

BERND STADLINGER¹
HARALD ESSIG²
PAUL SCHUMANN²
HUBERTUS VAN WAES³
SILVIO VALDEC¹
SEBASTIAN WINKLHOFFER⁴

¹ Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Poliklinik für Oralchirurgie, Universität Zürich, Schweiz

² Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, UniversitätsSpital Zürich, Schweiz

³ Klinik für Kieferorthopädie und Kinderzahnmedizin, Universität Zürich, Schweiz

⁴ Klinik für Neuroradiologie, UniversitätsSpital Zürich, Schweiz



KORRESPONDENZ

Prof. Dr. Dr. Bernd Stadlinger
 Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie
 Poliklinik für Oralchirurgie
 Universität Zürich
 Plattenstrasse 11
 CH-8032 Zürich
 Tel. +41 44 634 32 90
 E-Mail:
 bernd.stadlinger@zzm.uzh.ch

Cinematic Rendering in der Digitalen Volumentomografie
 Fotorealistische 3D-Rekonstruktion dentaler und maxillofazialer Pathologien

SCHLÜSSELWÖRTER

Cinematic Rendering, Digitale Volumentomografie (DVT), Computertomografie (CT), 3D-Bildgebung, maxillofaziale Pathologie

Bild oben: Ankylosierter Oberkiefermolar, 3D-Cinematic Rendering Rekonstruktion

ZUSAMMENFASSUNG

Cinematic Rendering (CR) ist eine neuartige Technik zur Visualisierung von dreidimensionalen Röntgenbildern, die fotorealistische Bildrekonstruktionen ermöglicht. Ziel dieser Fallserie ist es, die Anwendung von CR in der Digitalen Volumentomografie (DVT) am Beispiel verschiedener dentomaxillofazialer Pathologien zu demonstrieren. Zu diesem Zweck wurden vier exemplarische DVTs mit dentalen und knöchernen Pathologien ausgewählt und mittels CR 3D-rekonstruiert: 1) externe Zahnresorption, 2) ankylosierter Oberkiefermolar, 3) riesenzellassoziierte osteolytische Läsion des Unterkiefers, 4) unilaterale Lippen-Kiefer-Gaumenspalte mit zusätzlicher skelettofazialer Deformität. Bei der Bildbetrachtung zeigt sich subjektiv ein verbessertes 3D-Verständnis der rekon-

struierten Pathologien. Die CR-Bilder erscheinen plastischer und vermitteln eine deutlichere Wahrnehmung der räumlichen Tiefe. Insgesamt zeigt sich, dass CR erfolgreich bei DVT-basierten Datensätzen dentomaxillofazialer Pathologien angewendet werden kann. Das fotorealistische Erscheinungsbild kann das Verständnis komplexer Strukturen verbessern, die Patientenkommunikation erleichtern und für die medizinische Fortbildung hilfreich sein. Wir sehen Potenzial in der Verwendung von CR für die zusätzliche 3D-Visualisierung. Die eigentliche Bildbefundung erfolgt in den klassischen Schnittebenen. Der Stellenwert der CR-Rekonstruktion für die Befundung muss in entsprechenden Studien untersucht werden.

Einleitung

Die Digitale Volumetomografie (DVT) wurde in den letzten Jahren eine immer wichtigere Bildgebungstechnik in der Zahnmedizin. Um den Nutzen dieser dreidimensionalen (3D-)Röntgenbildgebung und das Risiko der Strahlenbelastung abzuwägen, wurden diesbezüglich schon frühzeitig entsprechende Richtlinien erstellt (DULA ET AL. 2014). Da die DVT-Bildgebung zunehmend zur Abklärung unklarer pathologischer Befunde sowie für implantologische Arbeitsabläufe genutzt wird, sind Zahnärzte zunehmend mit der Betrachtung und Befundung von DVTs konfrontiert. Die üblichen radiologischen Bildbetrachtungsprogramme visualisieren DVT-Bilder in der ursprünglich aufgenommenen Ebene sowie in multiplanaren Rekonstruktionen (axial, koronal, sagittal). Moderne Software ermöglicht darüber hinaus die Erzeugung von 3D-Rekonstruktionen zur Visualisierung der knöchernen und dentalen Oberflächenstrukturen. Zusätzlich kann teilweise auch die Binnenstruktur von Geweben wie z.B. Zahnwurzeln oder auch pneumatisierten Hohlräumen wie den Nasennebenhöhlen dreidimensional visualisiert werden. Während die eigentliche Befundung in den Schnittebenen erfolgt, dient die 3D-Rekonstruktion mehr dem visuellen Gesamteindruck. Mit den Möglichkeiten der fortgeschrittenen Visualisierung kann gegebenenfalls ein besseres 3D-Verständnis der Anatomie erlangt werden, was z.B. das Verständnis komplexer Frakturen und die Vorbereitung auf chirurgische Eingriffe erleichtert.

