

## 3-D-Diagnostik und -Planung in der Zahnmedizin

**Peter A. Ehrl, Eleni Kapogianni**

Seit es die Röntgentechnik gibt, versucht man bei entsprechenden Fragestellungen – insbesondere in der Traumatologie – die dritte Dimension darzustellen. Das geschah früher mit zusätzlichen Aufnahmen in einer Strahlenrichtung in 90° zur ersten Strahlenrichtung. Ein Anspruch, der sich beim Kopf nur selten gut realisieren lässt. Seit Beginn der 1980er-Jahre wird in der chirurgischen Zahnmedizin und der oralen Implantologie die Computertomografie eingesetzt. Sie wurde nur in Ausnahmesituationen angewandt. Dies änderte sich zwar schlagartig mit der Vorstellung der ersten DVT-Geräte um die Jahrtausendwende, die Computertomografie führte aber dennoch ein Schattendasein, da die Methoden sehr zeitaufwändig waren und die Bildqualität häufig zu wünschen ließ. Seit ca. 2007 ist eine Vielzahl von Geräten verfügbar, die eine hohe Bildqualität aufweisen und deren Strahlenexposition in einem gut vertretbaren Rahmen liegen. Hinzu kommt die Verbesserung der Softwares, die heute eine Gesamtdiagnostik und Planung in wenigen Minuten erlauben, wofür man vor fünf Jahren mit Übung noch gut 20 bis 30 Minuten benötigte. Hilfreich ist hier das so genannte „Slicing-Window“, welches die dynamische Bildbetrachtung erlaubt und die Automatisierung von Routinen.

### Zusammenfassung

Die dreidimensionale bildgebende Diagnostik hat einen hohen Entwicklungsstand erreicht und ist aus der täglichen Praxis nicht mehr wegzudenken. Es bedarf noch einiger Verbesserungsschritte, sie wird aber mittelfristig die zweidimensionale Diagnostik Zug um Zug ersetzen. Die wichtigsten Schritte dazu sind eine verlässlich niedrige Strahlendosis bei hoher Auflösung sowie ein individuell wählbares, der Fragestellung angemessenes Volumen. Das größte Hemmnis für die flächendeckende Einführung dazu dürften derzeit noch der hohe Investitionsbedarf und Aufwand sein, die nicht Gegenstand dieser Erörterung sind.

### Indizes

Digitale Prozesskette, 3-D-Diagnostik, Digitale Volumentomografie, Parodontologie, Endodontie, Implantologie, Kieferorthopädie, Funktionsdiagnostik

### Einleitung

**Voraussetzung einer breiteren Anwendung: geringe Strahlenexposition**

Die Strahlenexposition beträgt heute in Abhängigkeit vom Gerät das 5- bis 52-fache einer Panoramaschichtaufnahme (Tabelle 1). Seit 2007 gibt es einen speziell diesen Messungen dienenden Phantomkopf (ICRP 2007, Alderson Rando Phantom). Der große Unterschied der Aufnahmegeräte beruht auf folgenden Faktoren: Rotation um den Patienten (191–360°), Anzahl der Bilder (288–1.024), Strahlungsdauer (8,9–40 s), Aufnahmevolumen (5 x 5 Zylinder bis zum gesamten Vorderschädel). Bei der Auflösung der Bilder werden heute 0,08 bis 0,4 mm Voxelkantenlängen erreicht. Die so genannte Bildqualität wird noch durch weitere Parameter beeinflusst, wobei das Ziel besteht, zwischen der Strahlenexposition (höhere Exposition führt zu genaueren Bildern) und der Bildqualität ein vernünftiges Mittelmaß zu finden. Dies heißt aber auch ganz klar, dass für eine CT-Aufnahme gemäß RöV wegen der größeren Aussagekraft und zugleich geringeren Strahlendosis des DVT heute keine Indikation mehr besteht (RöV Abschnitt 1a, § 2a Rechtfertigung [...], § 2c Vermeidung unnötiger Strahlenexposition und Dosisreduzierung). In Abhängigkeit von der diagnostischen und therapeutischen Relevanz ist damit auch die Möglichkeit gegeben, die bisherige Zurückhaltung bei Mehrfachaufnahmen aufzugeben. Dies kommt in der Implantologie z. B. bei zweiphasigen Augmentationsverfahren zum Tragen, indem man vor der Augmentation und vor der Implantation eine Aufnahme anfertigen kann (Abb. 1a bis 1e).

Vom medizinischen Standpunkt aus können wir mit einer fixierten Größe der Volumina nicht zufrieden sein. Zu wünschen sind Geräte, die indikationsbezogen eine passende Volumengröße anbieten, also vom Einzelzahn bis zum ganzen Vorderschädel (der ganze Schädel ist den Radiologen vorbehalten). Die Entwicklung der Geräte in diese Richtung steht am Beginn. Damit kann die Strahlenexposition indikationsbezogen angepasst bzw. reduziert werden.

**Sachkundenachweis**

Die DVT hieß zunächst Digitale-Volumen-Tomografie. Mittlerweile steht das D für „Dentale“. Diese kleine Veränderung besitzt eine große Bedeutung: Das DVT-Verfahren ist nur den Zahnärzten vorbehalten, da nur diese die Fachkunde der Zahnmedizin erworben haben. Da Radiologen diese Fachkunde nicht besitzen, dürfen sie das DVT nicht betreiben. Sie können allerdings einen Zahnarzt zu diesem Zweck einstellen. Eine Ausnahme bilden die Ärzte für HNO-Heilkunde, für die das DVT ebenso große Vorteile bietet. In der Folge bedeutet dies nun auch, dass der Zahnarzt die nötige Sachkunde erwerben muss, um die 3-D-Diagnostik durchführen (und berechnen) zu können. Vielfach sind Zentren entstanden, in denen die 3-D-Daten erstellt werden können. Der Zahnarzt bzw. Ope-

Tabelle 1 Strahlenexposition verschiedener Volumentomografen, das Vielfache davon in Relation zu einer Panoramaschichtaufnahme und im Verhältnis zur jährlichen natürlichen Strahlung (Daten nach Ludlow<sup>18,19</sup> und Ngan<sup>24</sup>).

