

**Autor**  
Anwender  
**Status**  
Aktuell  
**Kategorie**  
Anwenderbericht

# Computergestützte 3D-Diagnostik zur sicheren Implantatplanung und -insertion

## Anwenderbericht einer niedergelassenen Gemeinschaftspraxis

Dr. Wolf Peterke, Dr. Jörg Peterke

Ein integriertes Konzept aus dreidimensionaler Bildgebung, Diagnose, Planung und Umsetzung kann die Implantattherapie stark vereinfachen. Die Erfahrungen in unserer Praxis zeigen, dass sich Implantate mit Hilfe der 3D-Bildgebung sowohl unter anatomischen als auch unter prothetischen Gesichtspunkten exakt planen lassen. Der integrierte Ansatz ermöglicht die Anwendung einer CAD/CAM-gefertigten Bohrschablone, was die Sicherheit und Präzision in der Implantattherapie erhöht.

Auf die 2D-Röntgendiagnostik mit dem Orthopantomogramm (OPG) möchten wir in unserer Praxis schon lange nicht mehr verzichten. Allerdings erlauben bei der Implantatplanung zweidimensionale Panoramaschichtaufnahmen (PSA) nur eine eingeschränkte Beurteilung der vorhandenen Knochen substanz, insbesondere wenn eine räumliche Vorstellung des vertikalen Knochenlagers erforderlich ist. Dadurch kann es zu einer Fehlpositionierung von Implantaten und zur Verletzung wichtiger anatomischer Strukturen kommen. Diese, manchmal unsere Arbeit beeinträchtigenden, Unzulänglichkeiten für eine genaue Diagnostik erleichterten unsere Entscheidung an einer Praxiserprobung der „Computergestützten-3D-DVT-Schablonennavigation“ für die Universitätsklinik-Köln teilzunehmen. Unter der Leitung von Prof. Dr. Dr. Joachim E. Zöller und Dr. Jörg Neugebauer wurde dort mehrere Monate lang GALILEOS an inzwischen über 2.000 Aufnahmen getestet. So setzen wir seit April 2006 in unserer Praxis mit dem Tätigkeitsschwerpunkt Implantologie das neue 3D-Röntgensystem GALILEOS (Sirona Dental Systems, D-Bensheim) (Abb. 1) für Befund, Diagnose und Therapie ein. Die dreidimensionale Bildgebung erlaubt dem Zahnarzt eine verzerrungsfreie, metrisch exakte räumliche Diagnostik. Im Falle einer präimplantolo-



Abb. 1: 3D-Röntgensystem GALILEOS (Sirona Dental Systems Bensheim).

gischen Planung kann vor der Röntgenaufnahme eine Scanschablone angefertigt werden. Diese enthält einen prothetischen Vorschlag, der durch einen Zahn-techniker entweder in Bariumsulfat-dotierten Kunststoff umgesetzt wurde, oder eine Darstellung der Kronenachsen mit Guttapercha-Stiften, sodass sie in der Röntgenaufnahme zu erkennen sind. Im Falle weniger komplexer Versorgungen kann darauf jedoch verzichtet werden.

### Cone-Beam-Technologie

Neben der klassischen Computertomografie (CT) steht seit einigen Jahren die Digitale-Volumen-Tomographie (DVT), ein neues Bild-Darstellungsverfahren unter Nutzung der Cone-Beam-Technologie<sup>[1]</sup>,

zur Verfügung (Abb. 2). Die Strahlenbelastung einer Cone-Beam-Aufnahme für die präimplantologische

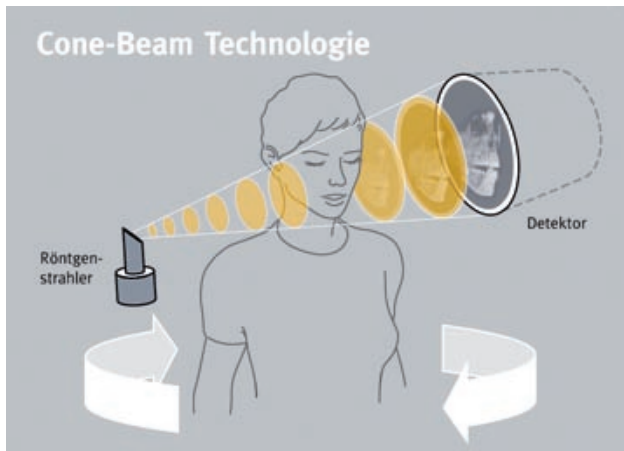


Abb. 2: Cone-Beam-Technologie.

