität; Strahlenschutz; rechteckiger Kollimator

**Bild oben:** Ein rechteckiger Kollimator wird am Konusende der Röntgenröhre befestigt, bevor intraorale Röntgenaufnahmen erstellt werden.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Rechteckige Kollimatoren ermöglichen eine Reduzierung der von den Patientinnen und Patienten aufgenommenen Strahlendosis. Diese Studie prüft die Qualität intraoraler Röntgenaufnahmen, die von den Studierenden an der Clinique universitaire de médecine dentaire in Genf (CUMD, Universität Genf, Schweiz) erstellt werden, durch die Analyse der Auswirkungen der Verwendung eines rechteckigen Kollimators auf die Aufnahmen. Acht Studierende haben bei erwachsenen Patientinnen und Patienten Röntgenaufnahmen mit digitalen Röntgenplatten erstellt. Es wurden 130 Röntgenaufnahmen gesammelt, jedem Bild

wurde ein Qualitätsscore zugeordnet. Die Hälfte der Röntgenaufnahmen wurde mit einem rechteckigen Kollimator erstellt. Die mit dem rechteckigen Kollimator erstellten Röntgenaufnahmen waren bei 95 Prozent der retrokoronaren Aufnahmen und bei 100 Prozent der retroalveolären Aufnahmen von hervorragender oder ausreichender Qualität für die Diagnostik. Diese Studie zeigt, dass die Studierenden mit einem rechteckigen Kollimator intraorale Röntgenaufnahmen in guter Qualität erstellen, und sie könnte Ärztinnen und Ärzte dazu ermutigen, dieses Gerät als Strahlenschutzmittel in ihrem Praxisalltag zu verwenden.

## Einleitung

Die in der Zahnmedizin am häufigsten zu findenden bildgebenden Verfahren mit Röntgenstrahlen sind intraorale Röntgenaufnahmen, die Bissflügel- oder Bitewing-Aufnahmen (BW) und apikale retroalveoläre Aufnahmen umfassen. In der Schweiz werden jährlich über 4,7 Millionen intraorale Röntgenaufnahmen erstellt (VIRY ET AL. 2021). Obwohl die effektive Dosis bei einer intraoralen Röntgenuntersuchung gering ist (0,3–22 Mikrosievert) (WHAITES & DRAGE 2019), kann die kumulative Wirkung von niedrig dosierten ionisierenden Strahlen zytotoxische und genetische Veränderungen in sensitiven Geweben und Organen verursachen (SHETTY ET AL. 2019). Die dentomaxillofaziale Radiologie kann Krebs in den Speicheldrüsen, in der Schilddrüse und im Gehirn verursachen (PRESTON-MARTIN ET AL. 1988; LONGSTRETH ET AL. 1993; MEMON ET AL. 2010).

Die in der Schweizer Gesetzgebung verankerten Strahlenschutz-Grundprinzipien lauten: Berechtigung, Optimierung und Dosisbegrenzung (BUNDESAMT FÜR GESUNDHEIT BAG). Viele Ärztinnen und Ärzte wurden während ihrer Ausbildung für das Grundprinzip Optimierung sensibilisiert, dessen englische Abkürzung ALARA, *As Low As Reasonably Achievable*, lautet. Die zahnmedizinischen Geräte zur Erstellung intraoraler Radiografien verfügen im Allgemeinen über einen runden Konus (Rundkollimation). Doch die Kollimation der intraoralen Röntgenröhren kann auch rechteckig sein (rechteckige Kollimation). Bei der Erstellung von intraoralen Aufnahmen mit einem Rundkollimator wird das umliegende Gewebe einschliesslich der Speicheldrüsen und der Schilddrüse ionisierenden Strahlen ausgesetzt. Zur Verringerung der Dosen, denen die Patientinnen und Patienten ausgesetzt sind, müsste die Grösse der Konusöffnung der Röntgenröhre annähernd mit der Grösse des Röntgenfilms

identisch sein (COUNCIL ON DENTAL MATERIALS, INSTRUMENTS, AND EQUIPMENT 1989); aus diesem Grund wurde empfohlen, routinemässig einen rechteckigen Kollimator zur Erstellung von intraoralen Röntgenaufnahmen zu verwenden (HORNER & EATON 2018; NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS 2019; JOHNSON & LUDLOW 2020; INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY 2022). Bei der Erstellung von intraoralen Aufnahmen kann durch die Verwendung eines rechteckigen Kollimators die Strahlenbelastung für die Patientin bzw. den Patienten im Vergleich zur Rundkollimation um 40 bis 92 Prozent reduziert werden (SHETTY ET AL. 2019).