	Galileos Default	Iluma Default	iCAT 9"	Planmeca Promax (Adult)	NewTom 9" FOV	CT Scant
Effektive Dosis in $\mu\text{Sv}$ (ICRP-1990)	29	331	68	210	39	2.100
Dosis als Vielfaches der mittleren Dosis einer PSA-Aufnahme (ICRP-1990)	5	52	11	33	6	323
Dosis (ICRP 1990) als % der jährlichen natürlichen Strahlung	1 %	11 %	2,3 %	7 %	1,3 %	70 %

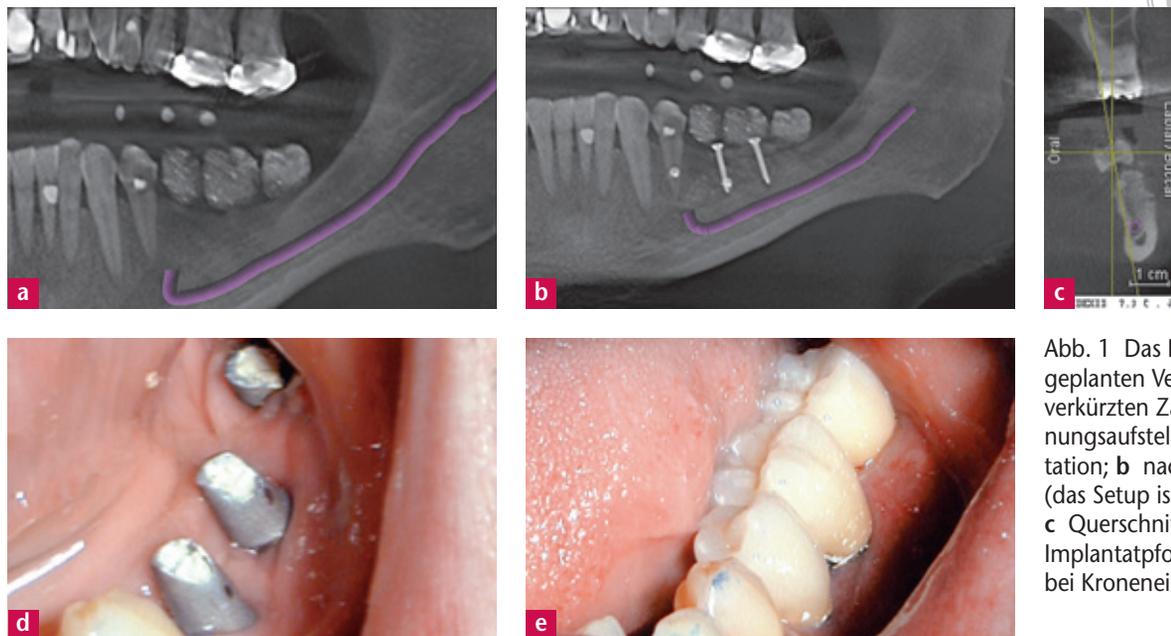


Abb. 1 Das Beispiel einer 3-D-geplanten Versorgung bei einer verkürzten Zahnreihe: **a** Planungsaufstellung vor Augmentation; **b** nach Augmentation (das Setup ist basal gekürzt); **c** Querschnitt; **d** Einprobe der Implantatpfosten; **e** Zustand bei Kroneneingliederung.

rateur benötigt nicht primär ein Gerät, er kann auch mithilfe der Daten in seiner Praxis die Diagnostik und ggf. 3-D-Planung mit einer eigenen Software durchführen, sofern er die Sachkunde erworben hat.

Der Export von Daten in andere Planungsprogramme ist über die DICOM-Standardisierung möglich (Digital Imaging and Communications in Medicine). DICOM ist ein offener Standard zum Austausch von Informationen in der Medizin, z. B. digitale Bilder, Zusatzinformationen, Oberflächendefinitionen oder Bildregistrierungen. Es wird sowohl das Format zur Speicherung der Daten als auch das Kommunikationsprotokoll zu deren Austausch standardisiert. DICOM ist auch die Grundlage für die digitale Bildarchivierung (Picture Archiving and Communication System, PACS). Mit DICOM als offenem Standard kommunizieren primär Geräte der bildgebenden Medizin unabhängig von der verwendeten Systemplattform oder dem Hersteller. Ein Anwender hat somit die Freiheit, die Geräte und Programme zu verwenden, mit denen er seine Aufgaben am besten lösen kann. Die Kooperationswege sind vielfältig (Abb. 2).