Diagnostik ist im Vergleich zur CT wesentlich geringer, besitzt aber im Zahn-, Mund- und Kieferbereich die gleichen Diagnose-Optionen wie die CT, und dies bei einer deutlicher geringeren Strahlenbelastung. Das mit der Cone-Beam-Technik arbeitende GALILEOS-System verfügt über ein Aufnahmevolumen von 15 x 15 x 15 cm und erfasst die gesamte für die implantologische Diagnostik und Planung relevante Anatomie dreidimensional. Der dafür notwendige Scan dauert 14 Sekunden. Die effektive Röntgenexpositionszeit für den Patienten beträgt je nach Programm nur zwei bis sechs Sekunden. Der Patient wird ähnlich wie bei der Panoramaschichtaufnahme in stehender Haltung im Gerät positioniert. Nach der Aufnahme rekonstruiert das System die dreidimensionalen Volumendaten innerhalb von 4,5 Minuten und lädt sie automatisch in die integrierte Software. Aus den Daten von 200 Einzelaufnahmen erscheint das vollständige Bildvolumen nach insgesamt sieben Minuten auf dem Bildschirm.

## Digital gestützte Befundung

Nun kann die Aufnahme an einem Netzwerk-PC mithilfe verschiedener Darstellungsmöglichkeiten befundet werden. Das System stellt den dreidimensionalen Datensatz zunächst in einer Panoramaansicht dar. Diese 2D-Ansicht bietet dem Zahnarzt einen vertrauten Überblick. Innerhalb der Panoramaansicht

kann er sich mit Hilfe eines beweglichen Fensters intuitiv und in Echtzeit jede beliebige Schicht im Volumendatensatz anzeigen lassen, sodass Übersicht und 3D-Information auf einen Blick verfügbar sind. Alle in der Radiologie üblichen Ansichten stehen zur Verfügung.

## Virtuelle Implantatplanung

Für die Planung einer Implantation kommt GALILEOS Implant, eine in die GALILEOS-Software GALAXIS integrierte Applikation, mit der virtuelle Implantate im dreidimensionalen Datensatz hinzugefügt und positioniert werden können, zum Einsatz. Über einen einfachen Dialog lassen sich sowohl die Lokalisation im Zahnschema als auch der Typ des Implantats bestimmen. Hierfür verwendet das System eine Datenbank, in die alle gängigen Modelle der Implantathersteller und ihre Konfiguration eingespeist sind und die regelmäßig aktualisiert werden kann. Befindet sich das Implantat im Datensatz, kann es in jeder beliebigen Darstellung angezeigt werden. Besonders hilfreich ist die spezielle Implantatansicht: Der Implantologe kann den gesamten Datensatz um das Implantat als Mittelpunkt drehen und so überprüfen, ob überall ausreichend Knochen vorhanden ist und die Sicherheitsabstände zu den anatomischen Nachbarstrukturen eingehalten sind. Durch das große Volumen können mit nur einem Scan alle notwendigen Darstellungen rekonstruiert werden: 3D-Volumen, Panoramaansicht, CEPH-Ansicht, transversale Schnitte, hochaufgelöste Detailvolumen und alle radiologischen Schnittebenen (axial, sagittal, koronal).

Die Grundlage für jeden 3D-Scan mit GALILEOS ist eine konfektionierte siCAT-Scanschablone (Abb. 3). Der 3D-Scan wird gemeinsam mit der Scanschablone durchgeführt. Die Schablone dient als Referenzebene und wird nach Abschluss der Implantatplanung zu einer Bohrschablone umgearbeitet (Abb. 4 und 5). Hierzu wird eine CD mit den Planungsdaten automatisch gebrannt und gemeinsam mit den Studienmodellen an siCAT, ein Sirona-Unternehmen, versendet. Nach wenigen Tagen kommt die CAD/CAM-gefertigte Bohrschablone zurück in die Praxis.

Diese Bohrschablone hilft, den am Rechner erstellten Plan bei der Operation exakt umzusetzen.



Abb. 3: Die Grundlage für jeden 3D-Scan ist die konfektionierte siCat-Scanschablone. Die sechs in der Schiene befindlichen Glaskörper ermöglichen eine räumliche Zuordnung der Schablone im virtuellen Gesichtsschädel.

