

# Three-dimensional Diagnostics, Planning and Implementation in Implantology

## Dreidimensionale Diagnostik, Planung und Umsetzung in der Implantologie

J. Neugebauer<sup>a</sup> / L. Ritter<sup>b</sup> / R. Mischkowski<sup>a</sup> / J. E. Zöller<sup>a</sup>

### Introduction

The insertion of dental implants for anchoring dental restorations today belongs to the recognized spectrum of therapy for restoring mastication and speech function. Implants are used for a wide range of indications, such as implant-anchored single crowns, bridges, or removable dentures. In ideal situations, the implants can be inserted in the remaining local bone.<sup>1</sup> However, after loss of teeth, the rapidly onsetting atrophy of the alveolar process frequently limits the available bone bed, so that accurate orientation is required for the positioning of the implants. The need for augmentation can be estimated and the later prosthetic treatment be optimally designed under esthetic and functional aspects.<sup>8</sup> This spatial orientation is commonly achieved using planning models, possibly a wax-up, and two-dimensional x-rays. However, this procedure does not permit direct superposition of information from the different diagnostic sources.<sup>7</sup> Thus, misinterpretations of the anatomical structures and implant positions are very common,

### Einleitung

Die Insertion zahnärztlicher Implantate zur Verankerung von Zahnersatz gehört heute zum anerkannten Therapiespektrum zur Wiederherstellung der Kau- und Sprachfunktion. Implantate werden für verschiedenste Indikationen wie die Versorgung mit implantatverankerten Einzelkronen, Brücken oder auch herausnehmbarem Zahnersatz verwendet. In idealen Situationen können die Implantate in den noch vorhandenen ortsständigen Knochen inseriert werden.<sup>1</sup> Allerdings beschränkt die nach dem Zahnverlust rasch einsetzende Atrophie des Alveolarfortsatzes häufig das zur Verfügung stehende Knochenlager, sodass eine genaue Orientierung für die Positionierung der Implantate erforderlich ist. Nur so lässt sich der

Augmentationsbedarf abschätzen und die spätere prothetische Versorgung ästhetisch und funktionell optimal gestalten.<sup>8</sup>

Diese räumliche Orientierung wird nach dem klassischen Vorgehen anhand von Planungsmodellen, einem evtl. angefertigten Wax-Up und zweidimensionalen Röntgenaufnahmen erreicht. Dieses Vorgehen lässt aber keine direkte Überlagerung dieser unterschiedlichen diagnostischen Informationen zu.<sup>7</sup> Dadurch kommt es immer wieder zu Fehleinschätzungen der anatomischen Strukturen sowie Implantatpositionen, die unter prothetischen Gesichtspunkten nicht als ideal bezeichnet werden können.

Zur Abschätzung der genauen anatomischen Voraussetzung wird daher seit einigen Jahren eine dreidimensionale radiologische Diagnostik empfohlen.<sup>4,16</sup> Derzeit stehen dazu die Computertomographie (CT) sowie die Digitale Volumetomographie (DVT), auch Cone Beam-Technik (CB) genannt, zur Verfügung.

Sind dreidimensionale Daten digital vorhanden, bietet es sich an, entsprechende Software zur Diagnose

a Interdisziplinäre Poliklinik für Orale Chirurgie und Implantologie, Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie, University of Cologne

b M.D., Research assistant, Surgical Systems Laboratory, research center caesar, Bonn, Germany



which is less than ideal from a prosthetic viewpoint.

Three-dimensional radiological diagnostics has therefore been recommended for a few years for accurately estimating the anatomical conditions.<sup>4,16</sup> Currently, computed tomography (CT) as well as digital volume tomography (DVT), also named cone-beam (CB) technique, are available for this.

If three-dimensional data are available digitally, use of corresponding software for diagnosis and for planning the dental implants suggests itself. This procedure is especially advantageous if the approach of backward planning is followed. In this case, a wax-up is produced and moulded in radio-opaque plastic before the radiological exposure. The patient wears this during the exposure as a scan template, whereby both the bone situation and the prosthetic planning are displayed in the radiographic image.<sup>11</sup>

Since 1997, software for computer-assisted implant planning has been known. It is characteristic of these systems that plans produced on the computer can also be implemented intraoperatively with the aid of navigating methods.<sup>4,11</sup>

However, the disadvantage of previously available systems is that different individual components of imaging, planning software and hardware have to be used.<sup>8</sup> This results on the one hand in additional interfaces within the scope of patient management, since apart from the attending surgeon, dentist and dental technician, the radiologist must also be included in the workflow.<sup>3</sup> Furthermore, all components used must interface optimally with one another and the user must also be able to handle them. Experience has shown that the special questions of dental

diagnostics are grasped only in part by radiologists.

The described workflow, as well as high investment costs for the imaging and planning software, previously led to a rather hesitant use of this technology. From the viewpoint of the user, the requirements on three-dimensional imaging, the workflow, and the corresponding software tools for computer assisted planning of dental implants will be formulated here, with the objective of making these applicable in the clinical routine. The systems for three-dimensional imaging and computer-assisted implant planning available on the market are subsequently described in detail and discussed.

**Key words:** Computer aided implant planning, Cone Beam imaging, surgical guides, maxillofacial 3D imaging

### Requirements on three-dimensional imaging

A sufficient volume size, the highest possible spatial resolution at short exposure time, and the lowest possible dose are required for practical three-dimensional diagnostics in dental medicine. Furthermore, the space requirement for the unit should be low, operation and positioning of the patient efficient and simple, so that imaging can be integrated well in the clinical workflow. The required volume size depends upon the relevant indication but should as a rule display both jaws completely, in addition to the temporomandibular joint for implantological diagnostics and planning. Only in this way can practical prosthetic planning be radiologically guaranteed. The spatial resolution should be between

0.3 to 0.8 mm for displaying dental structures.<sup>2</sup> Therefore, the shortest possible exposure time is crucial, since the risk for motion artefacts increases with longer exposure times.<sup>12</sup> The necessary dose for three-dimensional imaging for planning dental implants should be comparable to that of conventional exposures, in which the exposures for the conventional second plane x-ray must be considered in the total. The exposure itself should be able to display clearly in three dimensions the bone substance of the region of interest, and permit comparative density measurements for estimating the bone quality.

### Software requirements for three-dimensional implant planning

The diagnostic software tools should be designed from the viewpoint of the main group of users, and thus preferentially take the dentists' requirements into account over those of radiologists. Since predominantly surgically experienced users are familiar with tomography for dentistry and oral medicine, some manufacturers provide a calculated panoramic view from the three-dimensional data record as an overview. For the dentist, this means a customary clear display of the relevant anatomy that can be used as a navigation basis in 3D space.

Basic functionality, such as measuring distances and angles true to reality<sup>9</sup> as well as contrast and brightness adjustment, is mandatory.