Die moderne Zahnmedizin wird durch viele technische Neuentwicklungen, insbesondere im Bereich der Digitalisierung, bereichert (NEVILLE & VAN DER ZANDE 2020). Neben Neuentwicklungen innerhalb der eigenen Fachdisziplin können Technologien auch aus anderen medizinischen Fachbereichen adaptiert werden. In diesem Zusammenhang ist der Blick auf radiologische Volumenrekonstruktionen von grossem Interesse. Cinematic Rendering (CR) ist eine neuartige 3D-Visualisierungstechnik. Sie kann als Weiterentwicklung der Volumen-Rendering-Technik (VRT) angesehen werden, die derzeit die am weitesten verbreitete 3D-Bildrekonstruktionstechnik ist. Derzeit bieten verschiedene Hersteller eine fotorealistische Rekonstruktionstechnik an. CR liefert nahezu (foto-)realistisch imponierende Bilder mit einem hohen Grad an Bilddetails. Die Technik ermöglicht eine verbesserte Tiefenwahrnehmung (ROSCHL ET AL. 2019). Insofern kann diese Technik für verschiedene Fragestellungen eingesetzt werden, z.B. zur Verbesserung der Darstellung komplexer Frakturen, zur präoperativen Planung, zur Patientenkommunikation oder für die medizinische Lehre. Bisher wird CR vor allem in der Computer- und Magnetresonanztomografie eingesetzt. Nur wenige Berichte beschreiben ihre Anwendung bei anderen bildgebenden Verfahren wie z.B. der digitalen Subtraktionsangiografie oder dem DVT (HAKIM & MOSIMANN 2020; STADLINGER ET AL. 2020). Nachdem die Anwendung von CR für einzelne dento-maxillofaziale Fragestellungen auf Basis von CT- und DVT-Daten gezeigt werden konnte (STADLINGER ET AL. 2020), dient die aktuelle Fallserie zur Vorstellung weiterer potenzieller dentaler und maxillofazialer Pathologien, die mittels CR rekonstruiert werden können.

Ziel dieser Fallserie ist es, die Anwendung von CR bei vier verschiedenen, exemplarischen Pathologien aus dem Fachgebiet der allgemeinen Zahnmedizin, Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie und Oralchirurgie zu demonstrieren. Es wurden Fälle ausgewählt, bei denen die Anwendung der CR-Technik

zusätzliche 3D-Informationen liefert und damit dem Spezialisten eine ergänzende Visualisierungsmethode neben der Standardvolumenrekonstruktion bietet.

Material und Methoden

Alle eingeschlossenen Patienten bzw. ihre Eltern gaben ihr Einverständnis zur Verwendung gesundheitsbezogener Daten und ihrer Röntgenbilder für diesen Fallbericht.

Alle Röntgenbilder wurden mit DVT-Scannern aufgenommen. Die Abbildungen 1–3 wurden mit einem Morita-Accuitomo-Scanner (J. Morita, Accuitomo 170, Kyoto, Japan) aufgenommen. Die Bildgebungsparameter waren wie folgt: **Fall 1:** Schichtdicke 1,0 mm, Voxelgrösse 0,25 mm, Schichtabstand 0,5 mm, Field of View in mm (FOV): 140,250, 140,250, 51,000. **Fall 2:** Schichtdicke 0,88 mm, Voxelgrösse 0,08 mm, Schichtintervall 0,56 mm, FOV: 40,080, 40,080, 40,320. **Fall 3:** Schichtdicke 1,0 mm, Voxelgrösse 0,25 mm, Schichtintervall 0,5 mm, FOV: 140,250, 140,250, 101,000. Zur Visualisierung wurde die OnDemand 3DApp Software (CyberMed, Seoul, Korea) verwendet.

Abbildung 4 wurde mit einem KaVo 3D eXam Scanner (KaVo, Biberach, Deutschland) aufgenommen. Die Bildgebungsparameter waren wie folgt: **Fall 4:** Schichtdicke 0,40 mm, Voxelgrösse 0,40 mm, Schichtintervall 0,4 mm, FOV: 160,000, 160,000, 160,000.

Alle DVT-Daten wurden automatisiert im PACS (Picture Archiving and Computing System, Synedra AG, Innsbruck, Austria) des Zentrums für Zahnmedizin der Universität Zürich im DICOM-Format gespeichert. Für die Rekonstruktion der DICOM-Datensätze der CR-Bilder wurde eine Prototyp-Rendering-Software (Cinematic Rendering Version 1.5.3, syngo. via Frontier, Version VB30, Siemens Healthineers, Forchheim, Deutschland) verwendet.

Ergebnisse

Ausgewählt wurden DVTs von vier Patienten mit vier verschiedenen dentalen bzw. knöchernen Pathologien. Bei der Selektion wurden Datensätze ausgewählt, die keine Metallartefakte aufwiesen.

Fall 1

Externe Zahnresorption: DVT des linken Unterkiefers einer 65-jährigen Patientin. Zahn 34 zeigt eine externe Resorption an der vestibulären Wurzeloberfläche, die in die tieferen Gewebeschichten bis zum Pulpencavum vordringt. Im Defektbereich zeigt sich keine die Wurzel bedeckende, vestibuläre Knochenlamelle. Die CR-Bildgebung visualisiert die räumliche Tiefe der Resorptionshöhle.