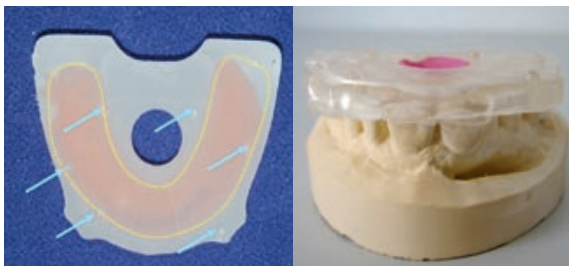


Abb. 4: Scanschablone

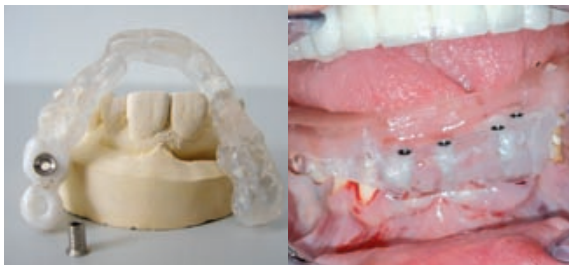


Abb. 5: Bohrschablone

Bezogen auf die Implantatplanung weisen diese Implantatschienen eine Genauigkeit von 150 µm auf. Die Bohrhülsenlänge beträgt nur 5 mm und die Bohrhülsen sind max. 0,06 mm größer als der Bohrer. Die Hülsen für die Vorbohrer sind in 2,0 mm, 2,2 mm und 2,3 mm Durchmesser erhältlich. Erfahrungsgemäß sind mit dieser Implantatschiene auch Implantationen im zahnlosen Kiefer möglich (unter Zuhilfe-

nahme von mindestens 3 temporären Implantaten / Kortikalschrauben).

## Klinische Anwendung

Die folgende Beschreibung eines Standard-Implantationsfalls soll die stark vereinfachte Vorgehensweise einer Implantattherapie unter Nutzung der dreidimensionalen Bildgebung, Diagnose, Planung und Umsetzung verdeutlichen:

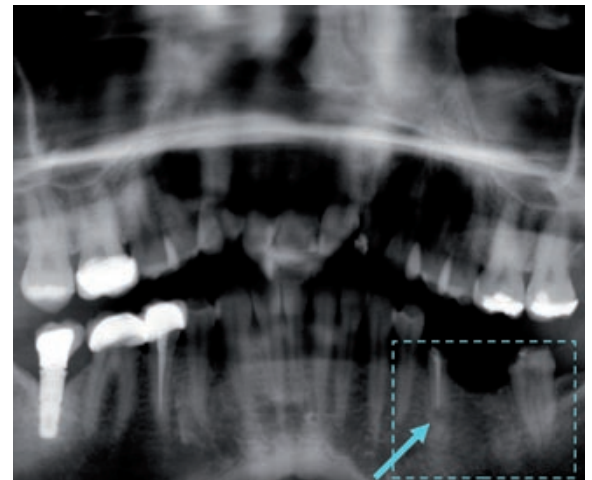


Abb. 6: Die 2D-Aufnahme (OPG) – Zahn 35 beherdet!

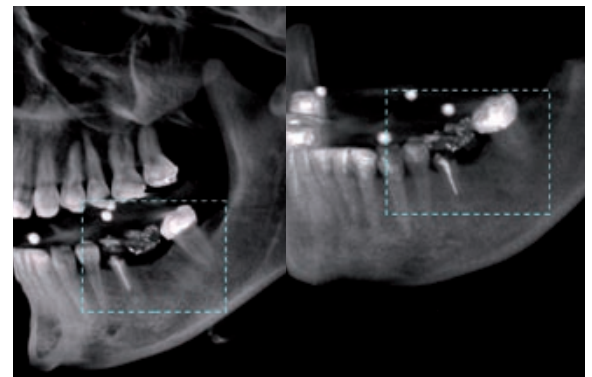


Abb. 7: UK-Implantatplanung mit GALILEOS. Schaltlücke 35, 36.