The implant planning software should contain realistic displays for all common implant systems in the form of an easily accessible database. Dedicated



und zur Planung der dentalen Implantate zu verwenden. Dieses Vorgehen ist besonders dann vorteilhaft, wenn der Ansatz des Backward Planning verfolgt wird. Hierbei wird vor der radiologischen Aufnahme ein Wax-up erstellt und in röntgenopaquen Kunststoff überführt. Dieses trägt der Patient während der Aufnahme als Scanschablone, wodurch im radiologischen Bild sich sowohl die knöcherne Situation als auch die prothetische Planung darstellt.<sup>11</sup>

Bereits seit 1997 sind Programme zur computer-unterstützten Implantatplanung bekannt, die sich dadurch auszeichnen, am Rechner erstellte Planungen mit Hilfe navigierender Verfahren auch intraoperativ umsetzen zu können.<sup>4, 11</sup>

Nachteil bisher erhältlicher Systeme ist jedoch, dass verschiedene Einzelkomponenten aus Bildgebung, Planungssoftware und Hardware verwendet werden müssen.<sup>8</sup> Dies bedingt zum einen zusätzliche Schnittstellen im Rahmen der Patientenführung, da neben dem behandelnden Chirurg, Zahnarzt und Prothetiker/Zahntechniker auch der Radiologe in die Prozesskette eingebunden werden muss.<sup>3</sup> Weiterhin müssen alle verwendeten Komponenten optimal aufeinander abgestimmt sein und auch vom Anwender beherrscht werden. Zudem zeigt sich, dass die speziellen Fragestellungen der zahnärztlichen Diagnostik nur zum Teil von den Radiologen aufgenommen werden. Der dargestellte Arbeitsablauf, sowie zum Teil hohe Investitionskosten für die Bildgebung und Planungssoftware führten bisher zu einem eher zurückhaltenden Einsatz dieser Technologie. Aus Sicht des Anwenders sollen daher hier Anforderungen an die dreidimensionale Bildgebung, den Arbeitsablauf sowie die entsprechenden Software-

Tools zur computer-unterstützten Planung von dentalen Implantaten formuliert werden mit dem Ziel, dies in der klinischen Routine anwendbar zu machen. Im Folgenden werden die auf dem Markt befindlichen Systeme für die dreidimensionale Bildgebung sowie computer-unterstützte Implantatplanung dahingehend dargestellt und diskutiert.

**Schlüsselworte:** Computerunterstützte Implantatplanung, Digitale Volumetomografie, Bohrschablonen, 3D-Bildgebung

## Anforderungen an die dreidimensionale Bildgebung

Für eine praxistaugliche dreidimensionale Diagnostik in der Zahnheilkunde sind eine ausreichende Volumengröße, eine möglichst hohe Ortsauflösung bei einer kurzen Aufnahmezeit und möglichst niedriger Dosis erforderlich. Weiterhin sollte der Platzbedarf für das Gerät gering, die Bedienung und Positionierung der Patienten effizient und einfach sein, sodass sich die Bildgebung in den klinischen Arbeitsablauf gut integrieren lässt. Die benötigte Volumengröße ist abhängig von der jeweiligen Indikation, sollte aber für die implantologische Diagnostik und Planung in der Regel beide Kiefer sowie das Kiefergelenk vollständig darstellen. Nur so kann eine sinnvolle prothetische Planung radiologisch abgesichert werden. Die Ortsauflösung sollte für die Darstellung dentaler Strukturen zwischen 0,3 bis 0,8 mm liegen.<sup>2</sup> Damit verbunden steht die Anforderung an eine möglichst kurze Aufnahmezeit, da nur bei einer kurzen Aufnahme eine solche Auflösung erreicht werden

kann.<sup>12</sup> Je länger die Aufnahmedauer, je höher ist die Wahrscheinlichkeit für Bewegungen der Patienten während der Aufnahme, was zu entsprechenden Ungenauigkeiten führt. Die nötige Dosis für eine dreidimensionale Bildgebung zur Planung dentaler Implantate sollte vergleichbar sein zu der von konventionellen Aufnahmen, wobei die Aufnahmen in zweiter Ebene in der Summe bedacht werden müssen. Die Aufnahme selbst sollte dabei das Knochenlager der interessierenden Region in drei Dimensionen klar darstellen können, sowie zur Einschätzung der Knochenqualität vergleichende Dichtemessungen zulassen.

## Anforderungen an Software zur dreidimensionalen Implantatplanung

Die diagnostischen Softwaretools sollten aus Sicht der Hauptanwendergruppe gestaltet sein, und damit weniger radiologische, als vielmehr zahnmedizinische Belange berücksichtigen. Da die Schichtdiagnostik für die Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde überwiegend nur chirurgisch routinierten Anwendern vertraut ist, bieten einige Hersteller die Darstellung des dreidimensionalen Datensatzes als Panorama an. Dies bedeutet für den Zahnarzt eine gewohnt übersichtliche Darstellung der relevanten Anatomie, und ist optimalerweise als Navigationsbasis in der dritten Dimension zu verwenden. Die Software sollte es weiterhin ermöglichen, Strecken und Winkel realitätstreu zu messen.<sup>9</sup> Die Implantatplanungssoftware sollte realistische Darstellungen für alle gängigen Implantatsysteme in Form einer übersichtlichen Datenbank enthalten.



tomographic views are required for the actual implant planning, so that the implant bed can be checked optimally in all dimensions. Furthermore, an overview in 3D and in the panoramic view are required, in order to relate the positions of the implants to one another and the given residual dentition. Tools for parallel alignment of the implants, the display of a configurable safety distance, and graphical highlighting of the inferior alveolar nerve are helpful.

On the whole, operation should be as intuitive as possible and follow an efficient workflow. Therefore buttons and features in the top layer of the user interface should be kept to a minimum to avoid confusion and overload of the user. Imaging and implant planning are optimally accommodated in one software system so that no system change and no conversion or conditioning of data is necessary.<sup>8</sup>

## Available systems for three-dimensional imaging

Today, three-dimensional diagnostics using x-rays can be performed either by means of computed tomography (CT) or cone-beam technology. Because of its poor hard tissue display, magnetic resonance tomography is not commonly used. CT is a well-established diagnostic procedure in medicine, applicable not only for assessing hard tissue but also for widely differing medical indications involving soft tissue. The technology has been constantly improved since its introduction, so that today different generations of CT systems are known. Widely differing acquisition protocols tailored to the relevant indications are available for CT.