Fall 2

Ankylosierter Oberkiefermolar: DVT des linken Oberkiefers eines 10-jährigen Jungen mit Wechselgebiss. Zahn 26 zeigt eine 90°-Angulation des apikalen Wurzeldrittels der mesio-bukkalen, distobukkalen und palatinalen Wurzel. Die Ankylose ist interradiär sichtbar, da Knochen bis ins Dentin eingewachsen ist. Die palatinale Wurzel zeigt ein offenes Foramen apikale. Es besteht eine anatomische Nähe der distobukkalen Wurzel zum offenen Foramen apikale der mesio-bukkalen Wurzel des Zahnes 27. Bei allen Zähnen besteht eine knöcherne Abgrenzung zum Lumen der Kieferhöhle. Der in Entwicklung befindliche Zahn 25 resorbiert die Wurzel des Milchzahns 65.

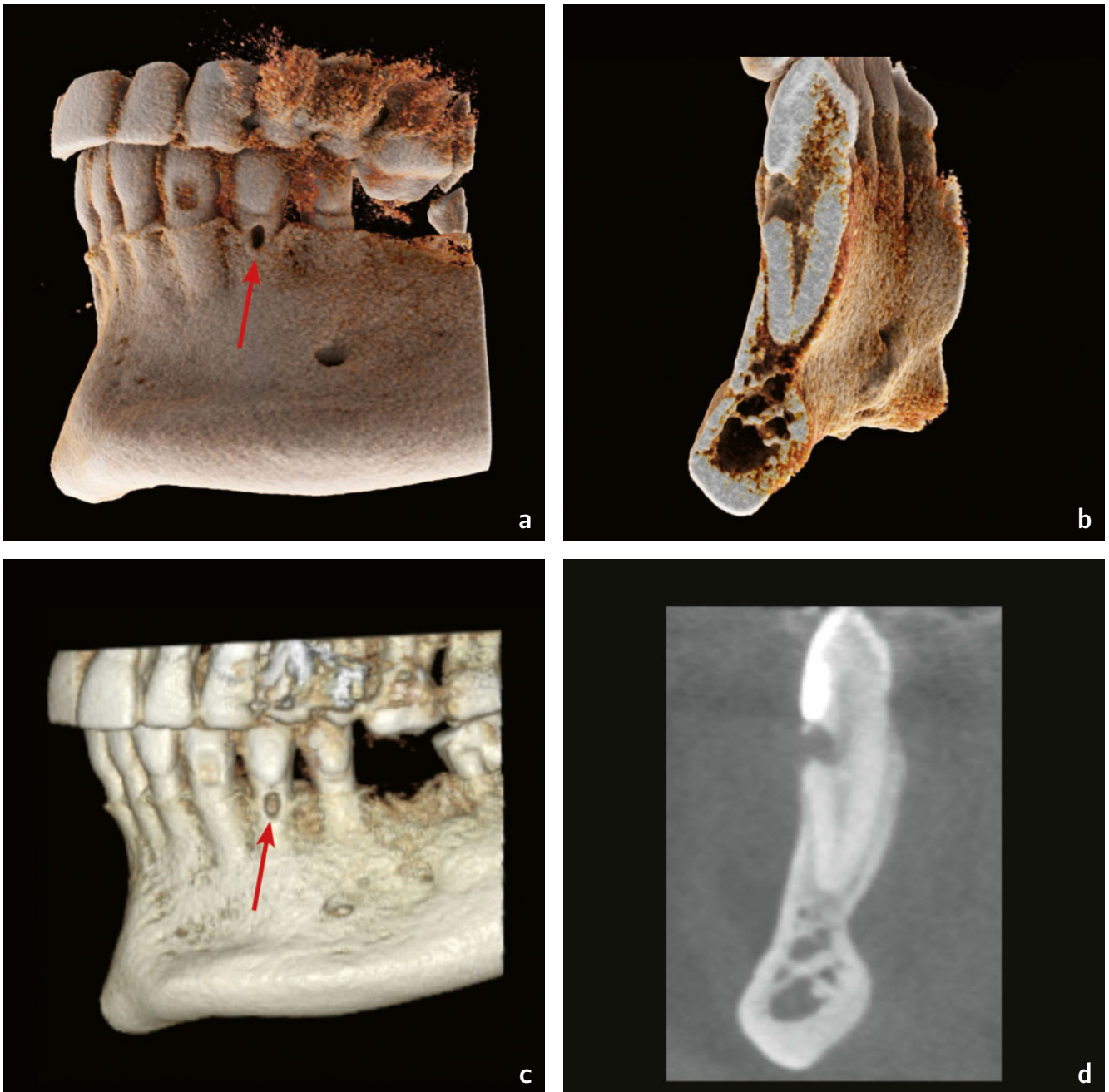


Abb. 1a–d Externe Zahnresorption (Pfeil): 1a) schräg-seitliche Cinematic-Rendering (CR-)Ansicht; 1b) sagittale CR-Ebene; 1c) schräg-seitliche Volumen-Rendering-Technik (VRT) Ansicht; 1d) sagittale Ebene