Zusätzlich zur Verringerung der Strahlendosis für das Gewebe kann man mit einer rechteckigen Kollimation die Qualität des Röntgenbildes durch Verringerung der Sekundärstrahlung, die bei der Interaktion mit der Primärstrahlung und dem Patientengewebe entsteht, verbessern (ZHANG ET AL. 2009; WAGNER 2019; SENIOR ET AL. 2020). Drei Strahlenschutzvorrichtungen ermöglichen eine rechteckige Kollimation:

- der rechteckige, am Konusende fest eingebaute Kollimator; es handelt sich um einen Einsatz (der nachfolgend als rechteckiger Kollimator bezeichnet wird) mit einer rechteckigen Öffnung, der am Konusende der Röntgenröhre angebracht wird (Abb. 1),
- der mit dem Filmhalter fest verbundene Kollimator: Er besteht aus einer Metallplatte mit einer rechteckigen Öffnung, die fest mit dem Filmträger verbunden ist,
- der Kopf der Röntgenröhre kann mit einem rechteckigen, also nicht runden «Konus» ausgestattet werden.

Die Kosten für einen rechteckigen Kollimator betragen in der Schweiz zwischen 90 und 250 Franken. Obwohl die Ärztinnen



**Abb. 1** Der rechteckige Kollimator Planmeca ProX Beam Limiting Device (Planmeca Oy, Asentajankatu 6, Helsinki, Finnland) wurde am Konusende der Röntgenröhre befestigt. Dieses Teil, bestehend aus einem Bleiblatt mit einer rechteckigen Öffnung mit einer Grösse von 3,15 × 4,2 cm, wird bei der Erstellung intraoraler Röntgenaufnahmen entsprechend der Achse der digitalen Platte ausgerichtet. Auf dieser Abbildung wurden ein (blauer) Schutzkragen und ein rechteckiger Kollimator verwendet, um eine retrokoronare Röntgenaufnahme links zu erstellen.

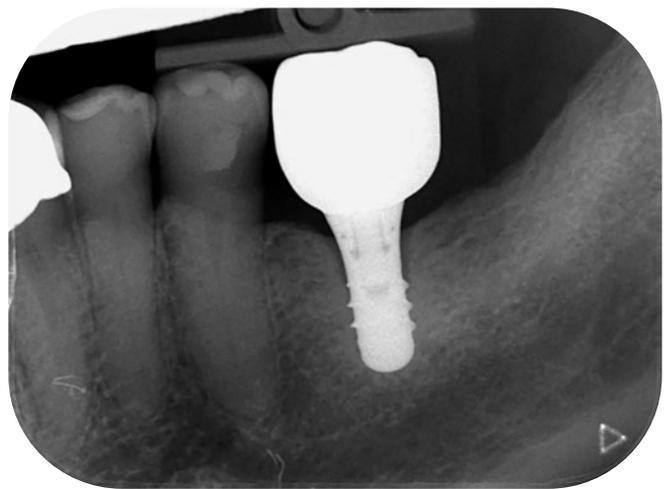
und Ärzte die Vorteile eines rechteckigen Kollimators kennen, verwenden lediglich 7,3 bis 12,9 Prozent von ihnen dieses Gerät in ihrer Praxis (PLATIN ET AL. 1998; SENIOR ET AL. 2020). Eine Aufklärung über die Funktionen und die Verwendung des rechteckigen Kollimators in den Ausbildungszentren könnte die zukünftigen Ärztinnen und Ärzte dazu veranlassen, dieses Strahlenschutzgerät in der Zahnarztpraxis zu verwenden; diese Strategie zum Schutz der Patientin bzw. des Patienten vor Röntgenstrahlen dürfte allerdings nicht zu einem Qualitätsverlust bei den von den Studierenden in Ausbildung erstellten Bildern führen.

Das Ziel dieser Studie besteht in der Überprüfung der Qualität der von den Studierenden an der Clinique universitaire de médecine dentaire (CUMD, Medizinische Fakultät, Universität Genf, Schweiz) erstellten Röntgenaufnahmen durch die Analyse der Auswirkung der Verwendung eines rechteckigen Kollimators auf die Qualität der intraoralen Röntgenaufnahmen.

## Patientinnen und Patienten, Material und Methoden

Diese Qualitätsstudie wurde über einen begrenzten Zeitraum durchgeführt, da sie unter Leitung eines Experten im Bereich dentomaxillofaziale Radiologie, der dieses Fach seit über 20 Jahren unterrichtet, im Rahmen einer Masterarbeit erfolgte. Zur Information: Es gibt keine Verpflichtung, diesen rechteckigen Kollimator an der CUMD zu verwenden; es steht allen Medizinerinnen und Medizinern vor oder nach dem Studienabschluss frei, zu entscheiden, ob sie einen rechteckigen Kollimator verwenden möchten oder auch nicht. Alle Studierenden im dritten Bachelorjahr (3. Studienjahr) erhalten eine theoretische Ausbildung in Dentalradiologie und eine praktische Schulung, die die Erstellung von intraoralen Röntgenaufnahmen mit einem rechteckigen Kollimator an einer Puppe sowie an Patientinnen und Patienten umfasst. Zu Beginn des Master-1-Kurses (4. Studienjahr) erhalten die Studierenden ebenfalls eine Schulung an einer Puppe. Acht Studierende im Master-1-Kurs haben eingewilligt, an dieser Qualitätskontrollstudie teilzunehmen. Diese acht Studierenden haben nach jeder Radiografie, die sie zwischen Februar 2021 und März 2022 bei erwachsenen Patientinnen und Patienten durchführten, (auf einem dafür vorgesehenen Blatt) das Datum und die Indikation der Aufnahme (unter Angabe, um welchen Zahn oder welchen Bereich es sich in der Radiografie handelte) notiert und festgehalten, ob ein rechteckiger Kollimator verwendet wurde oder nicht. Die Radiografien wurden automatisch auf den CUMD-Servern gespeichert.