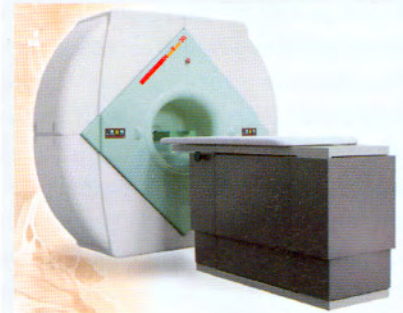
Due to the variety of systems, generations and protocols, reference is made to the radiological literature for a more specific overview.<sup>5</sup> The systems are complex to use and may be operated exclusively by radiologists. They are characterized by relatively high space requirement and considerable investments in material and system-specific training of the personnel. Although CT is widely used in maxillofacial surgery, applications in dentistry are mostly limited to periodontological and implantological questions.<sup>14</sup>

Compared with CT, the cone-beam systems are restricted in their diagnostic capabilities to certain applications.<sup>17</sup> On the one hand, the region to be displayed is limited, and soft tissues cannot be diagnosed reliably because of the lower bit depth of the images. In the CB method, the detector and x-ray source rotate around the patient, but instead of the fan beam of computed tomography, a cone-beam is used to produce a series of single exposures with a detector surface.<sup>10</sup> A series between 100 and 400 single exposures is taken from different angles. This raw data is reconstructed by specific algorithms of the system to obtain a three-dimensional data set. The slice spacing in this data set depends for CB directly upon the resolution of the x-ray detector. In CT, the resolution results from the slice spacing of the scans, in which a small slice thickness indeed results in higher resolution, but also means increased radiation exposure. In comparison to CT, the modification of the radiation axis, also named gantry, for reducing metal artefacts is frequently not necessary.

The CB systems presented in recent years differ in the volume of the examined area, the possibility of patient positioning (see table), in the dose, and the

Fig 1 Cone Beam devices: top left NewTom, top right Morita, left center Icat, right center Iluma, bottom left Planmeca, bottom right Sirona.

Abb. 1 Verfügbare Cone Beam Geräte: links oben NewTom, rechts oben Morita, Mitte links Icat, Mitte rechts Iluma, unten links Planmeca, unten rechts Sirona.







Für die eigentliche Implantatplanung sind dedizierte Schichtdarstellungen erforderlich, sodass das Implantatlager optimal in allen Dimensionen überprüft werden kann. Weiterhin werden volumetrische Darstellungsmöglichkeiten zur Übersicht benötigt, sodass die Position der Implantate zueinander und auch zur gegebenenfalls vorhandenen Restbeziehung überprüft werden kann. Hilfreich sind Werkzeuge zur Parallelisierung der Implantate, die Anzeige eines konfigurierbaren Sicherheitsabstandes sowie eine graphische Hervorhebung des Nervus alveolaris inferior.

Insgesamt sollte die Bedienung möglichst intuitiv erfolgen und einem effizienten Arbeitsablauf folgen. Optimalerweise sind Bildgebung und Implantatplanung in einer Software untergebracht, sodass kein Systemwechsel und keine Konvertierung oder Aufbereitung der Daten nötig ist.<sup>8</sup>

### Verfügbare Systeme zur dreidimensionalen Bildgebung

Grundsätzlich kann die dreidimensionale Diagnostik heute entweder mittels der Computertomographie oder der Cone Beam-Technologie durchgeführt werden. Aufgrund der schlechten Hartgewebisdarstellung werden Magnetresonanztomographen in der Regel nicht verwendet. Die Computertomographie ist als etabliertes diagnostisches Verfahren im Schädelbereich vielfältig verwendbar. Sie ermöglicht nicht nur die Beurteilung von Hartgewebe, sondern wird für verschiedenste medizinische Indikationen erfolgreich eingesetzt. Die Technologie wurde seit ihrer Einführung mehrfach

verbessert, sodass heute verschiedene Generationen von CT-Geräten bekannt sind. Die Geräte bieten verschiedenste Aufnahmeprotokolle, die auf die jeweiligen Indikationen zugeschnitten sind. Durch die Vielfalt der Geräte, Generationen sowie Protokolle sei für eine spezifischere Übersicht auf die radiologische Literatur verwiesen.<sup>5</sup> Die Geräte sind komplex in der Bedienung und ausschließlich von Radiologen zu betreiben. Sie zeichnen sich durch einen relativ hohen Platzbedarf aus und erfordern erhebliche Investitionen in Material und gerätespezifische Schulung des Personals. Für die Anwendungen in der Zahnheilkunde liegen die Indikationen zumeist auf Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgischen sowie implantologischen Fragestellungen.<sup>14</sup> Selten wird die CT auch für parodontologische Fragestellungen eingesetzt.

Gegenüber der CT sind die Cone Beam-Systeme in ihrer diagnostischen Leistungsfähigkeit unter bestimmten Anwendungen eingeschränkt.<sup>17</sup> Zum einen ist der darzustellende Bereich limitiert, und Weichteile sind aufgrund der geringeren Bittiefe der Aufnahmen in der Regel nicht zuverlässig diagnostizierbar. Beim CB-Verfahren kreisen Detektor und Röntgenquelle zwar ebenfalls um den Patienten, allerdings wird anstelle des fächerförmigen Strahlenbündels der Computertomographie ein konusförmiger (Cone) Strahl (Beam) eingesetzt, um eine Serie von Einzelaufnahmen mit einem flächigen Detektor anzufertigen.<sup>10</sup> Die digitale Volumetomographie projiziert mit einem konischen Strahlungskegel je nach System zwischen 100 und 400 Einzelaufnahmen, die dann rekonstruiert werden. Diese Rekonstruktion der sogenannten Rohdaten zu einem dreidimensionalen Datensatz erfolgt durch



reconstruction and display of the data record in the available software.<sup>18</sup>

## Available software for three-dimensional implant planning

The first system to be presented for three-dimensional implant planning was the Simplant system<sup>11</sup> (Materialize, Belgium) more than 10 years ago. In this system, segmentation of the data is performed by the dentist or as service in the center according to the software version used. This system dispenses with a reference system, since the surface of the bone or of the teeth for the seat of the templates is segmented accurately by central data preparation. However, for mucosa-borne surgical guides, a specific scanning template has to be produced, and for tooth-borne surgical guides, the plaster model has to be sent to Materialize. The drilling templates are produced on the basis of stereolithographic models. These templates can also be used for accurate depth preparation due to the inclusion of the accurate dimensions of the instruments in the planning program of the relevant manufacturer.

In the Med3d and IVS system, the segmentation and the accurate recognition of the system-specific reference takes place after loading and conversion of the Dicom data. In comparison to the IVS system, the Med3d system is characterized by a very individually adjustable software interface.<sup>13</sup> The IVS system offers numerous graphical operating elements for program operation. After planning the implant positions in the software, both systems deliver instructions for the dental technician