Seit und wo immer es die Möglichkeit gibt, wird in der Traumatologie die dritte Dimension gefordert. Insofern ist beim Zahntrauma, mit der Beurteilung der Zahnwurzel und des Alveolarfortsatzes und deren Mikrofrakturen bis hin zu Kiefer- und Mittelgesichtsfrakturen, 3-D-Diagnostik der Standard.<sup>28</sup> Die dreidimensionale Beurteilung apikaler Veränderungen und Zysten sowie insgesamt raumfordernder Prozesse im knöchernen Bereich ist der zweidimensionalen weit überlegen. Die genaue Lokalisation von Veränderungen, Wurzelresten, retinierten Zähnen<sup>23</sup> und Fremdkörpern hilft, Operationsentscheidungen und Vorgehensweisen essenziell zu verbessern und ist daher für die Patienten von hohem Interesse. Die Ausdehnung von Neoplasien im Hartgewebereich ist mit größerer Zuverlässigkeit möglich. Bei Verdacht auf Speichelsteine ist die VTG heute die einzig

### Datentransfer

### Die aktuellen Anwendungsbereiche nach Fachbereichen der Oralchirurgie

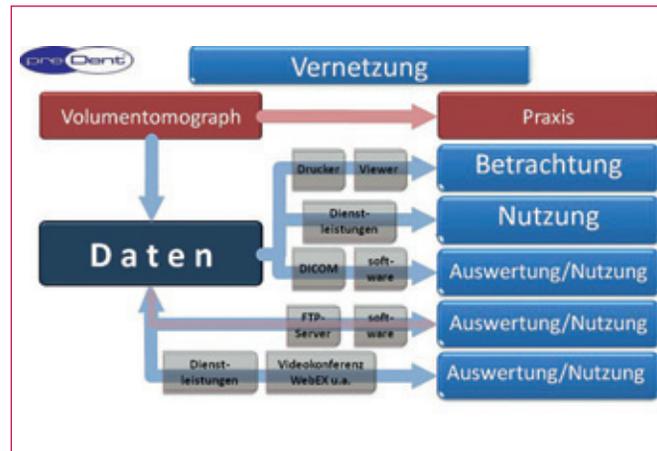


Abb. 2 Die Kommunikationswege bei der Bearbeitung von DVT-Daten.

sinnvolle Röntgendiagnostik, Erfahrungen der Gangdiagnostik mit kontrastgebenden Verfahren sind bisher nicht publiziert. Die Diagnostik der Nebenhöhlen ist eine Domäne der VTG, die mittlerweile auch von HNO-Ärzten gesehen wird. Umso wichtiger ist die Überlegenheit der Beurteilung im Rezessus alveolaris bei apikalen Prozessen in diesem Bereich oder bei der Planung bzw. Beurteilung implantologischer und augmentativer Maßnahmen wie z. B. der Sinuselevation.

**Parodontologie** Aus der Parodontologie liegen bisher wenige Publikationen vor.<sup>17,25</sup> Dies überrascht, da die dreidimensionale Beurteilung der periradikulären Situation von hoher Bedeutung in der Parodontaltherapie ist und bei einer zweidimensionalen Radiologie oft erst intraoperativ die exakte Beurteilung und zuweilen auch Therapieentscheidung möglich ist. Man denkt hier zuerst an die Problematik der Furkation mehrwurziger Zähne, doch auch bei der Beurteilung der oberen Front – bei der sowohl die Panoramaschichtaufnahme und noch mehr das Summationsbild des Zahnfilms nur unzulängliche Informationen liefert – ist die DVT überlegen. Hilfreich ist die DVT auch bei der Planung und ggf. Kontrolle von GTR-/GBR-Maßnahmen.

**Endodontie** In der Endodontie werden radiologisch vor allem die Wurzellänge, -topologie und die Therapiekontrolle erfasst. Die so genannte Messaufnahme wird heute immer häufiger durch Widerstandsmessungen ersetzt und bei der Kontrolle der Wurzelfüllung ist eine zweidimensionale Aufnahme in der Regel angemessener. Indikationen für eine 3-D-Diagnostik sind hier apikale Prozesse, deren Lokalisation im 2-D-Bild nur ungenügend möglich ist – ein Faktor der Therapie entscheidend sein kann, also im primären Interesse des Patienten liegt. Bei mehrwurzligen Zähnen, insbesondere ab drei Wurzelkanälen, ist die 3-D-Diagnostik eindeutig überlegen, denn sie erlaubt eine eindeutige Darstellung komplizierter Wurzelstrukturen. Begleitreaktionen, wie z. B. die Schleimhaut des Sinus maxillaris oder der N. alv. Inferior, können erst mit der DVT exakt beurteilt werden.

**Implantologie** 3-D-Diagnostik ist heute in der Implantologie unumstritten. Bereits 2003 sahen 80 % der implantologisch tätigen Zahnärzte eine Indikation bei schwierigeren Fragestellungen, 65 % nutzten die Technik bereits damals regelmäßig.<sup>1</sup> Heute wissen wir, dass