Verwendet wurden Planmeca-ProX-Röntgenröhren (Planmeca Oy, Asentajankatu 6, Helsinki, Finnland) mit einer Rundkollimation mit einem Durchmesser von 7 cm, digitale intraorale Planmeca-Röntgenplatten und Planmeca-Proscanner. Der Planmeca-Proscanner verfügt über ein waagrechtes Fach, das vorne aus dem Plattenscanner hervorsteht. Nach der Strahlenexposition werden die digitalen Platten in dieses Fach gelegt, das zum Scannen der Platte vorsichtig in das Lesegerät geschoben wird. Hinweis: Wenn die digitale Platte nicht im Fach zentriert ist, wird die Platte unvollständig gelesen und auf der Radiografie ist eine leichte, waagerechte, 1 bis 2 mm breite Linie zu erkennen (das Ergebnis einer waagrecht abgeschnittenen Aufnahme). Ein Problem in Verbindung mit dem Laserstrahl (der die digitale Platte scannt) kann diesen Fehler ebenfalls verursachen (Abb. 2); die Röntgenaufnahme wird abgeschnitten, wenn kein Fehler bei der Ausrichtung der Röntgenröhre oder des rechteckigen Kollimators vorliegt.



**Abb. 2** Ausführliche Beurteilung einer apikalen retroalveolären Röntgenaufnahme des Implantats 36, erstellt mit einem rechteckigen Kollimator, die einen Score von 9 Punkten erzielte (Zentrierung des Konus: 1/2; Zentrierung der Röntgenplatte: 4/4; Ausrichtung der Platte: 1/1; vertikale Ausrichtung: 1/1; Bildkontrast: 0/1; Ausrichtung des Bezugspunktes: 0/1; Artefakte: 1/2; allgemeine Qualität: 1/2). Diese Röntgenaufnahme weist einerseits einen Fehler bei der Zentrierung des Kollimators auf (diagonal abgeschnittenes Bild) und andererseits einen Bildverlust von ca. 1 mm im gesamten oberen Bildbereich (in Verbindung mit einem Problem des Laserstrahlbündels des Plattenlesegeräts, das in der Studie zur Qualitätskontrolle entdeckt wurde). Die Qualität dieser Radiografie wurde als ausreichend beurteilt.

Der rechteckige Kollimator Planmeca ProX Beam Limiting Device (Abb. 1) mit einer rechteckigen Öffnung von 3,15 × 4,2 cm wurde am Konusende der Röntgenröhre angebracht. Durch Rotation des Konus kann die rechteckige Öffnung des Kollimators so ausgerichtet werden, dass sie perfekt mit der Achse der digitalen Platte im Mund übereinstimmt. Zur Reduzierung jeglicher Verzerrung bei der Analyse durch eventuelle Kratzer und Fehler aufgrund von Abnutzung wurden den an dieser Studie beteiligten Studierenden neue digitale Röntgenplatten in der Grösse 1 und 2 zur Verfügung gestellt. Zudem haben die Patientinnen und Patienten bei ihrer Aufnahme in die CUMD ein Formular zur Genehmigung der Datenverwertung (Fotos, Röntgenaufnahmen usw.) unterzeichnet. Da es sich bei dieser Studie um eine Arbeit zur Qualitätskontrolle handelt, war die Einholung einer Einwilligung eines Ethikausschusses nicht erforderlich.

Die automatisch auf den CUMD-Servern gespeicherten intraoralen Radiografien wurden anschliessend (im JPEG-Format) exportiert, anonymisiert und (eine Radiografie pro Diapositiv) in eine Powerpoint-Präsentation (Microsoft Powerpoint für Mac, Version 16.16.7) eingefügt. Eine erste Beobachterin (LV), die nicht an der Erstellung der Aufnahmen beteiligt war, hat die Dias nummeriert und eine Liste der mit oder ohne rechteckigen Kollimator erstellten Bilder angelegt. In der an die zweite Beobachterin (SF) weitergegebenen Powerpoint-Datei war lediglich der Bereich oder der Zahn angegeben, der Gegenstand der Radiografie war. So wurde die Röntgenaufnahme auf jedem Diapositiv nummeriert, ohne dass eine Unterscheidung zwischen Radiografien, die mit einem rechteckigen Kollimator erstellt worden waren, und solchen, die ohne einen rechteckigen Kollimator erstellt worden waren, erfolgte. Die zweite Beobachterin hat für jedes Bild einen Qualitätsscore vergeben, gemäss den in Tabelle I und II aufgeführten Qualitätskriterien der Studie. Diese Kriterien umfassen einerseits operatorabhängige Kriterien in Verbindung mit der Bilderstellungstechnik (Zentrierung des Kollimators oder der Röntgenröhre, Ausrich-