Fall 3

Riesenzellassoziierte Läsion: Es zeigt sich eine riesenzellassoziierte osteolytische Läsion im anterioren Unterkiefer eines 13-jährigen Jungen. Die Zahnwurzeln sind verlagert, ohne Anzeichen auf eine Resorption. An osteolytische Regionen angrenzend imponieren die spongiösen Knochenregionen sklerotisiert. Die äussere kortikale Kontur des Unterkiefers ist nach vestibulär, kaudal und lingual expandiert. Kortikale Knochenstrukturen imponieren insgesamt ausgedünnt. Die vestibuläre Kortikalis weist mehrere Fenestrations auf.

Fall 4

DVT eines 11-jährigen Jungen mit einer einseitigen *Lippen-Kiefer-Gaumenspalte* der linken Seite (UCLP links) mit Anzeichen einer skelettofazialen Deformität (skelettales Muster der Klas-

se III) vor der Durchführung einer sekundären Alveolarknochen-Transplantation (sABG). Beurteilung des Knochendefizits und der impaktierten Zähne. Das Wechselgebiss zeigt eine Dislokation und 90°-Angulation des Zahns 22. Zahnkeim 23 ist im Nasenpfeiler der linken Maxilla sichtbar.

Diskussion

Ziel dieser Fallserie ist es, die Anwendbarkeit von DVT-basierten CR-Rekonstruktionen bei verschiedenen dentomaxillofazialen Indikationen zu demonstrieren. Insgesamt sehen wir ein subjektiv hohes 3D-Verständnis der exemplarisch gezeigten Pathologien. CR-Bilder vermitteln Plastizität sowie ein verbessertes Gefühl für die Tiefenebenen der Gewebe. Dies zeigt sich z.B. in der sagittalen Ansicht des Unterkiefers (Abb. 1b) oder in der sagittalen Ansicht der Kieferhöhle (Abb. 2a). Auch Abb. 4 er-

