

J. Neugebauer^a, F. Kistler^b, S. Kistler^c, G. Zündorf^d, D. Freyer^e, L. Ritter^f, T. Dreiseidler^g, J. Kusch^h,
J. E. Zöllnerⁱ

CAD/CAM-produced Surgical Guides: Optimizing the Treatment Workflow

CAD-CAM-gefertigte Bohrschablonen: Optimierter Behandlungsablauf

- | | |
|--|---|
| <p>a Priv.-Doz. Dr. Jörg Neugebauer, Zahnärztliche Gemeinschaftspraxis, Landsberg am Lech; Interdisziplinäre Poliklinik für Orale Chirurgie und Implantologie, Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie der Universität zu Köln</p> <p>b Dr. Frank Kistler, Zahnärztliche Gemeinschaftspraxis, Landsberg am Lech</p> <p>c Dr. med. dent. Steffen Kistler, Zahnärztliche Gemeinschaftspraxis, Landsberg am Lech</p> <p>d Dr. Gerhard Zündorf, SICAT GmbH & Co. KG, Bonn</p> <p>e Dirk Freyer, SICAT GmbH & Co. KG, Bonn</p> <p>f Dr. Dr. Lutz Ritter, Interdisziplinäre Poliklinik für Orale Chirurgie und Implantologie, Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie der Universität zu Köln</p> <p>g Dr. Dr. Timo Dreiseidler, Interdisziplinäre Poliklinik für Orale Chirurgie und Implantologie, Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie der Universität zu Köln</p> <p>h Jochen Kusch, SICAT GmbH & Co. KG, Bonn</p> <p>i Univ.-Prof. Dr. Dr. Joachim E. Zöllner, Interdisziplinäre Poliklinik für Orale Chirurgie und Implantologie, Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie der Universität zu Köln</p> | <p>a PhD, Dr Jörg Neugebauer, Interdisciplinary Outpatient Department for Oral Surgery and Implantology, Department of Craniomaxillofacial and Plastic Surgery, University of Cologne, Germany</p> <p>b Dr Frank Kistler, Private Dental Clinic, Landsberg am Lech, Germany</p> <p>c Dr med dent Steffen Kistler, Private Dental Clinic, Landsberg am Lech, Germany</p> <p>d Dr Gerhard Zündorf, SICAT Co., Bonn, Germany</p> <p>e Dirk Freyer, SICAT Co., Bonn, Germany</p> <p>f Dr Dr Lutz Ritter, Interdisciplinary Outpatient Department for Oral Surgery and Implantology, Department of Craniomaxillofacial and Plastic Surgery, University of Cologne, Germany</p> <p>g Dr Dr Timo Dreiseidler, Interdisciplinary Outpatient Department for Oral Surgery and Implantology, Department of Craniomaxillofacial and Plastic Surgery, University of Cologne, Germany</p> <p>h Jochen Kusch, SICAT Co., Bonn, Germany</p> <p>i Professor Joachim E. Zöllner, Interdisciplinary Outpatient Department for Oral Surgery and Implantology, Department of Craniomaxillofacial and Plastic Surgery, University of Cologne, Germany</p> |
|--|---|

Zusammenfassung

Die zunehmende Verfügbarkeit von DVT-Geräten ermöglicht die intensivere Nutzung von Bohrschablonen für die Implantatinserterion, die in Zentren mithilfe von CAD/CAM-Fräsen hergestellt werden. Dies erfordert eine komplexe Logistikkette, die zeitaufwendig und kostenintensiv ist. Im Rahmen einer Pilotstudie wurde der Arbeitsablauf von direkt gefrästen Bohrschablonen evaluiert, die auf Basis der Fusion eines optischen Abdrucks mit den Röntgendaten

Summary

The increased availability of devices for 3D radiological diagnosis allows the more frequent use of CAD/CAM-produced surgical guides for implant placement. The conventional workflow requires a complex logistic chain which is time-consuming and costly. In a pilot study, the workflow of directly milled surgical guides was evaluated. These surgical guides were designed based on the fusion of an optical impression and the radiological data.

The clinical use showed that the surgical guides could be accurately placed on the residual dentition without tipping movements. The conventional surgical guides were used as a control for the manual check of the deviation of the implant axis. The direct transfer of the digital planning data allows the fabrication of surgical guides in an external center without the need of physical transport, which reduces the logistic effort and expense of the central fabrication of surgical guides.