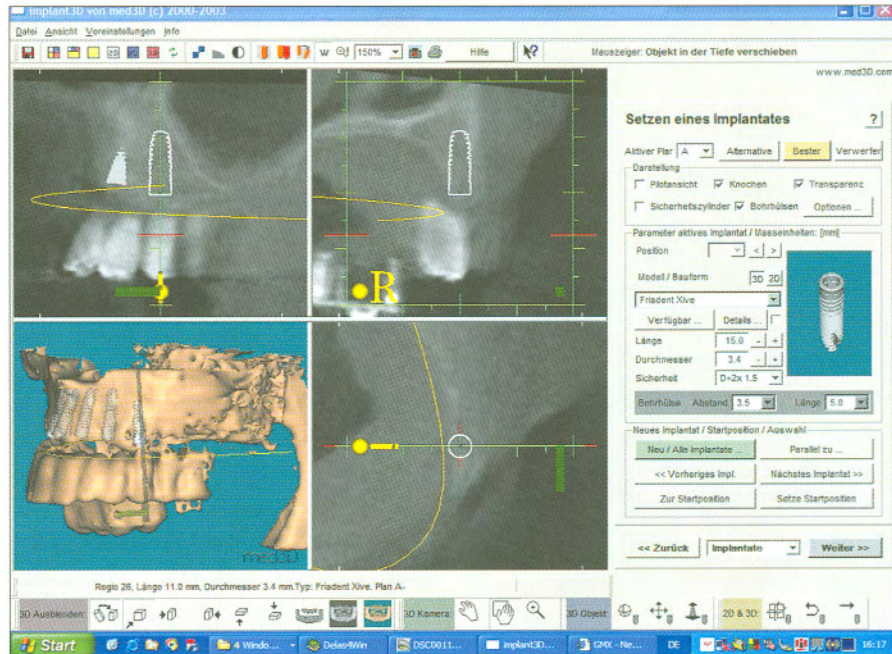


Fig 2 Technically driven user interface of Med-3d software.

Abb. 2 Technisch orientierte Benutzeroberfläche des Med-3D-Programms.

nician for transferring the planning data to a drilling system. In the Med3d system, the model is positioned for drilling the implant axis by using a hexapod and varying the relevant leg length. This adjustment of the six legs requires some practice to achieve the correct model inclination in space in relation to the drilling axis, since all leg positions have to be changed very accurately by hand. In the IVS system the gonyx, a system with several eccentrically arranged disks, is used to achieve the relevant model orientation in space. This proves to be simpler, since each disk can be adjusted easily. After the implant positions are drilled, the drilling sleeves are then fixed for the production of the drilling template.<sup>8</sup> In the NobelGuide system (Nobel Biocare, Göteborg, Sweden), first a scanning template including barium-sulphate-stained teeth is produced by the

dental technician. Then two CT or CB scans are required in order to scan the scanning template alone and in situ with the patient. Segmentation of the scanning template is then achieved in the dataset with the template alone, and the result is registered in the patient data set by radiopaque markers. This registered dataset shows the patient scan with the data of the scanned x-ray template with the prosthetic orientation. After the implants are positioned, further anchoring elements can be defined for fixing the position of the drilling template during the intervention. The final plan and the planning data are sent to the center and the dentist then receives a delivery with the template and the required system components for the implantological treatment.<sup>15</sup>

The following concept was selected for the treatment sequence in implant



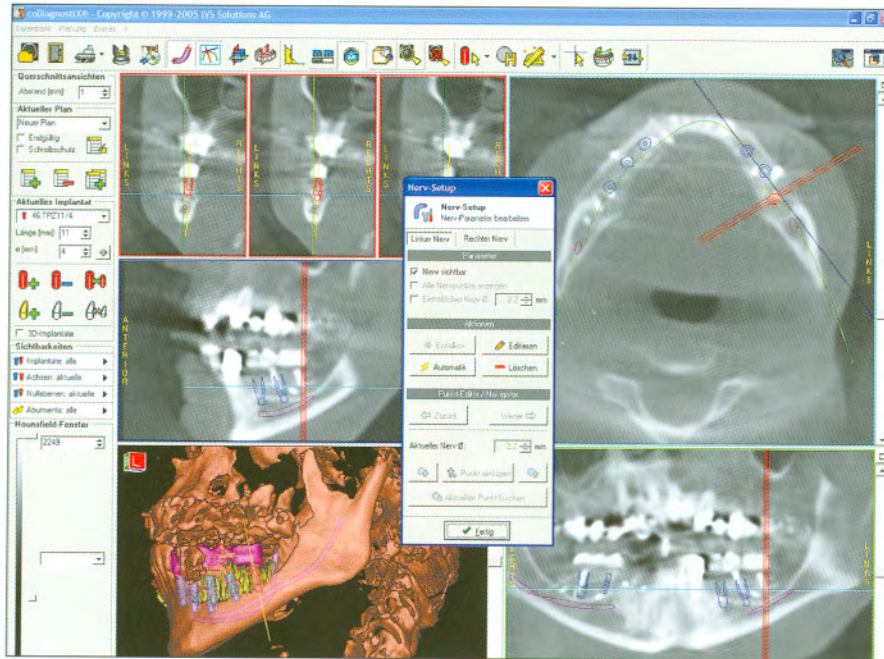


Fig 3 Graphics-oriented user interface of IVS-CodiagnostiX-software.

Abb. 3 Grafisch orientierte Benutzeroberfläche des IVS-CodiagnostiX-Programms.

die Algorithmen der jeweiligen Software des Geräteherstellers. Der Schichtabstand der CB-Rekonstruktion hängt dabei direkt von der Auflösung des Bildverstärkers ab. Bei der CT ergibt sich die Auflösung aus dem Schichtabstand der Aufnahmen, wobei eine geringe Schichtung zwar eine höhere Auflösung ergibt, aber auch eine erhöhte Strahlenexposition bedeutet. Im Vergleich zur CT ist die Modifikation der Strahlungsachse, auch Gantry genannt, zur Reduktion von Metallartefakten häufig nicht notwendig. Die in den letzten Jahren vorgestellten CB-Systeme unterscheiden sich im Volumen des untersuchten Bereichs, der Möglichkeit der Patientenpositionierung (siehe Tabelle), der Dosis sowie der Rekonstruktion und Darstellung des Datensatzes in der verfügbaren Software.<sup>18</sup>

### Verfügbare Software zur dreidimensionalen Implantatplanung

Als erstes System zur dreidimensionalen Implantatplanung wurde bereits vor über 10 Jahren das Simplant-System<sup>11</sup> (Materialize, Belgien) vorgestellt. Bei diesem System erfolgt je nach angewandeter Softwareversion die Segmentierung durch den Behandler oder als Serviceleistung im Zentrum. Dieses System verzichtet auf ein Referenzsystem, da die Oberfläche des Knochens oder der Zähne für den Sitz der Schablonen genau durch die zentrale Datenaufbereitung segmentiert wird. Die Bohrschablonen werden auf Basis von stereolithografischen Modellen hergestellt. Durch die Einbeziehung der genauen Abmessungen der Instrumente im Planungsprogramm der jeweiligen Hersteller kön-

nen diese Schablonen auch für eine genaue Tiefenpräparation angewendet werden.