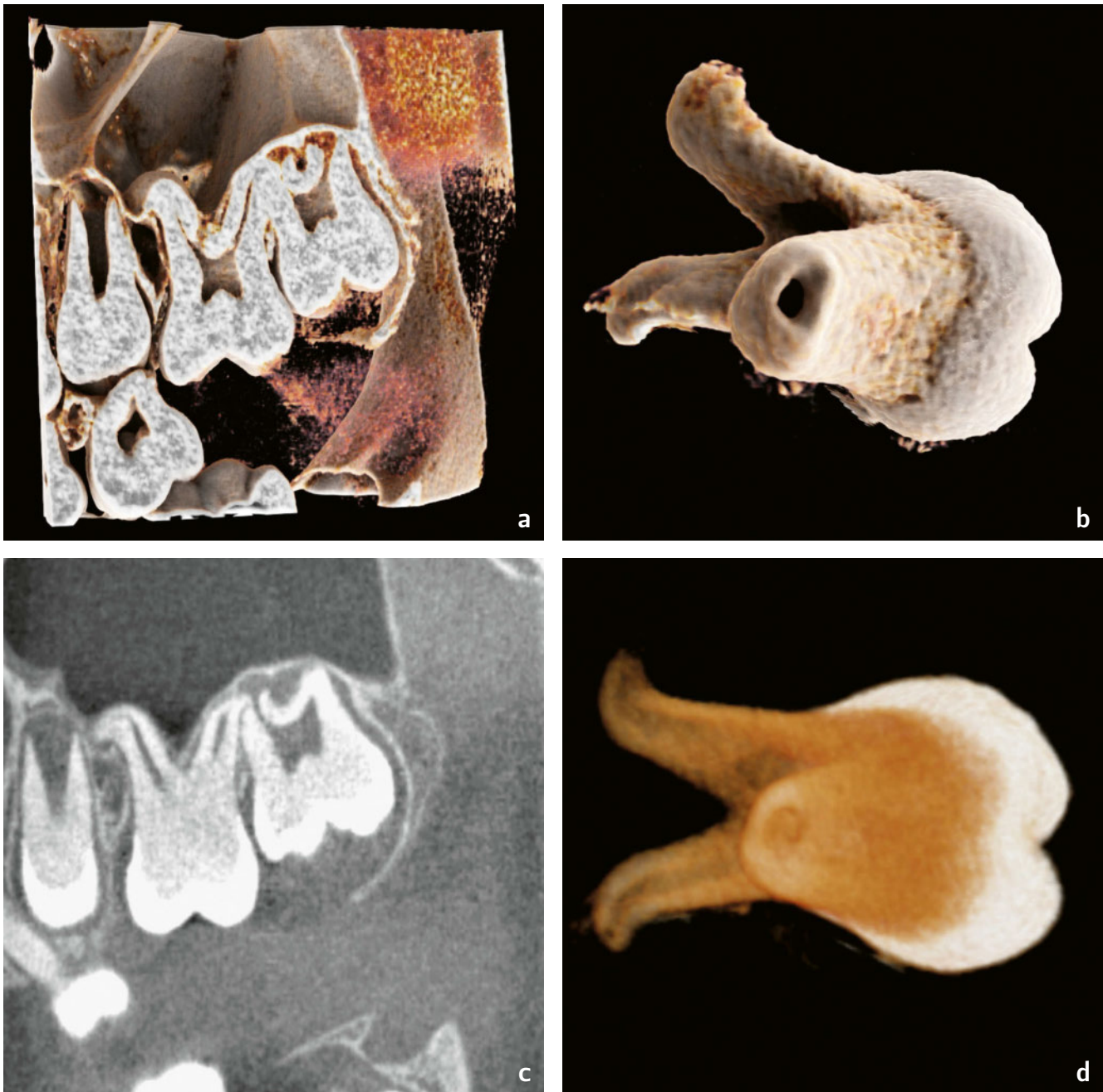


Abb. 2a–d Ankylosierter Oberkiefermolar: 2a) sagittale Cinematic-Rendering (CR-)Ebene; 2b) 3D-CR-Rekonstruktion; 2c) sagittale Ebene; 2d) 3D-VRT-Rekonstruktion

möglicht ein plastisches Verständnis der Struktur der Kieferspalte sowie der maxillären Hypoplasie in der CR-Rekonstruktion im Vergleich zu einer Standard-VRT-Rekonstruktion. Dies bedeutet nicht, dass die entsprechenden Strukturen nicht auch in der klassischen VRT-Rekonstruktion gut zu visualisieren sind. Sie stellen sich jedoch mittels CR für das menschliche Auge subjektiv realistischer dar.

Das DVT brachte der Zahnmedizin eine neue 3D-Röntgentechnik, die zu neuen digitalen Arbeitsabläufen führte. Somit ist es möglich, dreidimensionale Bildgebung präoperativ und gegebenenfalls intra- und postoperativ zu nutzen (JOHNER ET AL. 2020; SCHELBERT ET AL. 2019). Da sich die Hardware-Entwicklung in den letzten Jahren zunehmend stabilisierte, ist die Integration neuer Softwaremodule von grossem Interesse. CR ist eine solche Software, die durch ein «post-processing» zusätzliche

Informationen durch eine Nachbearbeitung ermöglicht. Bei der Fallselektion hat sich gezeigt, dass der Effekt dieser Bildbearbeitungstechnik für verschiedene Arten von Pathologien unterschiedlich erscheint. Während oberflächennahe oder der knöchernen Oberflächen aufsitzende Pathologien mittels CR exzellent visualisiert werden können, ist der Vorteil gegenüber klassischen Volumenrekonstruktionen bei Binnenstrukturen weniger ausgeprägt.

Ebert et al. zeigten die Möglichkeit, komplexe anatomische wie auch pathologische Strukturen zu visualisieren und kamen zu dem Schluss, dass die Verwendung von CR für die forensische Visualisierung Vorteile gegenüber der Verwendung von VRT haben könnte, wenn die Vermittlung eines hohen Grads an Fotorealismus von Bedeutung ist (EBERT ET AL. 2017). Fotorealismus ist auch ein wichtiger Faktor bei der chirurgischen Bildge-