Keywords: digital workflow, 3D diagnosis, cone-beam CT, digital implant planning, guided implant placement, telemedicine, reduced logistics, image fusion

Introduction

The increased availability of devices to produce cone-beam data also shows an increased frequency in the use of surgical guides which were produced on the basis of this three-dimensional radiological data.¹⁻⁴ By the use of these devices, improved implant positioning is possible, especially under prosthetic aspects, in comparison to the free-hand implant placement.⁵ These surgical guides are used especially to perform implant treatment less invasively.⁶ For the fabrication of the surgical guides, two methods are available. In local fabrication, the lab technician uses a special milling device to transfer the coordinates – which were produced by the digital planning programs – to the surgical guide. The central fabrication of surgical guides is done in special centers with computer-controlled machines.^{7,8} Due to the manual transfer in decentral manufacturing, the risk of loss of the position is given. Therefore, various control mechanisms were established which require additional production time.⁹ For the centrally manufactured surgical guides, the numeric data are transferred by stereolithography or a numerically controlled milling station to produce a guide with limited tolerance and high precision.^{10,11} Because of the industrial standard, these milling units are very complex and expensive, and are only available at a limited number of centers. This requires from the ordering dentist that the treatment documents and materials for each surgical guide has to be shipped to the corresponding center. This requires a high logistic effort which limits the flexibility of the treatment process of the patient.² Due to the rapid developments in the area of datatransfer, today even large amounts of data – such as that generated by cone-beam CT – can be transferred via internet or file transfer programs to other centers.¹²

erstellt wurden. Es zeigte sich in der klinischen Anwendung, dass die Bohrschablonen passgenau auf der Restzahnschicht ohne Kippbewegungen positioniert werden konnten. Die zur Kontrolle angefertigten konventionellen Bohrschablonen zeigten bei der manuellen Überprüfung keine Abweichungen der Implantatachsen. Die direkte Übermittlung der digitalen Planungsdaten ermöglicht die Anfertigung von Bohrschablonen bei einer zentralen Fertigung, mit dem Verzicht eines Versandweges. Damit werden der logistische und finanzielle Aufwand bei der zentralen Schablonenherstellung reduziert.

Schlüsselwörter: digitaler Arbeitsablauf, 3-D-Diagnostik, digitale Volumetomografie, digitale Implantatplanung, geführte Implantatchirurgie, Telemedizin, reduzierte Logistik, Datenüberlagerung

Einleitung

Geräte zur Durchführung der digitalen Volumetomografien verbreiten sich zusehends. Dies zeigt eine höhere Anwendung von Bohrschablonen, die auf Basis dieser dreidimensionalen Röntgendaten hergestellt werden.¹⁻⁴ Hierdurch lässt sich eine genauere Positionierung des Implantats erreichen, als bei der Freihandimplantation, besonders unter prothetischen Aspekten.⁵ Vor allem um die Implantatbehandlung weniger invasiv zu gestalten, werden diese Schablonen angewendet.⁶

Für die Schablonenherstellung haben sich im Markt zwei Varianten etabliert. Bei der dezentralen Fertigung überträgt der Zahntechniker mit speziellen Bohrständen die im digitalen Planungsprogramm erzeugten Koordinaten für die Schablone manuell. Die zentrale Fertigung der Bohrschablonen erfolgt in speziellen Zentren mit computergesteuerten Maschinen.^{7,8} Bei der manuellen Umsetzung kann es zu unpräzisen Ergebnissen kommen, sodass verschiedene Kontrollmechanismen etabliert wurden, die die Herstellung zeitaufwendiger machen können.⁹ Bei der zentral hergestellten Bohrschablone werden die numerischen Daten entweder über Stereolithographie oder numerisch kontrollierte Bohreinheiten übertragen, um eine Schablone mit einer geringen Toleranz und hoher Präzision herzustellen.^{10,11} Diese Fräseinheiten sind aufgrund des industriellen Standards sehr kostenintensiv und stehen nur in wenigen Zentren zur Verfügung. Daher muss der jeweils bestellende Zahnarzt die Behandlungsunterlagen für die Bohrschablonen zuerst postalisch an das jeweilige Zentrum versenden, was Zeit kostet und die Planung des