Beim Med3d- und IVS-System erfolgt nach dem Einspielen und Konvertieren der Dicom-Daten die Segmentierung und das genaue Erkennen der system-spezifischen Referenz bzw. der Sicherheitsmarker. Das Med3d-System zeichnet sich im Vergleich zum IVS-System durch eine sehr individuell einstellbare Softwareoberfläche aus.<sup>13</sup> Das IVS-System bietet für die Programmbedienung zahlreiche grafische Bedienelemente an. Beide Systeme liefern nach Abschluss der Planung eine Anleitung für den Zahntechniker, sodass die Planungsdaten in ein Bohrsystem übertragen werden können. Beim Med3d-System wird die Positionierung des Modells für die Bohrung der Implantatachse durch ein Hexa-Pot mit der Variation der jeweiligen Beinlänge erreicht. Dieses Einstellen der sechs Beine erfordert etwas Übung, um die richtige Modellneigung im Raum zur Bohrachse zu erreichen, da alle Beinpositionen gleichmäßig verändert werden müssen. Beim IVS-System wird der Gonyx, ein System mit mehreren exzentrisch angeordneten Scheiben verwendet, um die jeweilige Modellorientierung im Raum zu erreichen. Diese gestaltet sich einfacher, da jede Scheibe unabhängig eingestellt werden kann. Nach Bohrung der Implantatpositionen erfolgt dann die Fixierung der Bohrhülsen für die Fertigstellung der Bohrschablone.<sup>8</sup> Beim NobelGuide-System (NobelBiocare, Göteborg, Schweden) erfolgt die Segmentierung durch die Überlagerung des Patientenscans mit den Daten der eingescannten Röntgenschablone mit der prothetischen Aufstellung. Nach Positionierung der Implantate können noch weitere Verankerungs-



planning with the Galileos system (Sirona, Bensheim, Germany). At first the dentist prepares for classical implant planning with an impression and a bite registration of the patient. A wax-up for the planned prosthetic restoration can then be produced in the dental laboratory. Adaptation to the patient is necessary according to the extent of this prosthetic planning. After agreement of this prosthetic procedure, the wax-up is converted into a scanning template in which the teeth are represented by acrylic containing barium sulphate. The system-specific reference plate with six marker balls is then fixed. When performing the scan it is important (as in all reference systems) to pay attention to the correct position of the template in the mouth of the patient.

The scanned volume of the GALILEOS scanner displays the entire facial skull. The formation of the temporomandibular joint can also be assessed with this scan, which can provide indications of functional overloading and possibly necessary prosthetic measures. The tube voltage is 85 KV at 28 mAs for standard scans. After the 3D data record is available, implant positions can be planned using the same software having fewer but intuitive software tools. After the implants are defined, the data is transferred to the central drilling template production facility, which produces the pilot drill holes in the reference plate using a CNC milling machine. According to the planned procedure, a provisional restoration can then be produced with the assistance of the planning model; subsequently, the drilling template is used for inserting the implants.

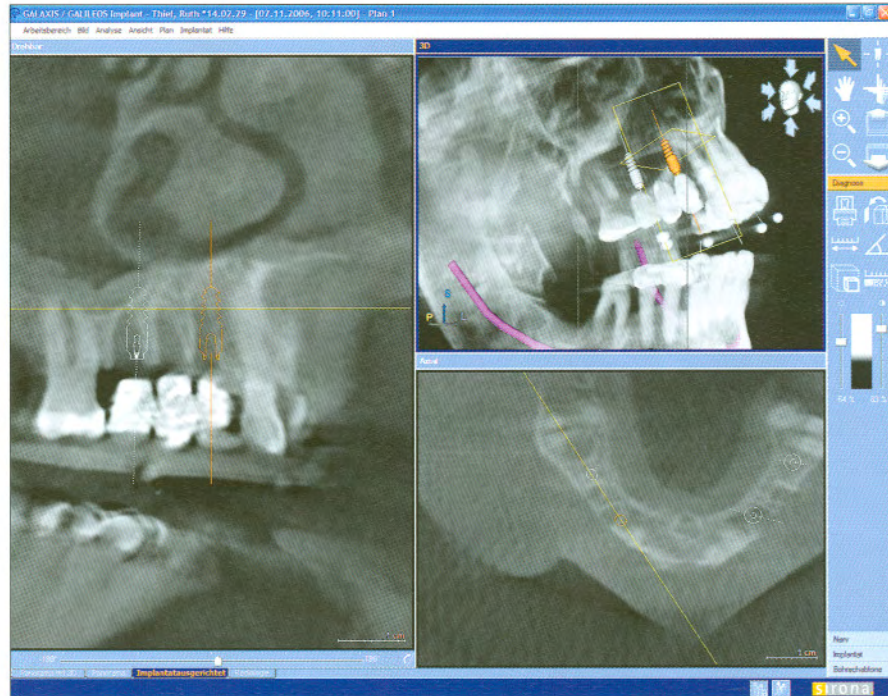


Fig 4 Workflow oriented user interface of Galileos software with simultaneous diagnosis and planning feature.

Abb. 4 Ablauforientierte Benutzeroberfläche des Galileosprogramms mit simultaner Diagnose und Planungsoption.

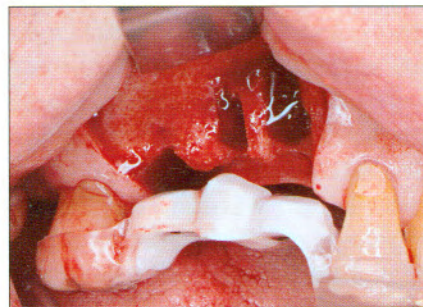


Fig 5 Flap preparation with incomplete bone regeneration 6 months after tooth removal with 3d-drill-guide.

Abb. 5 Darstellung unzureichend regenerierter Kieferkamm 6 Monate nach Zahnextraktion mit eingesetzter 3D-Schablone.



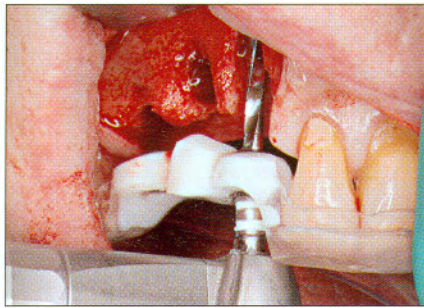


Fig 6 Guided preparation of pilot drill in extraction socket.

Abb. 6 Geführte Pilotbohrung in Extraktionsalveole mit 2 mm Vorbohrer.

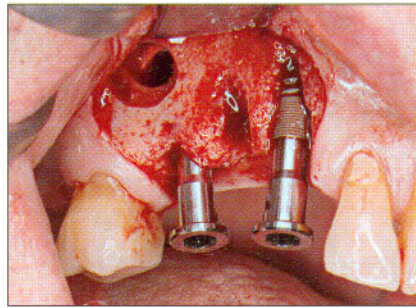


Fig 7 Seating of implants after minimal extended sinus floor elevation.