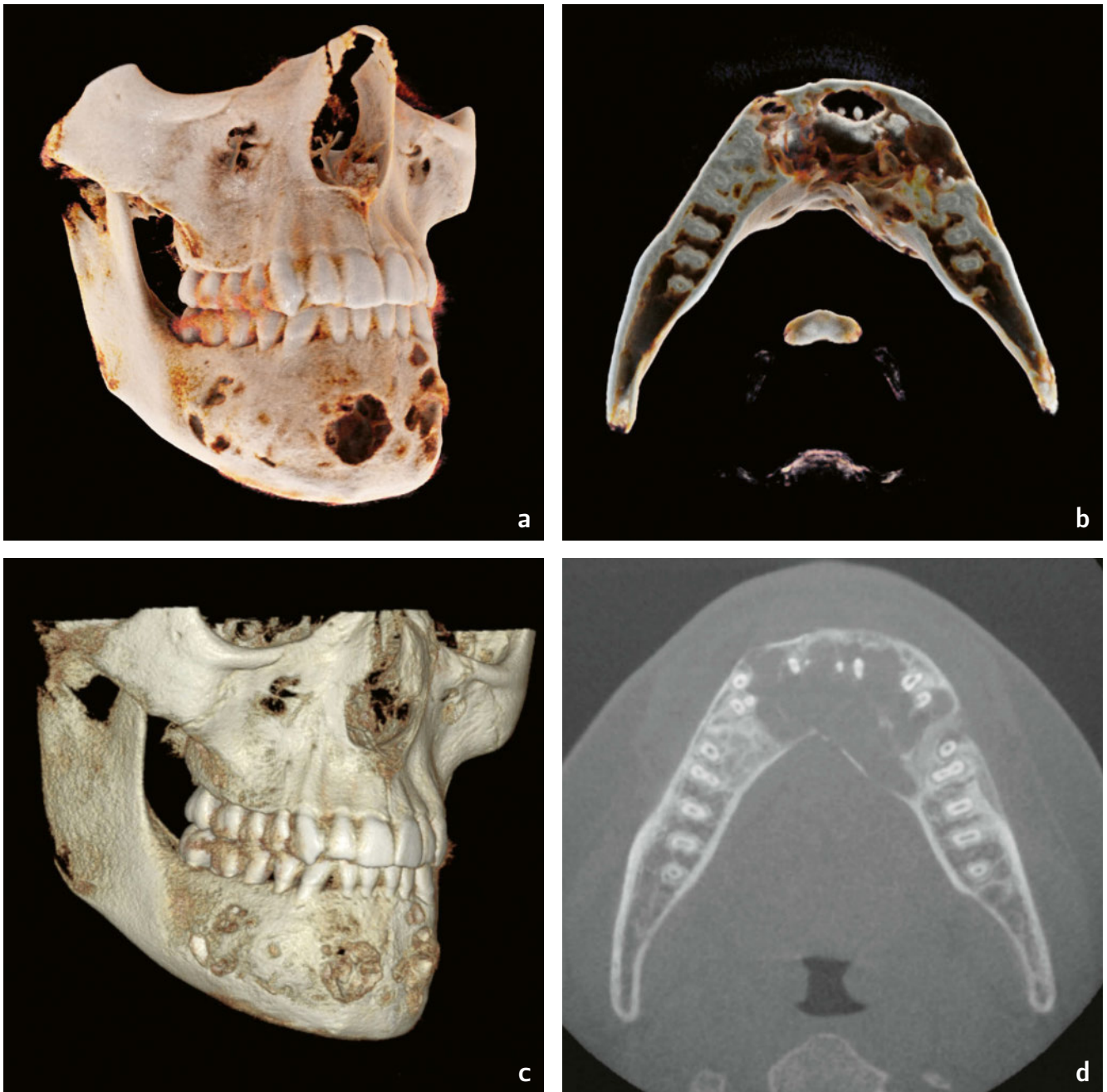


Abb. 3a–d Riesenzellassoziierte Läsion: 3a) fronto-laterale Cinematic-Rending (CR-)Ansicht; 3b) axiale CR-Ebene; 3c) fronto-laterale Volumen-Rending-Technik (VRT-)Ansicht; 3d) axiale Ebene

bung, der die Wahrnehmung anatomischer Details beeinflusst. Dies kann für Studenten, Assistenzärzte, aber auch für Spezialisten von Bedeutung sein.

Wie wurden anatomische Details in der vorliegenden Fallserie wahrgenommen? Die Fälle 1 und 2 dieser Fallserie konzentrieren sich auf dentale Pathologien. In Abb. 1a kann die Beziehung des krestalen Knochenniveaus zur externen Zahnresorption im CR-Bild besser wahrgenommen werden. Im sagittalen Bild (Abb. 1b) ist der Übergang zwischen der vestibulären Resorption und dem Pulpencavum gut erkennbar. Fall 2 zeigt einen ankylosierten Oberkiefermolaren. Die Ankylose ist interradikulär sichtbar. Hierdurch sistiert das vertikale Wachstum des Zahns. Die Wurzeln drängen dann auf die anatomische Grenze (hier die Kieferhöhle) und ändern im weiteren Wachstum die Richtung, was zu einer 90°-Angulation führt. In Abbildung 2b und 2d

werden zwei verschiedene Möglichkeiten zur Visualisierung des ankylosierten Molaren verglichen. Während in Abbildung 2b CR zur Visualisierung der Zahnoberfläche angewandt wird, verwendet Abbildung 2d einen Rekonstruktionsmodus, der von der OnDemand-Software angeboten wird und eine gewisse Transparenz erzeugt.

Die Fälle 3 und 4 zeigen maxillofaziale Pathologien. Fall 3 ist eine seltene riesenzellassoziierte Läsion des Unterkiefers. Knöchernen Fenestrationen und unterminierende Knochenlakunen werden mittels CR deutlicher visualisiert. Insbesondere der Vergleich der axialen Aufnahmen (Abb. 3b, d) zeigt die Vorteile von CR mit Blick auf die Rarefaktion der Spongiosa. Fall 4 zeigt eine unilaterale Lippen-Kiefer-Gaumenspalte der linken Seite mit Anzeichen einer skelettofazialen Deformität. Solche komplexen Deformitäten profitieren von CR, da das Zusammenspiel