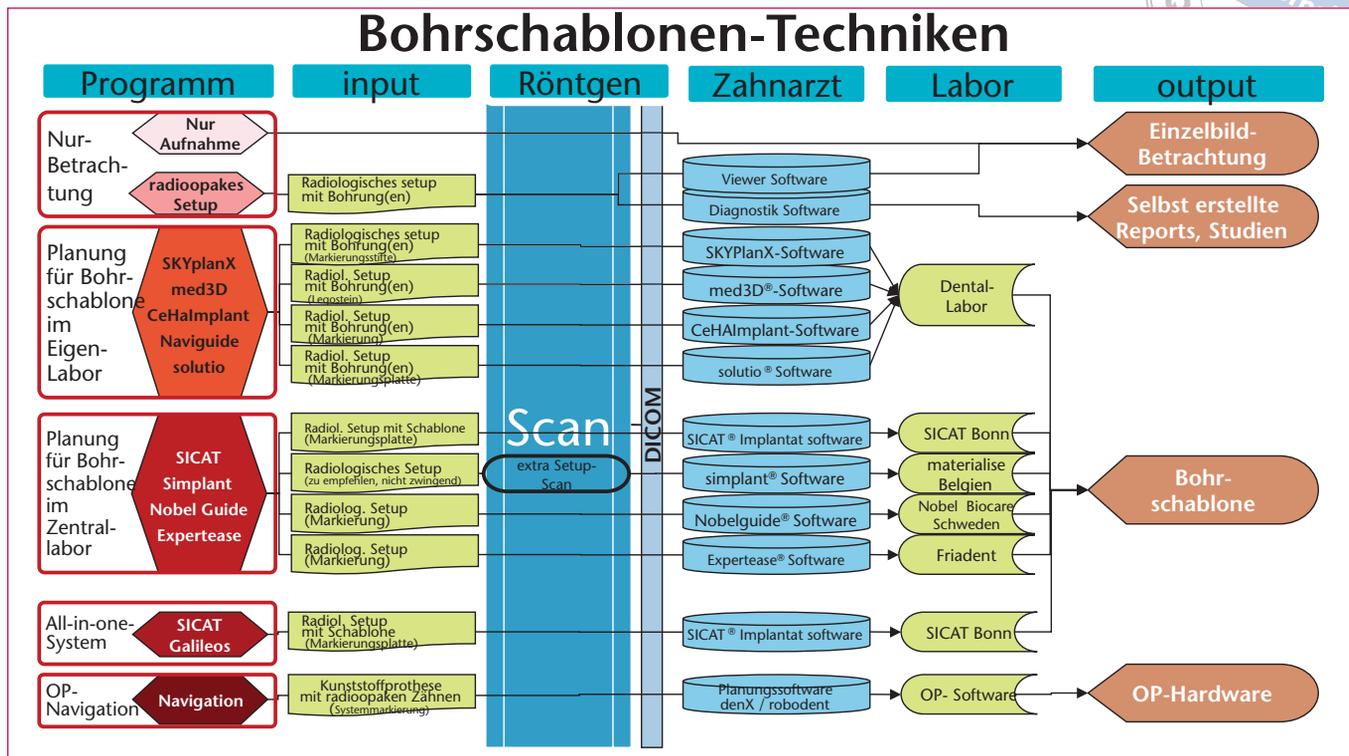


Abb. 3 Gruppierung und Übersicht der Implantatplanungsprogramme.

Selbst bei vermeintlich einfachen Einzelimplantationen die 3-D-Technik überraschende Ergebnisse liefern kann und anderen Optionen überlegen ist. Im vergangenen Jahrzehnt wurde umfangreich über Fehlinterpretationen berichtet, die zu Komplikationen führten, sodass schon aus forensischen Gründen heute ein DVT vor einer Implantation zu empfehlen ist. In den Leitlinien der DGZMK (Dentale Volumentomografie (DVT)-S1-Empfehlung-2009) heißt es: „Eine computergestützte Planung auf der Basis dreidimensionaler Röntgenverfahren sollte mithilfe der DVT durchgeführt werden“, während bei den anderen Indikationen ein „Kann“ steht.

Die Möglichkeit, virtuell zu implantieren, ist bei Vorliegen der Daten dann ein logischer Schritt, der ebenfalls nicht mehr fehlen sollte. Programme, die dies heute in Minutenschnelle ermöglichen, haben dies zusätzlich erleichtert. Kontrovers zu diskutieren ist, in welchem Umfang Operationshilfen bzw. Bohrschablonen anzuwenden sind. Hier sollte fallbezogen abgewogen werden, welcher Aufwand letztlich sinnvoll ist. Diese Entscheidung kann nur beim behandelnden Implantologen liegen, da die Variabilität der Befunde zu groß ist. Eine Vielzahl von Programmen ist heute auf dem Markt (Abb. 3). Da man viel Zeit damit verbringen wird, zukünftig damit zu arbeiten, sollte die Auswahl bei der Entscheidung für eines dieser Systeme gewissenhaft erfolgen.

Die Implantatnavigation hat sich aus verschiedenen Gründen nicht durchsetzen können. Übersehen wird zuweilen, dass auch eine virtuelle Planung fehlerbehaftet sein kann. D. h. auch diese muss professionell erlernt und umgesetzt werden. Der Erfolg kommt auch hier nicht von selbst. Beispiele für Planungen zeigen die Abbildungen 4

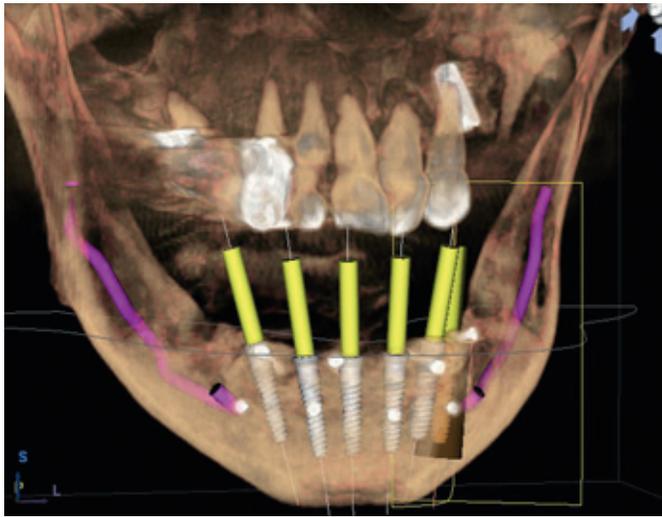


Abb. 4 Beispiel für die Planung interforaminaler Implantate (SICAT, Bonn) für eine zentral gefertigte Schablone.