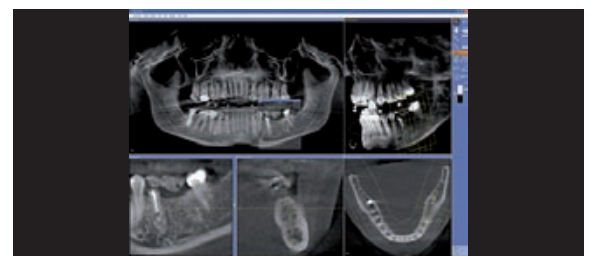


Abb. 8: GALILEOS-Computeransicht



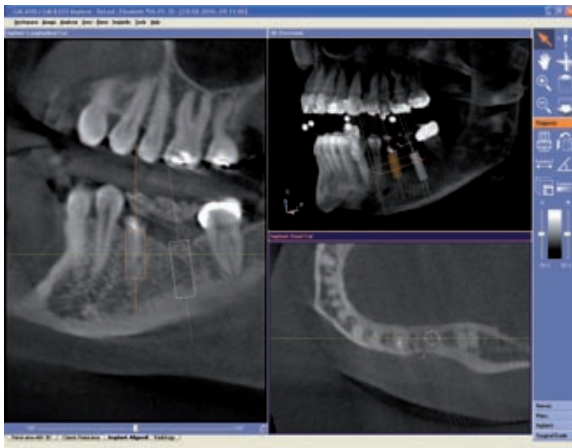


Abb. 9: Die virtuelle Operationsplanung mit GALILEOS. Der UK zeigt eine „craniale“ Position in der Röntgenanlage!



Abb. 13: Nach Vor-, Erweiterungs-, Abschlussbohrung und Implantatinserion regio 35 nun Implantatinserion regio 36.



Abb. 10: Die klinische Situation – Schattlücke 35, 36.

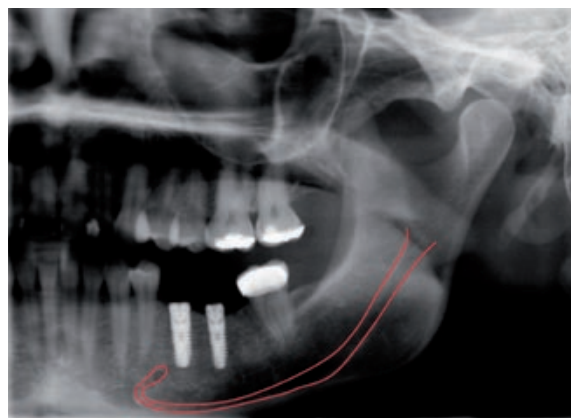


Abb. 14: 2D-Röntgenkontrolle (OPG) nach Wundverschluss.



Abb. 11: Die Anprobe der Bohrschablone mit den integrierten Bohrhülsen.

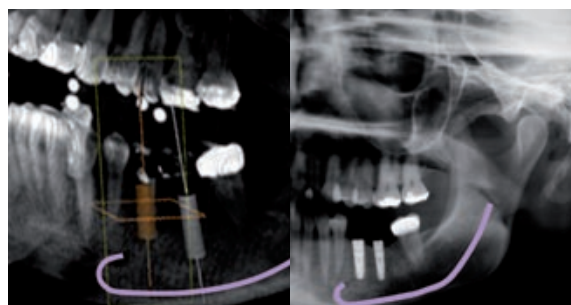


Abb. 15: Visueller Vergleich DVT (links Implantatplanung) versus OPG (Kontrollaufnahme).



Abb. 12: Die Überprüfung der Bohrschablone nach Ex-traktion der Wurzel von Zahn 35 auf passgenauen Sitz.



Abb. 16: Die klinische Situation drei Monate nach den Implantatinsertionen.

Aber auch – oder gerade – bei komplexen Implantationsfällen möchten wir auf die Implantationsplanung mit GALILEOS nicht mehr verzichten. Warum, zeigt die folgende UK-Behandlungsplanung:

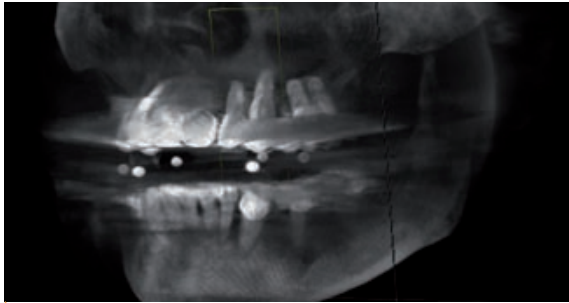


Abb. 17: Die UK-Behandlungsplanung mit GALILEOS.