Abb. 7 Einsetzen der Implantate nach minimal durchgeführter Sinusbodenelevation.

elemente zur Lagefixierung der Bohr-schablone definiert werden. Nach Abschluss der Planung werden die Planungsdaten an das Zentrum versandt und der Behandler erhält dann eine Lieferung mit der Schablone und den benötigten Systembauteilen für die implantologische Versorgung.<sup>15</sup>

Für den Behandlungsablauf bei der Implantatplanung mit dem Galileos-System (Sirona, Bensheim, Deutschland) wurde folgendes Konzept gewählt: Zunächst bereitet der Behandler die klassische Implantatplanung mit einem Abdruck und einer Bissregistrierung des Patienten vor. Im zahntechnischen Labor kann dann eine Wachsaufstellung für den geplanten prothetischen Zahnersatz angefertigt werden. Je nach Umfang dieser prothetischen Planung ist eine Anpassung am Patienten notwendig. Nach Abstimmung dieser prothetischen Vorgehensweise erfolgt dann die Umsetzung der Wachsaufstellung in eine Röntgenplanungsschablone, bei der die Zähne mit Bariumsulfat-dotiertem Kunststoff dargestellt werden. Es erfolgt nun die Fixierung der systemspezifischen Referenzplatte mit sechs Markerkugeln, die im weiteren Behandlungsablauf für die Übertragung zwischen den einzelnen Arbeitsschritten benötigt wird. Bei der Durchführung des Scans ist es wie bei allen Referenzsystemen wichtig, auf eine korrekte Position der Schablone im Mund des Patienten zu achten.

Das gescannte Volumen erlaubt die komplette Befundung des gesamten Gesichtsschädels und somit wird bei umfangreichen Rehabilitationen nicht die Summation von mehreren Scans notwendig. Mit diesem Scan kann auch die Formation des Kiefergelenks beurteilt werden, was Hinweise auf funktionelle Überbelastungen geben und evtl. notwendige prothetische Maß-

Fig 8 Augmentation of sinus floor with grafting material and preparation of lateral augmentation for vestibular defect.

Abb. 8 Augmentation des Kieferhöhlenbodens mit Knochenersatzmaterial und Vorbereitung vestibuläre Augmentation bei Knochendefekt.

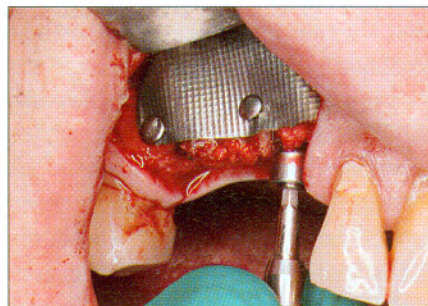
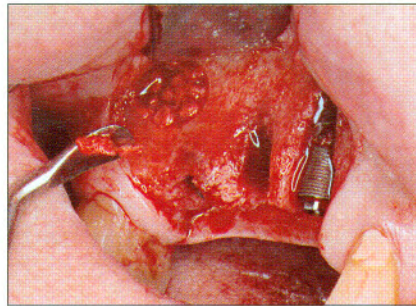


Fig 9 Fixation of grafting material with titanium membrane.

Abb. 9 Fixierung des Knochenersatzmaterials mit Titan-Membran.

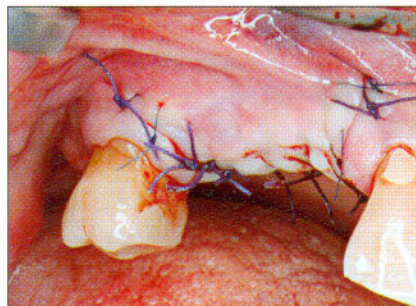


Fig 10 Final situation after wound closure.

Abb. 10 Speicheldichter Wundverschluss.



## Discussion

Three-dimensional imaging is helpful for planning most implants. Apart from assessing the necessity or the extent of an augmentative measure beforehand, difficult anatomical conditions can be evaluated accurately by three-dimensional imaging to avoid surgical or prosthetic complications. Thus the necessary surgical treatment concept can be designed as minimally invasively as possible. Thanks to the computer animated true-to-scale display of the individual anatomical conditions, the patient can be simply informed about the required surgical procedure and the resulting course of treatment. Especially the course of the nerve in the retromolar region for bone harvesting or the configuration of the maxillary sinus floor for sinus floor elevation can be measured and displayed to the patient, fostering the patient/doctor communication. In this way, the risks, benefits and possible complications can be described accurately and efficiently to the patient.

The use of 3D imaging is highly recommended in complex cases of altered or atypical anatomy, eg, after an accident, tumor resection or extensive reconstructions of alveolar ridge defects. According to the morbidity of the patient, the normally necessary augmentation can also be avoided by corresponding preoperative diagnostics, since the available bone substance can be utilized optimally and thus implants can be inserted in an area having only slight but nevertheless sufficient bone coverage.

3D implant diagnostics by means of cone-beam technology allows comprehensive radiological diagnosis with a reduction of the radiation exposure in comparison to computed tomogra-

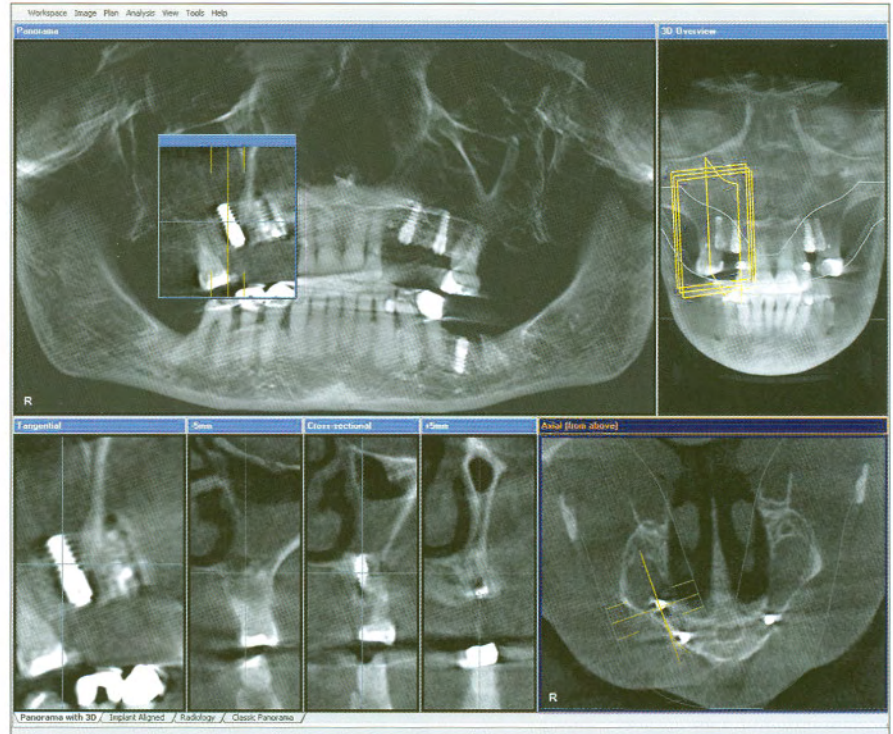


Fig 11 Post-operative scan with control of augmentation of sinus floor.