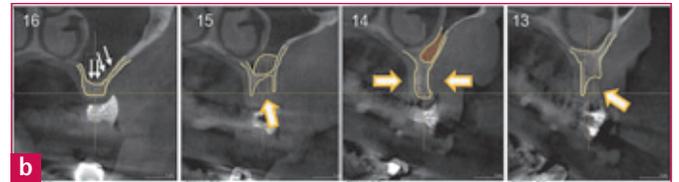
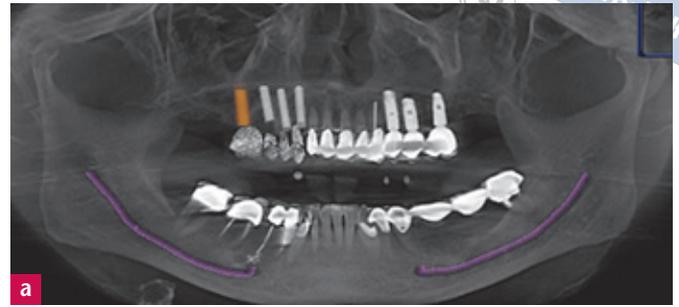


Abb. 5 Eine implantatbezogene Planung im rechten Oberkiefer: **a** Übersicht, **b** Einzeldarstellung. Jeder Implantatsitus zeigt andere implantologische Herausforderungen und kann gezielt geplant werden.

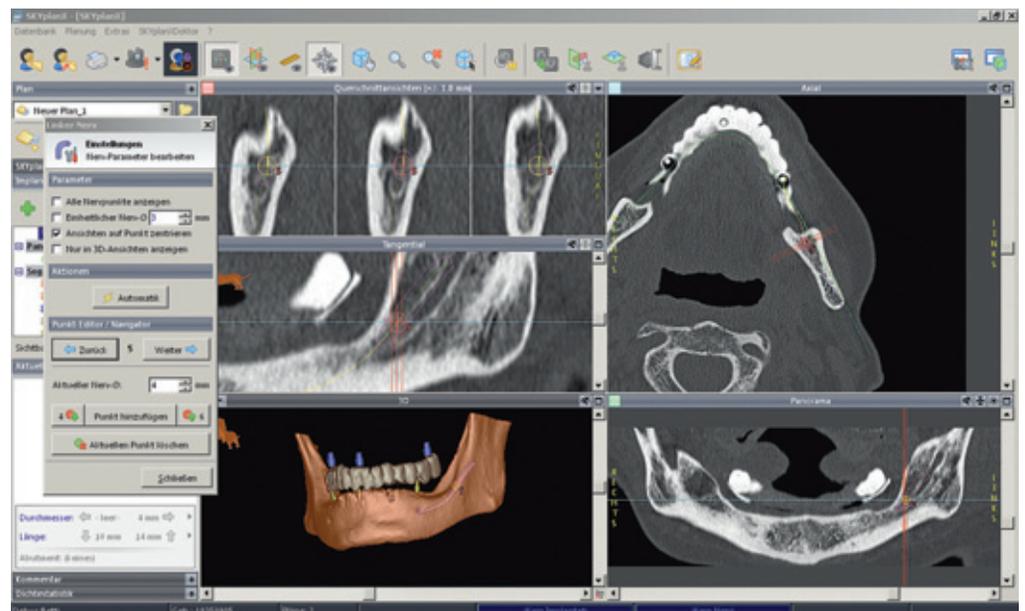


Abb. 6 Beispiel der Planung SKYPlanX (bredent, Senden) für eine laborgefertigte Schablone.

bis 6. Aus der Abbildung 5 wird dabei deutlich, wie vielfältig die Voraussetzungen bei einer Implantation sein können. Die 3-D-Informationen helfen dem Behandler bei einer sorgfältigen Operationsplanung und sind hilfreich bei der Erklärung der nötigen Maßnahmen gegenüber dem Patienten.

Aber auch 3-D-Planung will gelernt sein. Folgende Fehler kommen vor: schlechter Sitz der Schablone, Tendenz zur Auswahl großer Implantate, Implantate mit zu geringem Abstand, Implantate einzeln gut geplant – prothetisch ungünstig zusammenpassend, Darstellung des N. alv. inferior unsicher, Übersehen benachbarter Zahnbefunde, Setup ungeprüft, falsche Kronenposition resultierend in falscher Implantatposition.



Mit der Zunahme implantologischer Behandlungen gewinnt die Beurteilung gesetzter Implantate an Bedeutung. Die Beurteilung des Implantat-Knochen-Kontaktbereichs hat sich mittlerweile visuell deutlich verbessert, doch immer noch wird die Beurteilung der Kontaktzone Implantat-Knochen – insbesondere bei schlechter Softwareeinstellung – durch das Rauschen beeinträchtigt („verstrahlte Darstellung“). Für die Beurteilung größerer Knochendefekte, Kraterbildungen, Stellungsfehler, Reaktionen in der Nebenhöhle, Lage zum N. alv. inf. ist die dreidimensionale Beurteilung unverzichtbar.

**Planungs- und Bohrhilfensysteme der Implantologie.** Die Modellplanung ist immer noch die Grundvoraussetzung jeder Implantatplanung. Je nach angestrebtem Ergebnis und angewandter Planungssystematik ist ein unterschiedlicher Aufwand für dieses prothetisch-radiologische Setup erforderlich. Schon bei Einzelimplantaten empfiehlt es sich, eine Zahnaufstellung vorzunehmen. Damit die Zahnaufstellung röntgensichtbar wird, werden entweder vorgefertigte radioopake Zähne verwandt oder ein Ausguss mit radioopakem Material. Das Mischungsverhältnis hat sich bei der DVT gegenüber dem CT geändert, 80 % glasklarer Kunststoff (Kaltpolymerisat) : 20 % Bariumsulfat. Hilfreich für die radiologische Auswertung ist es, wenn die Kronen eine zentrale Bohrung in Zahnachsenrichtung aufweisen (Abb. 7). Hülsen sind hierfür nicht notwendig.