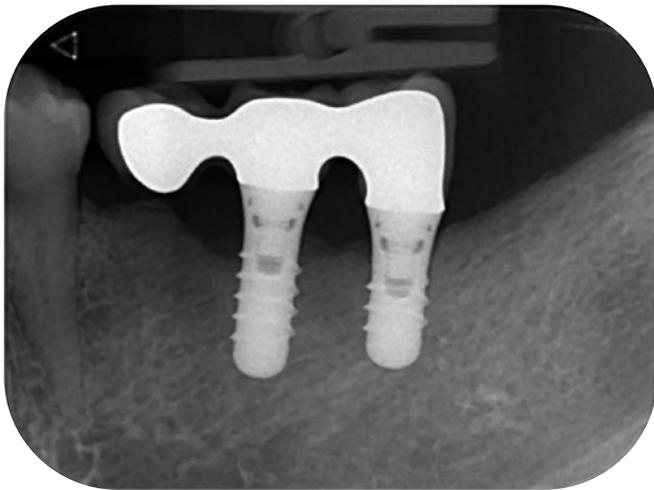
Tab. 1 Scores für die Qualitätsanalyse der Bissfüßgelaufnahmen

Besondere Kriterien		Scores
Zentrierung des Konus mit oder ohne rechteckigen Kollimator	Bildumgebung	Vollständige Bildumgebung Bild nicht abgeschnitten <b>2 Punkte</b>
Zentrierung der Platte	Verhältnis der maxillaren und der mandibulären Quadranten (Sichtbarkeit Zähne und Alveolarkamm vertikal)	40%–60%: mittelmässige vertikale Bildzentrierung (ein Quadrant nimmt mehr als die Hälfte des Bildes ein, Alveolarknochen auf zwei Quadranten sichtbar) <b>1 Punkt</b>
	Distale Kontaktpunkte sichtbar (zwischen den Eckzähnen und den zweiten Unterkiefermolaren) <sup>a</sup>	50%–50%: gute vertikale Bildzentrierung (die Zähne im Ober- und Unterkiefer nehmen je 50% des Bildes ein) <b>2 Punkte</b>
	Korrekturer Biss auf Filmhalter	vier distale Kontaktpunkte sichtbar <b>2 Punkte</b>
Überlagerung	Überlagerung von Zahnschmelz an den Kontaktpunkten	drei distale Kontaktpunkte sichtbar <b>1 Punkt</b>
Bildkontrast	Guter Kontrast Zahnschmelz–Dentin	Ja (zwei Quadranten in Kontakt mit Filmhalter) <b>1 Punkt</b>
Ausrichtung des Bezugspunktes	Bezugspunkt gut ausgerichtet	Nein (ein Quadrant ohne Kontakt mit Filmträger) <b>0 Punkte</b>
Artefakte	Lichteinfall, Vorhandensein eines Fremdkörpers	Überlagerung > 2/3 der Dicke des Zahnschmelzes <b>0 Punkte</b>
	Platte intakt, ohne Spuren von Kratzern, Falten oder Sonstigem	> ein Approximalbereich mit ungenügendem Kontrast <b>0 Punkte</b>
Allgemeine Qualität	Allgemeine Bildqualität	Ja <b>1 Punkt</b>
		Nein (oder minimal, ohne Auswirkungen auf die Interpretation) <b>1 Punkt</b>
		Nein (oder minimal, ohne Auswirkungen auf die Interpretation) <b>1 Punkt</b>
		Korrekt oder akzeptabel, kleinerer Fehler <b>1 Punkt</b>
		Grösserer Fehler, Interpretation schwierig/verfälscht <b>0 Punkte</b>
Anmerkungen		Gut <b>2 Punkte</b>

a. Die Kontaktpunkte der Weisheitszähne wurden nicht berücksichtigt, da diese Zähne bei vielen Patientinnen und Patienten fehlen.

b. Die Auswirkungen auf die Interpretation beziehen sich auf ein Element auf dem Bild, das zu einem Informationsverlust führt und/oder die Interpretation des Bildes schwierig gestaltet oder sogar verfälscht oder verunmöglicht.