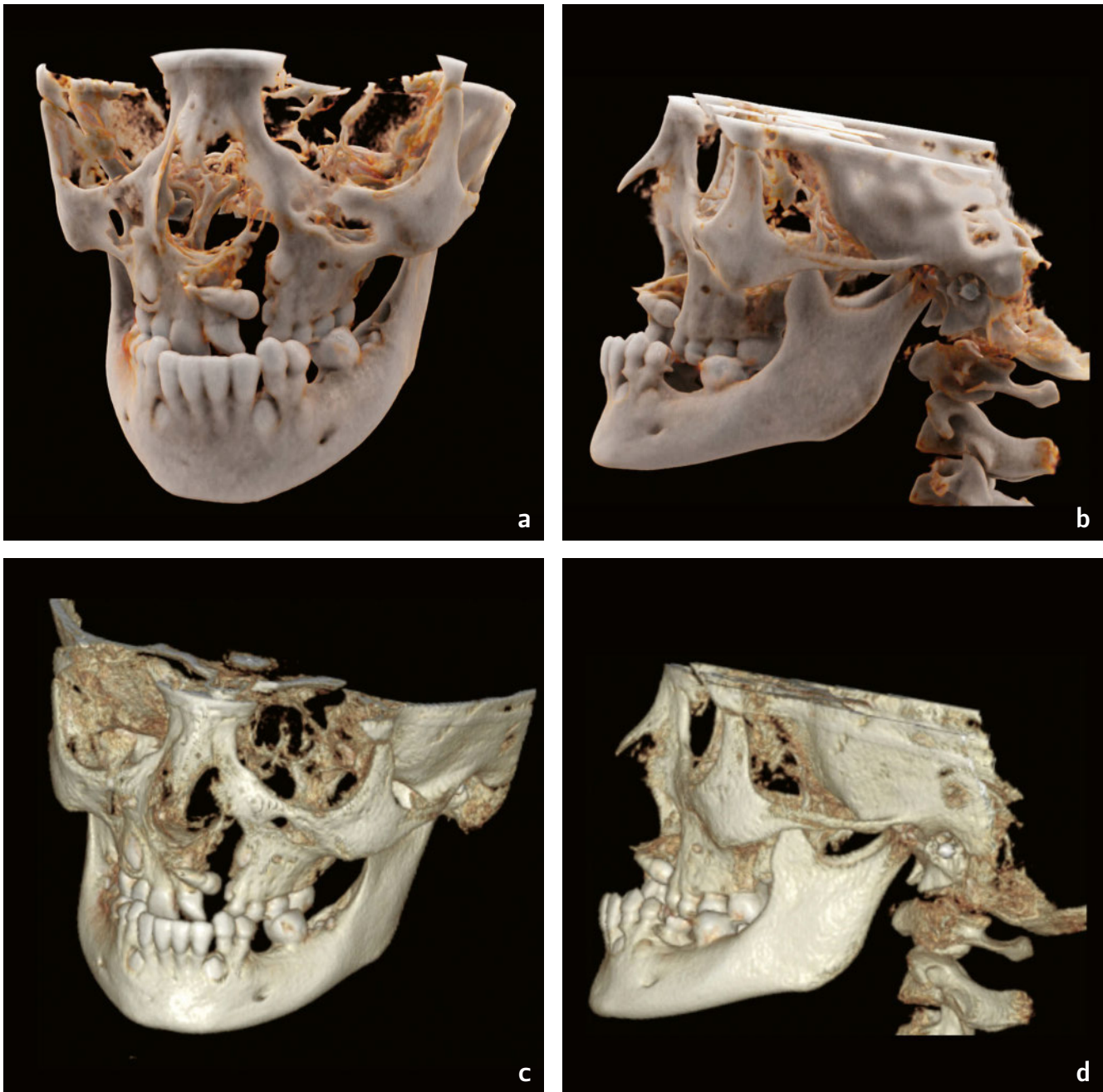


Abb. 4a–d Unilaterale Lippen-Kiefer-Gaumenspalte der linken Seite (UCLP links, skelettales Muster Klasse III): 4a) fronto-laterale Cinematic-Rendering-Wiedergabe (CR); 4b) laterale CR-Ansicht; 4c) fronto-laterale Volumen-Rendering-Technik (VRT)-Ansicht; 4d) laterale VRT-Ansicht

von Zahnpathologien, knöchernen Pathologien und Wachstumsdefiziten gezeigt werden kann.

Insgesamt sehen wir vielversprechende Möglichkeiten von CR für DVT-Bilder. Eine Limitation der CR-Technik ist ihre Anfälligkeit für Artefakte. Dies gilt insbesondere für Metallartefakte, die durch Zahnkronen, Füllungen oder Zahnimplantate verursacht werden und sich negativ auf die Bildqualität auswirken. Artefakte sind jedoch auch bei VRT-Rekonstruktionen zu sehen. Bewegungsartefakte scheinen ein geringes Problem darzustellen, wenn man die schnellen Rotationszeiten von DVTs betrachtet. Unserer Beobachtung nach zeigt sich der grösste Vorteil von CR bei der Visualisierung von Pathologien auf Knochenoberflächen. Die Visualisierung von Pathologien im Inneren des Knochens (z.B. Osteom des Unterkiefers), ist im Vergleich zur klassischen Bildgebung durch CR nicht

eindeutig verbessert. Eine weitere technische Limitation ist die relativ lange Rendering-Zeit, die es derzeit schwierig macht, diese Technik für die alltägliche Diagnostik bereitzustellen.