Systembedingt sind für die unterschiedlichen Planungsprogramme Markierungselemente erforderlich (Guttaperchastifte, Metallkugeln, Glaskugeln, Legosteine u. a. m.). Diese werden in das prothetisch-radiologische Setup mit eingebracht. Allein bei SimPlant® (Materialise Dental GmbH, Oberpfaffenhofen) ist dies nicht zwingend erforderlich.

Bei der Entscheidung für ein Implantatplanungsprogramm spielen folgende Überlegungen eine Rolle:

- Sollen die Bohrschablonen im Eigenlabor, Fremdlabor oder in einem der Zentren der Softwarefirmen hergestellt werden (Stichworte: Investition in Ausrüstung, Generierung von Leistung im eigenen Labor, Inanspruchnahme der Kenntnisse eines spezialisierten Zentrums)?
- Welchen Kostenanteil bei der Implantattherapie ist man hierfür bereit einzusetzen?
- Wie schnell findet man sich in die Programmsystematik ein? Gelingt sie intuitiv?
- Wie schnell kann man eine Planung durchführen? Bestehen in diesem Punkt große Unterschiede?
- Erleichtern Merkmale wie automatische Reporterstellung oder befundorientierte Dokumentation die Arbeit?
- Besteht die Möglichkeit der Einbindung in ein Praxisverwaltungssystem?
- Ermöglicht das Programm auch die allgemeine Diagnostik?

Die meisten auf dem Markt befindlichen Planungsprogramme haben heute einen hohen Entwicklungsstand erreicht. So ist z. B. das Einzeichnen des Mandibularkanals weitgehend gleich und wohl alle Programme besitzen eine umfangreiche Bibliothek der Implantatsysteme.

Vergleichende Untersuchungen über die Genauigkeit liegen nicht vor. Allerdings geben einige Systemanbieter die Fehlerabweichung fallbezogen an. Die Streuung liegt an der Implantatspitze in der täglichen Praxis zwischen 0,2 und 0,5 mm (eigene Werte).



Abb. 7 Eine Planungsaufstellung (Setup) mit Markierungen (hier: SICAT-Aufbissplatte mit Referenzmarkern) und radioopaken Kronen mit zentraler Bohrung.

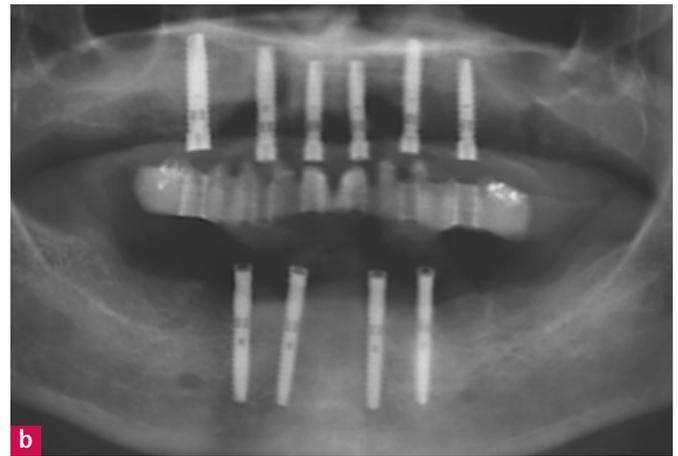


Abb. 8 **a** Eine mukosagestützte Schablone für Pilotbohrungen; **b** nach der Implantation. Im Oberkiefer: Setup-Kontrolle nach Implantation ohne Bohrschablone. Die Grenzen der Mukosalagerung werden sichtbar.

Fehlerquellen liegen auch in praktischen Details, wie z. B. der Modellgenauigkeit, der Repositionsgenauigkeit und -stabilität der Schablone beim Scan und der Implantation.

Üblicherweise werden die Schablonen für die Pilotbohrung angewandt (Abb. 8a und 8b). Insbesondere bei zeitgleich geplanten Augmentationen kann auch nur die Übertragung der Pilotbohrung sinnvoll sein. Die Genauigkeit kann zusätzlich dadurch erhöht werden, wenn ein Tube-in-tube-System angeboten wird, mit dem mehrere Bohrer-durchmesser geführt werden können (Abb. 9). Sofern das anzuwendende Implantat-system keine Bohrstopps, z. B. durch die Fräsen, erlaubt, ist zusätzlich eine Übertragung der Bohrtiefe wünschenswert und möglich, insbesondere bei einer möglichen Nervverletzung. Letztlich muss der Operateur fallbezogen entscheiden, welcher Aufwand angemessen ist – Pilotbohrungshülse, Tube-in-tube-System oder zusätzlicher Tiefenstopp. Die Kriterien hierfür sind sehr vielfältig und gehen weit über die reine Implantatplanung hinaus (z. B. der allgemeinmedizinische Zustand oder Komfortwünsche des Patienten).