### Abb. 11 Post-operativer Kontrollscan mit Darstellung Sinusbodenelevation.

phy.<sup>6</sup> Despite the lower radiation exposure, DVT's accuracy is comparable to computed tomography for hard tissue diagnosis, due to its computer-assisted dynamic diagnostic facility.<sup>16</sup> Thanks to the possibility of implementing this technology in the dental practice, the data are available directly after performance of the scan. The reconstruction time of 4.5 minutes appears relatively long at present, but will be shortened by the further development of computer technology. However, availability is clearly faster than when the case is referred to a radiologist. This enables the dentist to use this technology for further therapy planning and for consultation at the time of diagnosis. In this way, a further consultation with the patient becomes superfluous

and the effectiveness of the practice is increased. Three-dimensional diagnosis further facilitates optimum preparation for surgery, since commonly, inter-operative findings can already be detected in advance. Since no second or additional planes (as for conventional radiographs) have to be produced, the total number of radiological exposures is reduced. The trend for dentists to work in joint practices or to be employed in centers also justifies the high procurement costs under economic aspects.

A main indication for using 3D planning today is immediate loading.<sup>15</sup> With corresponding planning, a provisional restoration can already be produced beforehand and be incorporated right after the insertion of implants. Besides



nahmen erfordern kann. Die Röhrenspannung beträgt 85 KV bei 28 mAs. Nach Vorliegen des 3D-Datensatzes kann dann im Planungsfenster die Implantatposition entsprechend dem Zahnschema frei gewählt werden. Nach Definition der Implantate erfolgt der Transfer des Datenvolumens an die zentrale Bohrschablonenherstellung, die mittels einer Fünf-Achsenfräsmaschine die Pilotbohrungen im Gipsmodell bzw. der Referenzplatte durchführt. Diese Pilotbohrungen werden für die Erstellung der Bohrschablone verwendet. Je nach geplantem Vorgehen erfolgt dann eine Herstellung eines Provisoriums unter Zuhilfenahme des Planungsmodells. Abschließend wird die Bohrschablone zur Insertion der Implantate verwendet.

## Diskussion

Die Indikation zur dreidimensionalen Bildgebung ergibt sich aus folgenden Überlegungen: Neben der Abschätzung der Notwendigkeit oder des Umfangs einer augmentativen Maßnahme sind alle Befunde relevant, die die Gefährdung anatomischer Strukturen erkennen lassen. Durch die dreidimensionale Bildgebung können diese schwierigen anatomischen Verhältnisse genau evaluiert werden, um chirurgische oder prothetische Komplikationen zu vermeiden. Somit kann bereits mit minimal invasivem Aufwand das notwendige chirurgische Behandlungskonzept definiert werden. Durch die computeranimierte maßstabsgetreue Darstellung der individuellen anatomischen Verhältnisse kann der Patient einfach über den notwendigen chirurgischen und sich damit ergebenden prothetischen Behandlungsablauf in-

formiert werden. Hierbei lassen sich die anatomisch relevanten Strukturen genau darstellen, wie z. B. der Nervverlauf bei der retromolaren Knochenentnahme oder die Konfiguration des Kieferhöhlenbodens bei der Sinusbodenelevation. Dadurch lässt sich das Risiko mit evtl. Komplikationen genau beschreiben und der Operateur kann eine effiziente Risikoaufklärung des Patienten durchführen.

Die Anwendung der 3D-Bildgebung ist besonders hilfreich bei veränderten oder untypischen Situationen, wie z. B. nach Unfall, Tumorsektion oder umfangreichen Rekonstruktionen von Alveolarkamm-Defekten. Bei kongenital bedingten generalisierten Nichtanlagen sind Teile des Kiefers nicht altersentsprechend entwickelt, so dass in solchen Fällen eine sehr dezidierte Planung erforderlich ist. Je nach Morbidität des Patienten lässt sich durch eine entsprechende präoperative Diagnostik auch die normalerweise notwendige Augmentation vermeiden, da das vorhandene Knochenangebot optimal ausgenutzt werden kann und somit Implantate in Areale inseriert werden können, die nur eine geringe, aber dennoch ausreichende Knochenabdeckung aufweisen.

Die 3D-Implantatdiagnostik mittels Cone Beam-Technologie erlaubt im Vergleich zur CT-Diagnostik eine umfassende radiologische Befunderhebung mit einer Reduktion der Strahlenbelastung im Vergleich zur Computertomographie.<sup>6</sup> Trotz der geringeren Strahlenbelastung zeigt sich für Hartgewebsdiagnostik durch die computergesteuerte dynamische Befundungsmöglichkeit eine vergleichbare Genauigkeit des DVTs mit einer Computertomographie.<sup>16</sup> Durch die Möglichkeit, diese Technologie in der Zahnarztpraxis zu implementieren, besteht

eine direkte Verfügbarkeit nach Durchführung der Aufnahme. Die Rekonstruktionszeiten von 4,5 Minuten erscheint heute noch relativ lange, wird sich aber durch die Weiterentwicklung der Computertechnologie verkürzen. Die Verfügbarkeit ist jedoch deutlich schneller als bei einer Überweisung zu einem Radiologen. Dies ermöglicht dem Behandler die Nutzung dieser Technologie für die weitere Therapieplanung und für das Beratungsgespräch bereits zum Zeitpunkt der Befunderhebung. Dadurch wird eine weitere Konsultation des Patienten überflüssig und die Effektivität der Praxis gesteigert. Die dreidimensionale Befunderhebung ermöglicht ferner eine optimale Vorbereitung des chirurgischen Eingriffs, da sonst erst interoperativ zu erkennende Befunde bereits im Vorfeld abgeklärt werden können. Da keine zweiten oder zusätzlichen Ebenen angefertigt werden müssen, ist die insgesamt Anzahl der radiologischen Aufnahmen reduziert. Für Zahnärzte, die dem Trend folgend, immer häufiger in Praxen zusammenarbeiten oder in Zentren tätig werden, werden auch die höheren Anschaffungskosten unter wirtschaftlichen Aspekten vertretbar sein.

Eine Hauptindikation der Anwendung der 3D-Planung besteht heute in der Sofortbelastung.<sup>15</sup> Durch die entsprechende Planung kann bereits vor der Operation ein provisorischer Zahnersatz hergestellt werden, der dann zum Ende der Implantatinsertion direkt eingegliedert werden kann. Dies ermöglicht eine schnelle Behandlung, da Arbeitsschritte, die sich normalerweise nach der Implantatinsertion anschließen, bereits vor dem chirurgischen Eingriff erbracht werden können. Die dreidimensional basierte Schablontechnik erlaubt bei der Nutzung



high patient satisfaction, this procedure facilitates treatment, since work steps that normally follow after insertion of the implant can already be completed before the surgical operation.

When microimplants are used, the three-dimensional template technique allows support indirectly on the bone, further increasing precision. Thanks to the early inclusion of the dental technician in case planning, the final treatment can be achieved with less need for communication in the further course of the restoration.