Tab. II Scores für die Qualitätsanalyse der vorderen apikalen retroalveolären Röntgenaufnahmen (erstellt mit einer digitalen Röntgenplatte Grösse 1) und der hinteren apikalen retroalveolären Röntgenaufnahmen (erstellt mit einer digitalen Röntgenplatte Grösse 2)		Scores	
Besondere Kriterien		Scores	
Zentrierung des Konus mit oder ohne rechteckigen Kollimator	Bildumgebung Zahn komplett sichtbar	Vollständige Bildumgebung Bild nicht abgeschnitten <b>2 Punkte</b>	Unvollständige Bildumgebung Bild abgeschnitten ohne Auswirkungen auf die Interpretation <b>1 Punkt</b>
Zentrierung der Platte	Betrachteter Zahn: > 2 mm periapikaler Knochen sichtbar UND Periapex eines benachbarten Vorderzahns (Grösse 1) oder von benachbarten Zähnen (Grösse 2) sichtbar	Ja <b>1 Punkt</b>	Nein (einer der beiden Parameter nicht eingehalten) <b>0 Punkte</b>
	Mesiale und distale Ansicht eines Vorderzahns (Grösse 1) oder von 2 benachbarten Zähnen (Grösse 2)	Ja <b>1 Punkt</b>	Nein <b>0 Punkte</b>
	Zahn vollständig sichtbar (Krone im Apex)	Ja <b>1 Punkt</b>	Nein <b>0 Punkte</b>
	Korrekt Biss auf Filmhalter	Ja <b>1 Punkt</b>	Nein <b>0 Punkte</b>
Ausrichtung der Platte	Korrekte Ausrichtung der Platte	Ja <b>1 Punkt</b>	Nein <b>0 Punkte</b>
Vertikale Ausrichtung	Keine Verzerrung (keine Verkürzung oder Verlängerung des Zahns)	Ja <b>1 Punkt</b>	Nein <b>0 Punkte</b>
Bildkontrast	Korrekt Bildkontrast	Ja <b>1 Punkt</b>	Nein (zu hell oder zu dunkel) <b>0 Punkte</b>
Ausrichtung des Bezugspunktes	Bezugspunkt gut ausgerichtet	Ja <b>1 Punkt</b>	Nein <b>0 Punkte</b>
Artefakte	Lichteinfall, Vorhandensein eines Fremdkörpers	Nein (oder minimal, ohne Auswirkungen auf die Interpretation) <b>1 Punkt</b>	Ja, mit Auswirkungen auf die Interpretation <b>0 Punkte</b>
	Platte intakt, ohne Spuren von Kratzern, Falten oder Sonstigem	Nein (oder minimal, ohne Auswirkungen auf die Interpretation) <b>1 Punkt</b>	Ja, mit Auswirkungen auf die Interpretation <b>0 Punkte</b>
Allgemeine Qualität	Allgemeine Bildqualität	Korrekt oder akzeptabel, kleinerer Fehler <b>1 Punkt</b>	Grösserer Fehler, Interpretation schwierig/verfälscht <b>0 Punkte</b>
		Gut <b>2 Punkte</b>	



**Abb. 3** Ausführliche Bewertung einer retroalveolären Röntgenaufnahme der Implantate 36 und 37, erstellt mit einem rechteckigen Kollimator, mit einem Score von 14/14 Punkten (Zentrierung des Konus: 2/2; Zentrierung der Röntgenplatte: 4/4; Ausrichtung der Platte: 1/1; vertikale Ausrichtung: 1/1; Bildkontrast: 1/1; Ausrichtung des Bezugspunktes: 1/1; Artefakte: 2/2; allgemeine Qualität: 2/2). Die Qualität dieser Radiografie wurde als hervorragend beurteilt.

tung der Platte im Filmhalter usw.) und zum anderen Kriterien im Zusammenhang mit den digitalen Röntgenplatten selbst (Vorhandensein von Artefakten in Verbindung mit Kratzern oder Tröpfchen auf der Platte). Retroalveoläre und BW-Röntgenaufnahmen mit einer Punktzahl von  $\leq 7$  wurden als qualitativ unzureichend eingestuft. Retroalveoläre Röntgenaufnahmen mit einer Punktzahl zwischen 8 und 11 wurden als qualitativ ausreichend bewertet, während Aufnahmen mit einer Punktzahl von Score  $\geq 12$  als hervorragend eingestuft wurden. BW-Röntgenaufnahmen mit einer Punktzahl zwischen 8 und 10 wurden als qualitativ ausreichend bewertet, während die Aufnahmen mit einer Punktzahl  $\geq 11$  als hervorragend eingestuft wurden. Danach wurden auf jedem Bild die Angabe, ob ein rechteckiger Kollimator verwendet wurde oder nicht, so-

wie das Erstellungsdatum der Radiografie ergänzt, um die Auswirkungen des rechteckigen Kollimators auf die Qualität der Aufnahme zu beurteilen und zu prüfen, ob die Studierenden im Laufe der Zeit bessere Aufnahmen erstellten.