In den meisten Fällen kann mit zahngestützten Schablonen gearbeitet werden. Insbesondere im zahnlosen Kiefer ist die Entscheidung zwischen einer mucosagelagerten,

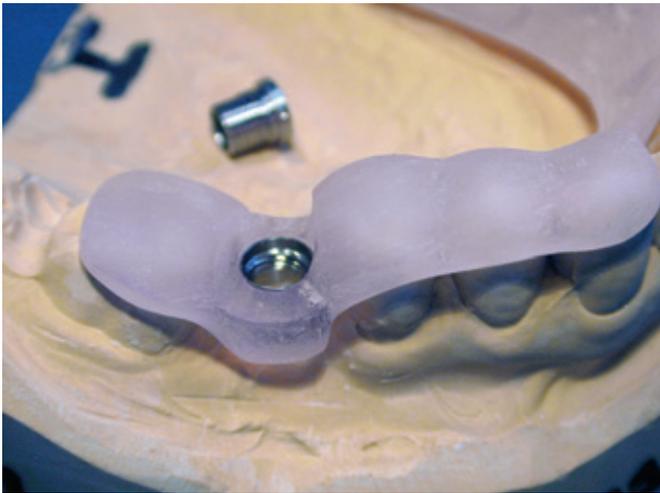


Abb. 9 Schablone mit Hülse-in-Hülse-System (SimPlant).



Abb. 10 Eine im zahnlosen Kiefer fixierbare Schablone für Nobel Biocare (Köln) Implantate (SICAT).

einer knochengelagerten oder einer mit Fixierschrauben gehaltenen Schablone zu treffen (Abb. 10).

Eine Sonderstellung nehmen All-in-one-Systeme ein (z. B. Galileos, Sirona, Bensheim), bei denen man eine systemintegrierte Lösung von der Aufnahme bis zur Schablonenplanung nutzen kann, aber nicht muss. Dies gewährleistet den schnellsten Arbeitsablauf. Navigationssysteme haben an Bedeutung verloren, da sie nicht die gleiche Sicherheit wie die schablonengestützte Implantationstechnik bieten.

Kieferorthopädische Therapien beschäftigen sich mit der Bewegung von Zähnen im dreidimensionalen Raum. Es liegt also nahe, die Volumentomografie hier anzuwenden.<sup>26,27</sup> Bis heute hat sich jedoch noch kein im täglichen Gebrauch anwendbares Programm etablieren können. Die Vorstellung, eine gesamte kieferorthopädische Therapie volumentomografisch zu begleiten, mag zwar technisch gefallen, doch sind die meisten Befunde genauso durch Modelldiagnostik zu verfolgen, da sich das diagnostische Substrat ja nicht im Verborgenen befindet. Die Häufigkeit der Kontrollen verbietet auch bezüglich der Strahlenexposition bei Jugendlichen die DVT als Routine. Es bleibt für die DVT die Basisdiagnostik zu Therapiebeginn, die Zwischendiagnostik bei schlechtem Verlauf, insbesondere bei Verdacht auf Bewegungshindernisse, sowie die Beurteilung pathologischer kieferorthopädisch induzierter Parodontal-, Zahn- und Gelenkerkrankungen.

Kombiniert chirurgisch-kieferorthopädische Therapien dürften heute bereits ausschließlich dreidimensional geplant werden. Durch die heute mögliche Übertragung eingescannter Modellsituationen („matching“) könnte in der Zukunft ein Mittelweg zwischen DVT- und Modelldiagnostik möglich sein.

Die Beurteilung von Gelenkveränderungen (z. B. arthritisch, arthrotisch, traumatologisch, rheumatisch, hyperplastisch, neoplastisch) ist mithilfe der DVT im Hartgewebereich eindeutig anderen diagnostischen Methoden überlegen. Die Sammlung und

*Kieferorthopädie*

*Funktionsbedingte  
Erkrankung*



Gliederung der jetzt genauer erfassbaren Befunde steht noch am Anfang. Noch mehr steht die Aussagekraft hinsichtlich therapeutischer Entscheidungen auf der Basis der 3-D-Diagnostik häufig noch auf unsicherem Fundament.

*Komplexe Krankheitsbilder, unklare Schmerzsymptomatiken und Patienten mit hohem Beratungsbedarf*

Patienten mit komplexen Krankheitsbildern und unklaren Schmerzsymptomatiken haben oft einen langen Leidensweg hinter sich. Für diese Patientengruppe stellt die DVT eine sehr große Hilfe dar, da sie eine weitaus umfassendere Befunderhebung erlaubt als bisherige Methoden. Man darf die Methode jedoch auch nicht überbewerten. Nicht immer wird man neue Erkenntnisse finden, aber man wird sie genauer beurteilen oder Verdachtsbefunde zumindest besser ausschließen können. Letzteres ist insbesondere bei dieser Patientengruppe, bei der psychosomatische Befunde ebenfalls eine Rolle spielen können, von Bedeutung. Wichtig ist hier auch die besser fundierte Dokumentation.

Durch die Vorteile einer gezielten und schnellen Befunddokumentation ermöglicht die DVT sogar das Stiefkind einer regelmäßigen Dokumentation, wie es vor allem bei analogen Aufnahmen als „professionell neglect“ noch immer besteht, auf das Niveau zu heben, das ihm gebührt. Bei der so genannten befundorientierten Darstellung kann der Befund unmittelbar auf dem Bild eingetragen werden.

Es darf hier der Hinweis nicht fehlen, dass die beste Röntgendiagnostik alleine niemals ausreicht, dass diese nur in Kombination mit den anderen diagnostischen Mitteln sinnvoll ist und dass auch die besten technischen Voraussetzungen nicht jeden Fehler vermeiden lassen.