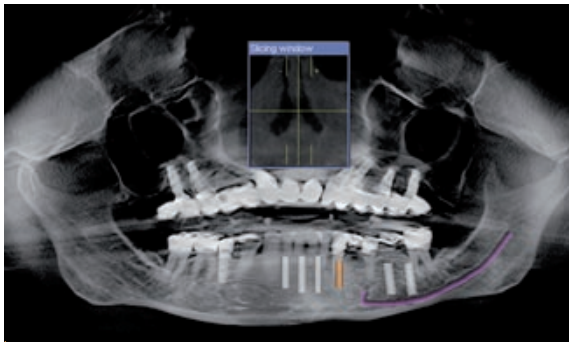


Abb. 18: DVT-Implantatplanung



Abb. 19: Klinische Ausgangssituation



Abb. 20: Die Dekaptierung der Zähne 32, 31, 41, 42 und Präparation der Pfeilerzähne 35, 43, 44.



Abb. 21: Die Extraktion der Zähne 33, 32, 31, 41 und 42.

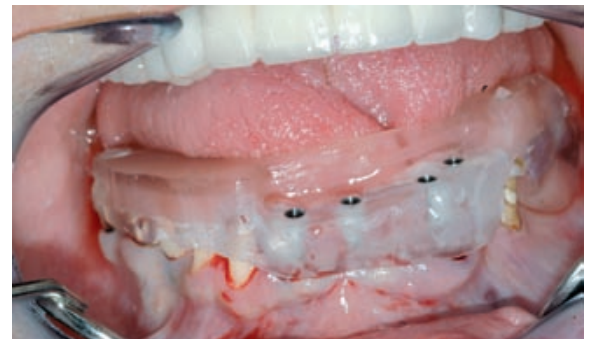


Abb. 22: Bohrschablonen-Kontrolle

**SURGICAL GUIDE ORDER**

Position (FDI)	Diameters[mm]	Length[mm]
X 32	3.40 / 3.40	15.00 X
34	3.40 / 3.40	11.00 /
36	4.50 / 4.50	13.00 /
37	4.50 / 4.50	13.00 /
X 41	3.40 / 3.40	15.00 X
42	3.40 / 3.40	13.00 /

Abb. 23: Die siCat Größen- und Positionsangaben: 1. Position, 2. Durchmesser, 3. Gesamt-Bohrerlänge (Oberkannte Hülse) = Implantatlänge + 5mm Bohrhülse.

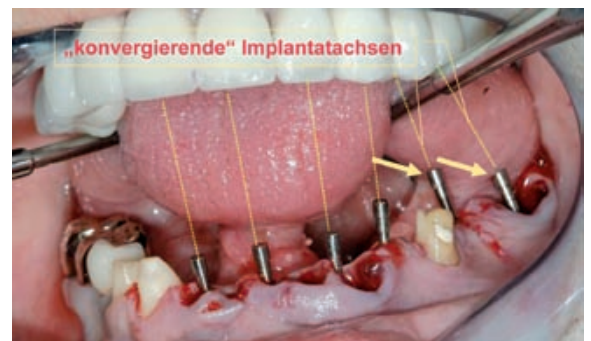


Abb. 24: Die Insertion von Hilfspfosten zur Kontrolle der Vorbohrungen.



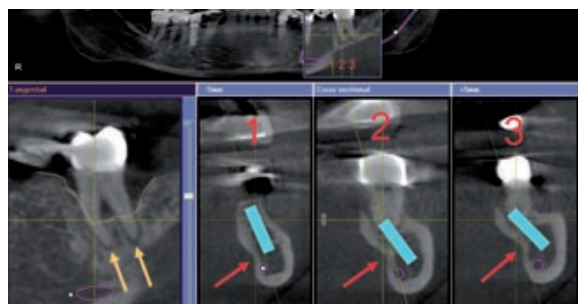


Abb. 25: Die DVT-Darstellung regio 36, 37. Unerwartet starke transversale Einziehung der lingualen Mandibula. Zahn 37 ist nicht erhaltungsfähig (2/3-Knochenabbau mit Lockerungs-Grad III).



Abb. 29: 2D-Implantationskontrolle (OPG)



Abb. 26: Die DVT-Aufnahme der Knochendefekte regio 33, 34.