## Ergebnisse

Insgesamt wurden 130 intraorale Radiografien gesammelt, davon waren 24,6 Prozent (32/130) BW. 66 Prozent (21/32) der BW und 45 Prozent (44/98) der apikalen retroalveolären Röntgenaufnahmen wurden mit einem rechteckigen Kollimator erstellt. Der mittlere Qualitätsscore der mit oder ohne Kollimator erstellten BW betrug  $11 \pm 1,8$  bzw.  $10,3 \pm 0,9$ . Der mittlere Qualitätsscore der apikalen retroalveolären Röntgenaufnahmen, die mit oder ohne Kollimator erstellt wurden, betrug  $11,6 \pm 1,0$  bzw.  $11,5 \pm 2,1$ . Tabelle III (für BW) und Tabelle IV (für apikale retroalveoläre Röntgenaufnahmen) enthalten die qualitative Bewertung der von den Studierenden (mit und ohne rechteckigen Kollimator) erstellten intraoralen Radiografien. In diesen beiden Tabellen wurden die Prozentangaben auf die höhere Zahl aufgerundet, wenn die erste Stelle nach dem Komma grösser/gleich 5 war. 80 Prozent (104/130) der Röntgenaufnahmen waren nicht abgeschnitten. 20 Prozent (26/130) der abgeschnittenen Bilder haben dennoch die Diagnose nicht verhindert, mit Ausnahme von einer, die ohne Kollimator erstellt worden war und die als einzige Röntgenaufnahme wiederholt werden musste. Die Wiederholungsrate in dieser Studie lag somit bei 0,76 Prozent (1/130). 8 Röntgenaufnahmen, die ohne Kollimator erstellt worden waren, und 6 Röntgenaufnahmen, die mit einem rechteckigen Kollimator erstellt worden waren, wiesen eine waagerechte weisse Linie (mit 1 bis 2 mm Breite) auf dem Bild auf; diese weisse Linie, die einem fehlenden Bild entspricht, trat sowohl im unteren Bereich als auch im oberen Bereich der Röntgenaufnahme auf (Abb. 2).

Es gab keine deutliche Verbesserung der Qualität der intraoralen Radiografien im Laufe der Zeit, unabhängig davon, ob sie mit oder ohne rechteckigen Kollimator erfolgten. Fehler bei der Zentrierung des Konus (mit oder ohne rechteckigen Kollimator) sowie Fehler bei der Zentrierung der digitalen Röntgenplatte

**Tab. III** Qualitative Bewertung der Bissflügelaufnahmen (BW), die mit oder ohne rechteckigen Kollimator erstellt wurden

BW mit rechteckigem Kollimator			BW ohne rechteckigen Kollimator			Gesamtzahl BW
Erzielter Score	Anzahl Röntgenaufnahmen	Bildqualität	Erzielter Score	Anzahl Röntgenaufnahmen	Bildqualität	
5	1	Ungenügend 1/21 (5%)	5	0	Ungenügend 1/11 (9%)	Ungenügend 2/32 (6%)
6	0		6	0		
7	0		7	1		
8	0	Ausreichend 7/21 (33%)	8	0	Ausreichend 6/11 (55%)	Ausreichend 13/32 (41%)
9	1		9	0		
10	6		10	6		
11	4	Hervorragend 13/21 (62%)	11	2	Hervorragend 4/11 (36%)	Hervorragend 17/32 (53%)
12	3		12	2		
13	6		13	0		
14	0		14	0		

Tab. IV Qualitative Bewertung der retroalveolären Röntgenaufnahmen, die mit oder ohne rechteckigen Kollimator erstellt wurden

Apikale Röntgenaufnahmen mit rechteckigem Kollimator			Apikale Röntgenaufnahmen ohne rechteckigen Kollimator			Gesamtzahl apikale Röntgenaufnahmen
Erzielter Score	Anzahl Röntgenaufnahmen	Bildqualität	Erzielter Score	Anzahl Röntgenaufnahmen	Bildqualität	
5	0	Ungenügend 0/44	5	0	Ungenügend 4/54	Ungenügend 4/98 (4%)
6	0	(0%)	6	0	(7%)	
7	0		7	4		
8	0	Ausreichend 17/44	8	2	Ausreichend 18/54	Ausreichend 35/98 (36%)
9	4	(39%)	9	3	(34%)	
10	8		10	5		
11	5		11	8		
12	14	Hervorragend 27/44	12	13	Hervorragend 32/54	Hervorragend 59/98 (60%)
13	10	(61%)	13	9	(59%)	
14	3		14	10		
15	0		15	0		

traten sowohl zu Beginn als auch am Ende der 14-monatigen Beobachtungszeit auf. Die Abbildungen 2 und 3 enthalten eine ausführliche Bewertung zweier apikaler retroalveolärer Röntgenaufnahmen, die mit einem rechteckigen Kollimator erstellt worden sind.

## Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Qualitätskontrolle der mit oder ohne rechteckigen Kollimator von den Studierenden an der CUMD erstellten Radiografien zeigt, dass die Bilder insgesamt eine gute Qualität aufweisen. Aus dieser Studie geht hervor, dass 95 Prozent der BW und 100 Prozent der apikalen retroalveolären Röntgenaufnahmen, die mit einem rechteckigen Kollimator erstellt wurden, und 91 Prozent der BW und 93 Prozent der apikalen retroalveolären Röntgenaufnahmen, die nicht mit einem rechteckigen Kollimator erstellt wurden, von hervorragender oder ausreichender Qualität für die radiologische Diagnostik waren. Interessanterweise fällt der Anteil an Radiografien, bei denen die Qualität als ungenügend beurteilt wurde, bei den nicht mit einem Kollimator erstellten interoralen Radiografien höher aus.

Mehrere Autorinnen bzw. Autoren geben als Hindernisse für die Verwendung einer rechteckigen Kollimation an: Fehlen einer angemessenen Schulung, Schwierigkeiten, das Personal zu schulen, Kosten, um die vorhandenen Röntgenröhren anzupassen, sowie Wiederholung von Aufnahmen bei Fehlern bei der Zentrierung des Kollimators (PARKS 1991; SHETTY ET AL. 2019; THORNLEY ET AL. 2004). Die unnötige Strahlenbelastung der Patientinnen und Patienten, wenn die Wiederholung von Aufnahmen aufgrund eines Fehlers bei der rechteckigen Kollimation erforderlich ist, wurde bereits vor mehreren Jahrzehnten untersucht. Schon vor über 50 Jahren wurde in einer Veröffentlichung berichtet, dass ca. 7 Prozent der Aufnahmen, die mit einem rechteckigen Kollimator erstellt worden waren, aufgrund einer abgeschnittenen Röntgenaufnahme, die auf einen Fehler bei der Zentrierung des rechteckigen Kollimators zurückzuführen war, wiederholt werden mussten (WEISSMAN & LONGHURST

1971). Im Rahmen der vorliegenden Studie musste keine der von den Studierenden mit einem rechteckigen Kollimator erstellten Röntgenaufnahmen wiederholt werden, und nur eine Aufnahme, die ohne Kollimator erstellt worden war, musste noch einmal aufgenommen werden, was einen geringen Anteil an Aufnahmewiederholungen darstellt (1/130, also 0,77%).

Eine Veröffentlichung zur Qualität der BW hat gezeigt, dass die Inzidenz der abgeschnittenen Aufnahmen ohne rechteckigen Kollimator (herkömmliche Technik) 3,3 Prozent betrug und mit rechteckigem Kollimator bei 20,9 Prozent lag; jedoch blieb die Anzahl an nicht verwendbaren Röntgenaufnahmen niedrig (0,1% bzw. 0,3%) (PARROTT & NG 2011). In unserer Studie waren 20 Prozent (26/130) der Aufnahmen abgeschnitten; davon wiesen 14 Röntgenaufnahmen (14/26, also fast 50% der abgeschnittenen Aufnahmen) eine waagerechte weiße Linie im oberen oder unteren Bildbereich auf. Alle diese Bilder waren von ein und demselben Plattenlesegerät, dem Planmeca-Proscanner, gescannt worden. Die Studierenden, die dieses Lesegerät verwendeten, versicherten, dass sie die digitale Platte korrekt im Proscanner-Fach zentriert hatten. Tests mit dem Core-Test ergaben, dass dieser Scanner ein Problem aufwies, weshalb er an die Wartungsfirma geschickt wurde. So konnte diese Arbeit zur Qualitätskontrolle ein Qualitätsproblem aufzeigen (Vorhandensein einer weissen Linie auf den Röntgenaufnahmen in Verbindung mit einem Problem des Laserstrahlbündels), das daraufhin korrigiert werden konnte. Keine der (aufgrund des Kollimators oder aufgrund eines Scannerfehlers) abgeschnittenen Aufnahmen hatte Auswirkungen auf die Diagnostik, mit Ausnahme von einer (ohne rechteckigen Kollimator erstellten) Aufnahme, die wiederholt werden musste. Zahlreiche Autorinnen und Autoren stimmen darin überein, dass – selbst wenn Röntgenaufnahmen bei der Verwendung eines rechteckigen Kollimators wiederholt werden mussten – die Strahlenexposition der Patientin bzw. des Patienten im Vergleich zu der Dosis, die sie bei der Erstellung intraoraler Röntgenaufnahmen mit einer

Rundkollimation erhalten hätten, gering ausfiel (WEISSMAN & LONGHURST 1971; HORTON ET AL. 1983; PARKS 1991; THORNLEY ET AL. 2004; PARROTT & NG 2011). <<Die Vorteile einer erheblichen Senkung der Dosis bei der Verwendung der rechteckigen Kollimation überwiegen deutlich die Nachteile eines weniger perfekten Films>> (PARROTT & NG 2011).