In the systems already established on the market for central template production by means of stereolithography, there is increased expense for segmentation, which is also undertaken centrally in part. The Nobel Biocare system requires a double scan of the template or of the prosthesis with reference marks, which means increased radiological expense and possible registration errors, especially when performed in a less experienced radiological practice for dental implant planning. The Galileos system offers integrated diagnostic and planning software in which segmentation is no longer necessary. Therefore, implant planning can follow directly after diagnosis using the same software, avoiding further interfaces and data conversion. After the plan has been produced, it is archived digitally and transmitted to the manufacturer for final production of the template. The use of the 3D template demonstrates the possibility of accurate implementation of planning with preparation of the dental laboratory work, especially for immediate loading. □

#### References:

1. Proceedings of the Third ITI (International Team for Implantology) Consensus Conference. Gstaad, Switzerland, August 2003. *Int J Oral Maxillofac Implants* 19 Suppl, 7-154, 2004.
2. °. Richtlinien des Bundesausschusses der Ärzte und Krankenkassen über Kriterien zur Qualitätsbeurteilung in der radiologischen Diagnostik gemäß § 136 SGB V.
3. Bidgood WD Jr, Horii SC. Introduction to the ACR-NEMA DICOM standard. *Radiographics* 12,345-355,1992.
4. Ewers R, Schicho K, Truppe M, Seemann R, Reichwein A, Figl M, Wagner A. Computer-aided navigation in dental implantology: 7 years of clinical experience. *J Oral Maxillofac Surg* 62,329-334,2004.
5. Hassfeld S, Muhling J. Computer assisted oral and maxillofacial surgery—a review and an assessment of technology. *Int J Oral Maxillofac Surg* 30,2-13,2001.
6. Hatcher DC, Dial C, Mayorga C. Cone beam CT for pre-surgical assessment of implant sites. *J Calif Dent Assoc* 31,825-833,2003.
7. Khoury F, Schmidt J, Sanftenberg U. Erfahrungen mit der Bohrrichtungsschablone bei der Insertion von IMZ-Implantaten. *Z Zahnärztl Implantol* 7,29-32,1991.
8. Mischkowski RA, Zinser MJ, Neugebauer J, Kubler AC, Zöller JE. Comparison of static and dynamic computer-assisted guidance methods in implantology. *Int J Comput Dent* 9,23-35,2006.
9. Monaco G, Montevicchi M, Bonetti GA, Gatto MR, Checchi L. Reliability of panoramic radiography in evaluating the topographic relationship between the mandibular canal and impacted third molars. *J Am Dent Assoc* 135,312-318, 2004.
10. Mozzo ., Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreis IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol* 8,1558-1564,1998.
11. Mupparapu M, Singer SR. Implant imaging for the dentist. *J Can Dent Assoc* 70,32, 2004.
12. Nakagawa Y, Kobayashi K, Ishii H, Mishima A, Asada K, Ishibashi K. Preoperative application of limited cone beam computerized tomography as an assessment tool before minor oral surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg* 31,322-326,2002.
13. Stein W, Hassfeld S, Brief J, Bertovic I, Krempin R, Muhling J. CT-based 3D-planning for dental implantology. *Stud Health Technol Inform* 50,137-143,1998.
14. Tsiklakis K, Donta C, Gavala S, Karayianni K, Kamenopoulou V, Hourdakos CJ. Dose reduction in maxillofacial imaging using low dose Cone Beam CT. *Eur J Radiol*,2005.
15. van Steenberghe D, Glauser R, Blomback U, Andersson M, Schutyser F, Pettersson A, Wendelhag I. A computed tomographic scan-derived customized surgical template and fixed prosthesis for flapless surgery and immediate loading of implants in fully edentulous maxillae: a prospective multicenter study. *Clin Implant Dent Relat Res* 7 Suppl 1,S111-120,2005.
16. Wagner A, Wanschitz F, Birkfellner W, Zauza K, Klug C, Schicho K, Kainberger F, Czerny C, Bergmann H, Ewers R. Computer-aided placement of endosseous oral implants in patients after ablative tumour surgery: assessment of accuracy. *Clin Oral Implants Res* 14,340-348,2003.
17. Winter AA, Pollack AS, Frommer HH, Koenig L. Cone beam volumetric tomography vs. medical CT scanners. *N Y State Dent J* 71,28-33,2005.
18. Yamamoto K, Ueno K, Seo K, Shinohara D. Development of dento-maxillofacial cone beam X-ray computed tomography system. *Orthod Craniofac Res* 6 Suppl 1,160-162,2003.



von Mikroimplantaten eine Abstützung indirekt auf dem Knochen, was eine gute Vorbereitung der prothetischen Versorgung ermöglicht. Durch frühe Einbindung des Zahn-technikers in der Fallplanung lässt sich im weiteren Verlauf die prothetische Umsetzung der Endversorgung mit geringerem Kommunikationsaufwand erreichen.

Bei den bereits im Markt etablierten Systemen zur zentralen Schablonenherstellung mittels Stereolithographie zeigt sich ein erhöhter Aufwand für die Segmentierung, die teilweise ebenfalls zentral erfolgt. Besonders das Nobel-Biocare-System erfordert einen Doppel-Scan der Schablone bzw. der Prothese mit Referenzmarken, was einen erhöhten radiologischen Aufwand besonders bei der Durchführung

in einer radiologischen Praxis bedeutet. Das Galileos-System bietet eine integrierte Diagnose- und Planungssoftware, bei der keine Segmentierung mehr notwendig ist. Daher kann die Implantatplanung direkt an die Befundung angeschlossen werden. Es werden keine weiteren Schnittstellen benötigt. Nach Durchführung der Planung wird diese digital archiviert und an den Hersteller übermittelt, damit die Schablone endgültig hergestellt werden kann. Die Nutzung der 3D-Schablone bietet die Möglichkeit der genauen Umsetzung der Planung mit einer Vorbereitung der Zahntechnik besonders für die Sofortbelastung. Optional stehen weitere Möglichkeiten des CAD/CAM-gefertigten Zahnersatzes zur Verfügung.



Dr Jörg Neugebauer

Dental degree University Heidelberg. Several years occupation in dental device industry, final position director R&D Implantology. Specialisation oral surgery, present consultant Interdisciplinary Outpatient Dep. for Oral Surgery and Implantology at Cologne University, director Prof Dr Dr JE Zöller.

Studium der Zahnheilkunde Universität Heidelberg. Mehrjährige Tätigkeit in der Dentalindustrie, zuletzt als Leiter R&D Implantologie. Weiterbildung zum Fachzahnarzt für Oralchirurgie, jetzt Oberarzt an der Interdisziplinäre Poliklinik für Orale Chirurgie und Implantologie der Universität zu Köln, Direktor Prof. Dr. Dr. J. E. Zöller.

#### Address/Adresse:

Dr. J. Neugebauer  
Oberarzt  
Interdisziplinäre Poliklinik für Orale  
Chirurgie und Implantologie  
Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer-  
und Plastische Gesichtschirurgie  
der Universität zu Köln  
Kerpener Str. 32  
50931 Köln, Germany  
Phone +49 (221) 478 4700  
Fax +49 (221) 478 6721  
E-mail: [Joerg.neugebauer@uk-koeln.de](mailto:Joerg.neugebauer@uk-koeln.de)