Wichtig ist, zu betonen, dass allein die rechtfertigende Indikation über die Notwendigkeit eines DVTs entscheidet. Neue Möglichkeiten zur Visualisierung von DVT-Daten können die Tiefenwahrnehmung verbessern und als zusätzliches Mittel neben den konventionellen 3D-Visualisierungen genutzt werden, ändern aber nichts an der Indikation zur Bildgebung.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass CR eine sehr attraktive Rendering-Software ist und das plastische und ästhetische Verständnis von DVT-Bildern verbessert. Diese weichen Faktoren bedeuten nicht unbedingt, dass CR einen klinischen Mehrwert bringt. Die klinische Relevanz dieser Rekonstruk-

tionstechnik muss mit entsprechenden Studien untermauert werden, um den Stellenwert dieser Technik als Standard-Post-processing-Software zu evaluieren.

Danksagung

Wir danken Yara Jäkel für die Unterstützung beim Layout der Bilder.

Abstract

STADLINGER B, ESSIG H, SCHUMANN P, VAN WAES H, VALDEC S, WINKL-HOFER S: **Cinematic Rendering in Cone Beam Computed Tomography: Advanced 3D Reconstructions of Dental and Maxillofacial Pathologies** (in German). SWISS DENTAL JOURNAL SSO 131: 133–139

Cinematic rendering (CR) is a novel 3D visualisation technique, which provides photorealistic image reconstructions with a high level of image details. Aim of this case series is to show the application of CR in Cone Beam Computed Tomography (CBCT) in dentomaxillofacial pathologies. Four exem-

plary CBCTs of clinical dentomaxillofacial cases were selected. 3D CR reconstructions were generated from the CBCT by using a vendor-provided standard CR software. Cases include 1) external tooth resorption, 2) ankylosed maxillary molar tooth, 3) giant cell-associated osteolytic lesion of the mandible, 4) unilateral cleft lip/palate with additional skeletofacial deformity. CBCTs of four patients showing dental and osseous pathologies were successfully reconstructed. Overall, a subjectively improved 3D understanding of the presented pathologies was observed. The CR images seem to present more plasticity, giving a better feeling for the spatial depth of the tissue. CR can be applied to CBCT images in dentomaxillofacial patients. The photorealistic appearance might improve the understanding of complex anatomy or pathology, could facilitate patient communication, and might be helpful for advanced medical education. We see potential in the use of CR for additional 3D visualization. The actual image diagnosis is done in the classic sectional planes. The significance of CR reconstruction for image diagnostics must be investigated in appropriate studies.

Literatur

DULA K, BORNSTEIN M M, BUSER D, DAGASSAN-BERNDT D, ETTLIN D A, FILIPPI A, GABIOUD F, KATSAROS C, KRASTL G, LAMBRECHT J T, LAUBER R, LUEBERS H T, PAZERA P, TURP J C, SADMFR: SADMFR guidelines for the use of Cone-Beam Computed Tomography/Digital Volume Tomography. *Swiss Dent J* 124: 1169–1183 (2014)

EBERT L C, SCHWEITZER W, GASCHO D, RUDER T D, FLACH P M, THALI M J, AMPANOZI G: Forensic 3D Visualization of CT Data Using Cinematic Volume Rendering: A Preliminary Study. *AJR Am J Roentgenol* 208: 233–240 (2017)

HAKIM A, MOSIMANN P J: Intracranial Arteriovenous Malformation: Cinematic Rendering with Digital Subtraction Angiography. *Radiology* 294: 506 (2020)

JOHNER J P, WIEDEMEIER D, HINGSAMMER L, GANDER T, BLUMER M, WAGNER M E H: Improved Results in Closed Reduction of Zygomatic Arch Fractures by the Use of Intraoperative Cone-Beam Computed Tomography Imaging. *J Oral Maxillofac Surg* 78: 414–422 (2020)

NEVILLE P, VAN DER ZANDE M M: Dentistry, e-health and digitalisation: A critical narrative review of the dental literature on digital technologies with insights from health and technology studies. *Community Dent Health* 37: 51–58 (2020)

ROSCHL F, PURBOJO A, RUFFER A, CESNJEVAR R, DITTRICH S, GLOCKLER M: Initial experience with cinematic rendering for the visualization of extracardiac anatomy in complex congenital heart defects. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 28: 916–921 (2019)

SCHELBERT T, GANDER T, BLUMER M, JUNG R, RUCKER M, ROSTETTER C: Accuracy of Computer-Guided Template-Based Implant Surgery: A Computed Tomography-Based Clinical Follow-Up Study. *Implant Dent* 28: 556–563 (2019)

STADLINGER B, VALDEC S, WACHT L, ESSIG H, WINKL-HOFER S: 3D-cinematic rendering for dental and maxillofacial imaging. *Dentomaxillofac Radiol* 49: 20190249 (2020)