#### Literatur

1. BdiZ konkret. Umfrageergebnis 2003. Bonn, 2001:1.
2. Brooks SL. Effective Dose of Two Cone-Beam CT Scanners: I-CAT and NewTom 3G. AADMRT Newsletter Winter 2005. Modesto, Canada: AADMRT, 2005.
3. Cha BK, Choi JI, Jost-Brinkmann P-G, Jeong YM. Application of Three-dimensionally Scanned Models in Orthodontics, Int J Computerized Dent 2007;10:41-52.
4. Ehrl PA. Standards für digitale 3-D-Reports. Implant J 2003;14:47.
5. Ehrl PA. Präimplantäre Diagnostik. ZMK 2004;20:1-5.
6. Ehrl PA. 3-D-Diagnostik in der Zahnmedizin. ZWP 2007;13:38-42.
7. Ehrl PA. Augmentationsschirurgie und 3-D-Planung in der Implantologie. ZWP 2008;14:46-50.
8. Ehrl PA. Planungs- und Bohrhilfensysteme in der Implantologie. ZWP 2008;14:42-46.
9. Ehrl PA. 3-D-Diagnostik in der Zahnmedizin – aktuell. ZWP 2009;15:48-53.
10. Ehrl PA. Befundorientiert arbeiten. ZWR 2010;119:320-321.
11. Frederiksen NL. Health physics. In: White SC, Pharoah MJ. Oral radiology: principles and interpretation, 5th ed. St. Louis: Mosby, 2004:54.
12. Gijbels F, Jacobs R, Debaveye D, Verlinden S, Bogaerts R, Sanderink G. Dosimetry of digital panoramic imaging. Part 1: patient exposure. Dentomaxillofac Radiol 2005;34:145-149.
13. Haak R, Wicht MJ, Ritter L, Kusakis P, Noac, MJ. Die Detektion von Approximalkaries mit 3D Cone-Beam Computertomographie. Galgow: ORCA, 2005: paper no. 126.
14. Hirsch E, Gosch D, Graf H-L, Hemprich A, Klöppel R, Visser H. Untersuchungen zur Dosisbelastung bei verschiedenen Röntgenaufnahme-techniken zur präimplantären Diagnostik. Universitätsklinikum Leipzig: Zentrum für ZMK, 2000.
15. ICRP Publication 60. Radiation protection. 1990 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Ann ICRP 1991;21.
16. International Commission on Radiological Protection: 2005 recommendations. Draft for consultation. [http://www.icrp.org/docs/2005\\_recs\\_CONSULTATION\\_Draft.pdf](http://www.icrp.org/docs/2005_recs_CONSULTATION_Draft.pdf)
17. Kasaj A, Willershausen B. Digital Volume Tomography for Diagnostics in Periodontology. Int J Computerized Dent 2007;10:155-168.
18. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL. Dosimetry of two extraoral direct digital imaging devices: NewTom cone beam CT and Orthophos Plus DS panoramic unit. Dentomaxillofac Radiol 2003;32:229-234.



19. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL, Howerton WB. Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology: CB Mercuray, NewTom 3G and i-CAT. *Dentomaxillofac Radiol* 2006;35:219-226.
20. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Mol A. Dosimetry of recently introduced CBCT Units for Oral and Maxillofacial Radiology. Chapel Hill, NC: University of North Carolina, 2007 (script).
21. Mischkowski RA, Ritter L, Neugebauer J et al. Experimental and Clinical Evaluation of a Newly Developed Cone Beam Device for Maxillofacial Imaging, CARS 2006, Computer Assisted Radiology and Surgery. Osaka, Japan: 20th Int Congress and Exhibition, June 28–July 1, 2006.
22. Neugebauer J, Shirani R, Mischkowski RA, Ritter L, Keeve E, Zöller JE. Comparison of 2 and 3-dimensional Imaging for the Diagnosis of the Alveolar Nerve Position for the Osteotomy of Third Molar, CARS 2006, Computer Assisted Radiology and Surgery. Osaka, Japan: 20th Int Congress and Exhibition, June 28–July 1, 2006.
23. Neugebauer J, Ritter L, Mischkowski RA, Zöller JE. Three-dimensional Diagnostics, Planning and Implementation in Implantology. *Int J Computerized Dent* 2006;9:307-319.
24. Ngan DC, Kharbanda OP, Geenty JP, Darendeliler MA. Comparison of radiation levels from computed tomography and conventional dental radiographs. *Aust Orthod J* 2003;19:67-75. (Angaben zur Dosis von CT-Aufnahmen (Abb. 1, †))
25. Ritter L, Dreiseidler T, Neugebauer J, Mischkowski RA, Keeve E, Zöller JE. Influence of the Diagnostic Value of 3D Cone-Beam Tomograms. Madrid: 5th Europerio, 29.06.-01.07.2006.
26. Saffar M, Neugebauer J, Ritter L, Zöller JE, Braumann B. Application of a new three-dimensional X-ray system in orthodontic diagnosis. Departments of Orthodontics and Oral & Cranio-Maxillo-Facial Surgery, University of Cologne, and Center of Advanced European Studies and Research, Bonn. Nürnberg: 79. Jahrestagung DGKFO, 06.09.–10.09.2006, paper.
27. Saffar M, Ritter L, Keeve E, Zöller JE, Braumann B. Evaluation von Resorptionen durch verlagerte obere Eckzähne mit einem neuen 3D-Röntgengerät, Nürnberg: 79. Jahrestagung der DGKFO, 6.09.-10.09.2006.
28. Ziegler, Woertche, Hassfeld. Clinical indications for digital volume tomography in oral and maxillofacial surgery. *Dentomaxillofac Radiol* 2002;31:126-130.

Dr. Dr. Peter A. Ehrl, Eleni Kapogianni, preDent GbR  
 Reinhardtstraße 29, 10117 Berlin  
 E-Mail: ehrl@denthouse.com

*Adresse der Verfasser*