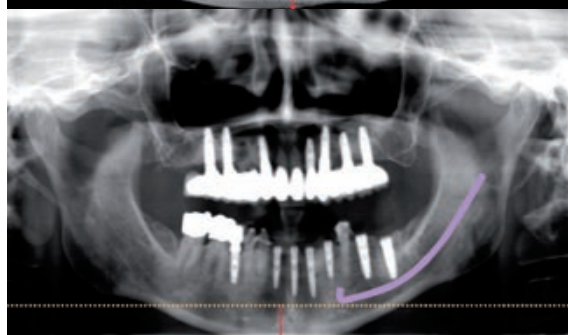
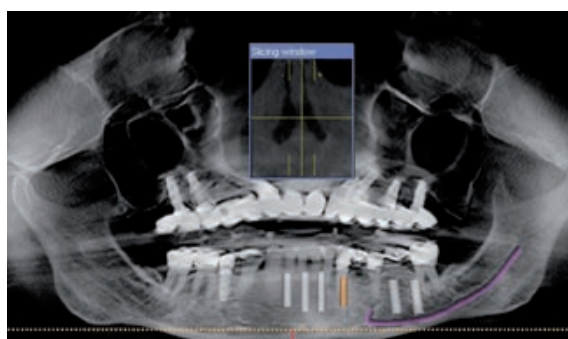


Abb. 30: Visueller Vergleich DVT versus OPG: DVT-Implantatplanung (craniale DVT-Schädelposition) (links) und OPG-Kontrollaufnahme (ventrale OPG-Schädelposition).

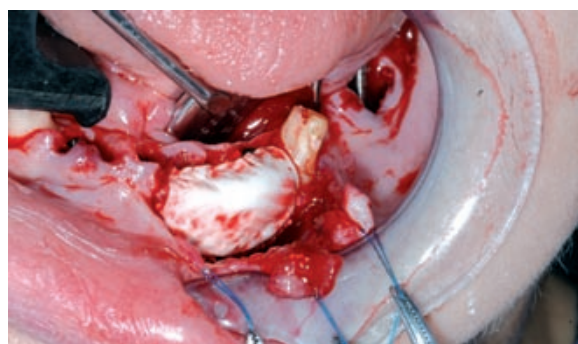


Abb. 27: Nach Insertion der Implantate in regio 33, 34 und Schutz des Augmentates mit einer Kollagenmembran.

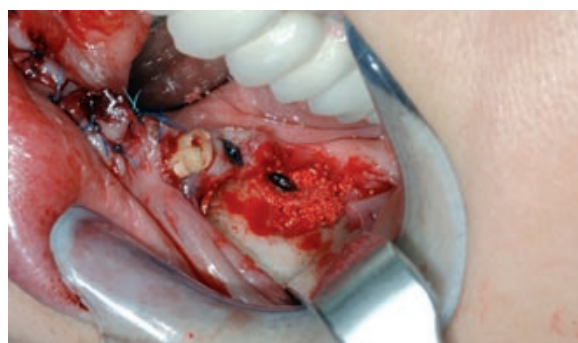


Abb. 28: Nach Insertion der Implantate in regio 36, 37 und Augmentation der distalen Knochendefekte.

## Fazit

Wird die konventionelle Implantationsplanung der mit GALILEOS gegenüber gestellt, so ergeben sich folgende Arbeitsschritte:

7 Schritte einer konventionellen Implantationsplanung	7 Schritte einer Implantationsplanung mit GALILEOS
1. 2D-Röntgenaufnahme	1. Erstellung einer Scanschablone
2. 2D-Röntgenauswertung	2. 3D-Röntgenaufnahme (DVT)
3. Modellherstellung und Modellanalyse	3. 3D-Röntgenauswertung (DVT)
4. Operations-Planung	4. Virtuelle Operations-Planung
5. Bohrschablonen-Herstellung	5. Bohrschablonen-Herstellung
6. Operation	6. Operation
7. Röntgenkontrolle	7. Röntgenkontrolle (OPG/DVT)

Auch wenn die Anzahl der Arbeitsschritte identisch ist, so überwiegen die Nachteile der konventionellen Implantatplanung: Verzicht auf dreidimensionale Ansicht, Verletzungsgefahr sensibler anatomischer Strukturen, manchmal „Überraschungen“ hinsichtlich des Knochenangebots während der Operation, oft nur eine ungenaue Implantatinserion in der prothetisch günstigen Position möglich, konventionelle Bohrschablone gibt keine Sicherheit und keine forensische Absicherung im Problemfall, da zur Fehlervermeidung die exaktere Diagnostik nicht verwendet wurde. Die Abbildungen 31 bis 33 veranschaulichen die erwähnten Nachteile.