Was das Verständnis und die Anwendung von Techniken der rechteckigen Kollimation betrifft, hat eine Veröffentlichung gezeigt, dass die Verwendung einer rechteckigen Kollimation für die Studierenden nicht schwieriger war als die Verwendung einer Rundkollimation (PARKS 1991); dies scheint auch in der vorliegenden Studie der Fall zu sein. Die Handhabung und die Verwendung eines rechteckigen Kollimators wiesen keine besonderen Schwierigkeiten für die Studierenden an der CUMD auf, die an dieser Arbeit teilnahmen; sie konnten ab den ersten mit einem rechteckigen Kollimator erstellten Aufnahmen Bilder in guter Qualität liefern. Darüber hinaus hat sich die Qualität der intraoralen Röntgenaufnahmen mit der Zeit kaum verbessert, unabhängig davon, ob sie mit oder ohne einen rechteckigen Kollimator erstellt wurden.

Eine der Limitationen dieser Studie besteht in der kleinen Stichprobe ausgewerteter intraoraler Röntgenaufnahmen. Nur acht Studierende haben an diesem Projekt teilgenommen, und der Zeitraum, in dem Röntgenaufnahmen eingeschlossen wurden, war begrenzt, da die Masterarbeit innerhalb einer bestimmten Frist fertiggestellt werden musste. Zur Überprüfung der Qualität der in der CUMD erstellten intraoralen Röntgenaufnahmen müsste eine mehrjährige Studie durchgeführt werden, die eine grössere Anzahl von Röntgenaufnahmen umfassen würde, die sowohl von Studierenden als auch von graduierten Medizinerinnen und Medizinern erstellt worden sein müssten. Ein anderer Diskussionspunkt betrifft die Tatsache, dass die Röntgenaufnahmen durch Studierende erstellt wurden; ihre Qualität könnte somit von der bzw. dem jeweiligen Studierenden abhängen, je nach deren bzw. dessen Fähigkeiten und Erfahrung (im 1. oder 2. Masterjahr). Es ist jedoch interessant, dass die intraoralen Röntgenaufnahmen, die mit einem rechteckigen Kollimator erstellt wurden, einen durchschnittlich höheren Qualitätsscore erzielten als jene, die auf herkömmliche Weise (ohne rechteckigen Kollimator) erstellt wurden. Dies könnte auf eine Verzerrung der Studie zurückzuführen sein, da die Studierenden sich vielleicht mehr angestrengt und besser aufgepasst haben, um gute Röntgenauf-

nahmen zu erstellen, wenn sie den rechteckigen Kollimator verwendeten. Die erzielten Ergebnisse sind daher eventuell optimistischer und weisen etwas weniger Artefakte auf (beispielsweise weniger abgeschnittene Bilder oder Fehler bei der Zentrierung der digitalen Platte), als wenn keine Studie durchgeführt worden wäre. Es deutet dennoch darauf hin, dass die Verwendung eines rechteckigen Kollimators kein Hindernis für die Studierenden in Ausbildung darstellt. Der letzte Diskussionspunkt dieser Studie besteht darin, dass nur ein einziger Typ eines rechteckigen Kollimators verwendet wurde. Verschiedene Hersteller von Röntgenröhren (Planmeca, Sirona, Acteon usw.) bieten rechteckige Kollimatoren an, die für den Konus der Röntgenröhre geeignet sind. Auf dem Markt gibt es mehrere Geräte für rechteckige Kollimation mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen; einige Geräte sollen besser in der Hand liegen als andere (JOHNSON ET AL. 2014). Beispielsweise scheint der in den Filmhalter integrierte Kollimator leichter zu verwenden und schneller zu positionieren zu sein, jedoch mehr Ausrichtungsfehler zu verursachen (ZHANG ET AL. 2009). In einer zukünftigen klinischen Studie unter Einbezug von Studierenden vor ihrem Abschluss sowie graduierten Medizinerinnen und Medizinern könnte beispielsweise die Qualität von Röntgenaufnahmen, die mit verschiedenen rechteckigen Kollimatoren erstellt wurden, verglichen werden.

Die zahnmedizinischen Ausbildungsstätten dienen den zukünftigen diplomierten Zahnärztinnen und Zahnärzten als Modell. Würden sie in der praktischen Ausbildung der Studierenden die Verwendung eines rechteckigen Kollimators als Strahlenschutzinstrument anbieten, wären diese eher geneigt, Kollimatoren in ihrer eigenen Zahnarztpraxis einzusetzen, und würden somit dazu beitragen, die Strahlenbelastung für ihre Patientinnen und Patienten so gering wie möglich zu halten.

Die vorliegende Qualitätsstudie zeigt, dass die in Ausbildung befindlichen Studierenden intraorale Röntgenaufnahmen in guter Qualität mit einem rechteckigen Kollimator erstellen können, und könnte Ärztinnen und Ärzte mit eigener Praxis dazu anregen, dieses Gerät als Strahlenschutzmittel in ihrer täglichen Praxis zu verwenden.

## Danksagung

Die Autorinnen und Autoren möchten den Studierenden an der CUMD, die freiwillig an dieser Arbeit zur Qualitätskontrolle teilgenommen haben, ihren Dank aussprechen.