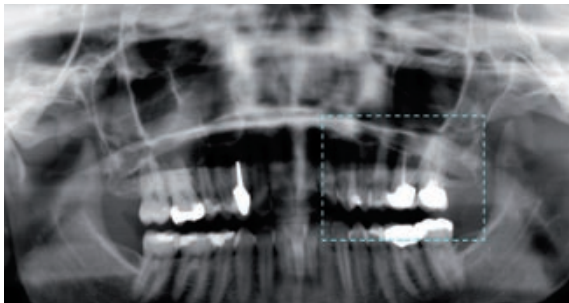


Abb. 31: Das OPG zeigt an den Wurzeln der Zähne 25 und 26 keine Auffälligkeiten. Der Sinus maxillaris ist ohne Befund.

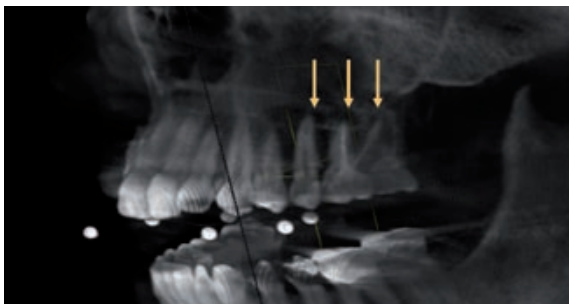


Abb. 32: Das DVT zeigt deutlich mehr Informationen. Apikale Aufhellungen regio 25 und 26.

In unserer Praxis möchten wir auf den Einsatz des 3D-Röntgensystems GALILEOS nicht mehr verzichten. Die Vorteile dieser Volumentomographie sind eindeutig: einfache Bedienbarkeit, frei wählbare Schnitte, Blick in die „Tiefe“, vertraute Ansicht (OPG), unbegrenzte Blickwinkel, optimaler Überblick, nahezu gleiche Qualität wie eine CT, metrische Analysen, keine metrischen Verzerrungen und dreimal weniger „Fehltaufnahmen“ als das OPG. Dabei besteht die Möglichkeit der Bildaufbereitung, z. B. die

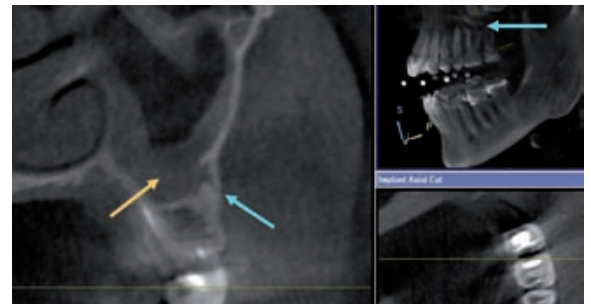


Abb. 33: Auch die Kieferhöhle zeigt pathologische Veränderungen (DVT-Transversalschnitt regio 26). Polypöse Sinusitis maxillaris. Fistelgang - ausgehend von der disto-vestibulären Wurzel des Zahnes 26.

Kontrastoptimierung. Die Anfertigung der 3D-Röntgenaufnahme gestaltet sich in der Praxis einfacher als die einer PSA, denn leichte bis mittlere Positionierungsfehler wirken sich kaum negativ aus.

Die kurze Aufnahmedauer ermöglicht es, selbst Patienten mit eingeschränkter Kooperationsfähigkeit (beispielsweise Kinder) verwacklungsfrei aufzunehmen. Die 3D-Röntgenaufnahmen bieten eine höhere Patientenakzeptanz während der Aufklärung und letztendlich profitieren sowohl Arzt als auch Patient von den ermöglichten Voraussetzungen für eine minimalinvasive Operationstechnik.

Während für ein CT ca. 70 Sekunden Aufnahmezeit benötigt werden, ist für die 3D-Aufnahme mit 200 Einzelaufnahmen eine Aufnahmezeit von etwa 14 Sekunden ausreichend. Die Datensatzauflösung erfolgt in 0,3 mm - 0,15 mm Voxelgröße. Die Bildbearbeitungszeit beträgt ca. 4 bis 7 Minuten. Auch die Darstellungsqualität der implantologisch relevanten Anatomie des Hartgewebes ist nach unseren Erfahrungen besser als bei der PSA und ebenso gut wie bei einer CT. Die bei der Aufnahme entstehende Strahlendosis ist nach Herstellerangaben mit einer Film-PSA in Kombination mit einer Schädel PA vergleichbar und damit für die klinische Routine annehmbar.

Die integrierte Software, die intuitiv bedienbar und schnell erlernbar ist, bietet alle Möglichkeiten der zahnärztlichen Radiologie. Die Exportmöglichkeit im DICOM-Standard macht die Nutzung der Daten für andere Software- bzw. Analyseprogramme möglich. Durch die Dokumentation der Befunde sogleich im Programm und die Möglichkeit des Zugriffes spe-

zieller Abrechnungsprogramme direkt auf die dreidimensionalen Daten erleichtern die Integration des GALILEOS in den Praxisalltag.

Die Bohrschablonen, die auf der Basis der virtuellen Planungsdaten hergestellt wurden, waren im intraoperativen Handling mit den konventionellen, vom Zahntechniker erstellten Bohrschablonen vergleichbar. Die Bohrschablonen zeichnen sich durch eine gute Passung aus. Die Umsetzung der geplanten Implantate wird dabei durch eine Führung für den Pilotbohrer unterstützt. Dabei konnten wir in jedem Fall eine ausreichende Genauigkeit erzielen, um eine ästhetisch ansprechende und funktionell gerechte Versorgung der Implantate zu gewährleisten.

Hinweisen möchten wir aber auch auf, aus unserer Sicht, bestehende Nachteile dieses Systems. Da sind zum einen die hohen Investitionskosten zu nennen und zum anderen das durch röntgendichten Zahnersatz verursachte Bildrauschen, das allerdings ein grundsätzliches Problem aller 2D- und 3D-Röntgensysteme ist. Praxen, die mit GALILEOS arbeiten, müssen sich zudem auf große Datenmengen und deren Archivierung einstellen. Zudem wünschen wir uns einen kürzeren Zeitraum zwischen virtueller OP-Planung für die Schienenherstellung und Zusendung der Bohrschablone durch siCat. Diese beträgt zur Zeit ca. 11 Tage.

Die computergestützte dreidimensionale Diagnostik ist zwar zunächst mit einem größeren Aufwand verbunden, letztendlich ist sie aber wesentlich effektiver. Wir sind der Meinung: Wer viel arbeitet, dem können Fehler unterlaufen. Fehler können passieren, sie sollten aber nur einmal passieren. GALILEOS hilft dem Zahnarzt, Fehler zu vermeiden und gibt im Problemfall die nötige Sicherheit! GALILEOS entlastet den geübten Implantologen und dem ungeübten wird eine Hilfe und Sicherheit an die Hand gegeben. ■

## Literatur

[1] **P. Mozzo, C. Procacci, A. Tacconi, et al.:** A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. Eur Radiol 1998; 9, 1558-1564.

### Dr. med. dent. Wolf H. Peterke

Köln, Deutschland

- 1985-1991 Zahnmedizinstudium in Frankfurt/Main
- 1991 Promotion zum Dr. med. dent. in Frankfurt/Main
- 1993 Kassenzahnarzt in selbstständiger Zahnarztpraxis in Köln
- 2004 Mitglied im Bundesverband der implantologisch tätigen Zahnärzte in Deutschland (BDIZ)
- 2004 Mitglied der European Association of Dental Implantologists (EDI)
- 2006 Tätigkeitsschwerpunkt der Implantologie in Köln
- Seit 2006 Wissenschaftliche Vorträge zu „Computergestützten 3D-DVT-Schablonenavigation“

### Dr. med. dent. Jörg Peterke

Köln, Deutschland

- 1976-1980 Ausbildung zum Zahntechniker in Forchheim/Nürnberg
- 1981-1996 Berufstätigkeit als Zahntechniker
- 1991-1996 Zahnmedizinstudium in Frankfurt/Main
- 1998 Kassenzahnarzt in selbstständiger Zahnarztpraxis in Köln
- 2004 Mitglied im Bundesverband der implantologisch tätigen Zahnärzte in Deutschland (BDIZ)
- 2004 Mitglied der European Association of Dental Implantologists (EDI)
- 2005 Promotion zum Dr. med. dent. in Köln
- 2006 Tätigkeitsschwerpunkt der Implantologie in Köln
- Seit 2006 wissenschaftliche Vorträge zu „Computergestützten 3D-DVT-Schablonenavigation“

### Kontakt

[info@peterke-online.de](mailto:info@peterke-online.de)