Behandlungsablaufes erschweren kann.² Durch die rasante Entwicklung im Bereich der Datenkommunikation können selbst größere Datenmengen, wie sie bei einem DVT anfallen, über entsprechende Internetseiten oder Datenübertragungsprogramme an ein Zentrum transferiert werden.¹² Für die Herstellung einer Bohrschablone sind neben den Koordinaten der gewünschten Implantatachsen, die sich durch die Röntgenaufnahme ergeben, auch die Oberflächenkonturen der Zähne und des Kiefers notwendig. Diese Struktur kann systembedingt nicht aus dem Röntgendatensatz gewonnen werden, da dieser gerade bei prothetisch versorgten Patienten durch die Metallartefakte oder die unterschiedliche Wiedergabe von Füllungsmaterialien mit einem hohen Rauschen versehen ist.¹³ Auch zeigt die räumliche Auflösung der DVT-Aufnahmen eine Toleranz von 100 bis 200 μm , die zu einem weiteren Fehler bei der Anwendung der Bohrschablone führen würde.¹⁴ Zur Wiedergabe der Oberflächenstruktur werden daher eine Abdrucknahme durch den Zahnarzt und eine Modellherstellung vom Zahntechniker durchgeführt, die ebenfalls eine Logistikkette erfordern.¹⁵ Der CAD/CAM-basierte Herstellungsprozess erfordert eine digitale Wiedergabe der Oberflächenstruktur, wie diese zum Beispiel durch eine optische Abdrucknahme erreicht werden kann.¹⁶ Dadurch entfällt das Umhersenden von Gipsmodellen, da die eingescannte Zahnstruktur ein digitales Modell mit einer hohen Präzision (Toleranz 20 μm) liefert.

Die Überlagerung von verschiedenen Datensätzen ist in der Medizin schon mehrfach demonstriert worden.^{17–21} Somit kann man eine hohe Präzision beim Fräsen der Auflage der Bohrschablone erreichen. Die Vektoren, die im Rahmen der Implantatplanung bestimmt wurden, können im überlagerten Datensatz in diese Schiene durch eine weitere Fräsung eingearbeitet werden.

Material und Methoden

Der Behandlungsablauf für die Herstellung einer CNC-gefrästen Bohrschablone (Optiguide; Sicat, Bonn) stellt sich somit wie folgt dar. Zunächst erfolgte die DVT-Aufnahme (Galileos; Sirona Dental Systems, Bensheim) mit einem gesperrten Biss, damit es bei der späteren Überlagerung der Daten nicht zu Interferenzen mit der antagonistischen Bezahnung kommt. In der Prototypenphase wurde der Biss durch eine fixierte Referenzplatte gesperrt, um den Datensatz bei Schwierigkeiten bei der Registrierung nach dem Standardverfahren nutzen zu können. Anschließend erfolgte eine optische Abdrucknahme (Cerec, Sirona)

For the fabrication of a surgical guide, not only the coordinates of the desired implant axes – which are determined by the radiological data – are necessary, but also the surface contours of the remaining teeth and the edentulous area. This structure could not be generated from the cone-beam dataset because especially in patients bearing prostheses, metal artifacts or the different appearance of filling materials create a high level of noise.¹³ Furthermore, the resolution of a cone-beam CT dataset shows tolerances between 100 and 200 μm , which would lead to additional error in the application of the surgical guide.¹⁴ For the reproduction of the surface structure, it is necessary that the dentist take an impression and the lab technician fabricate a model, which, depending on the structure of the office, also requires further logistic steps.¹⁵ The CAD/CAM-based manufacturing process requires additional and digital reproduction of the surface structure, which could be realized by an optical impression.¹⁶ This would eliminate the need for shipping plaster models, because scanning the tooth structures creates a highly precise optical impression or digital model (tolerance 20 μm).

The superimposition of various data in medicine has been demonstrated by several authors.^{17–21} This enables high precision for the milling of the fixation of the surgical guide; the vectors which were generated during implant planning can be integrated into the surgical guide by an additional milling.

Materials and Methods

The treatment workflow to produce a computer numerical control (CNC) milled surgical guide (Optiguide, Sicat; Bonn, Germany) is as follows: First, a cone-beam CT (Galileos, Sirona; Bensheim, Germany) is done with an opened bite, so that for the later superimposition of the data, no interference from the antagonist teeth exists. In the prototype phase, this opened bite was obtained by the fixation of the reference plate, in order to be able to use the cone-beam dataset in the standard procedure if difficulties in recording arose. Afterwards, an optical impression (Cerec, Sirona) of the edentulous jaw and of at least two neighboring teeth was done, which was used for the fixation of the surgical guide (Fig 1). The bite registration was also used to determine the vertical dimension, which was also scanned. On the basis of the optical impression, the desired prosthesis was modelled and exported in a specific data format for superimposition with the cone-beam CT (Cerec 3.8). After superimposing the surface data, the



Fig 1 Regeneration of soft tissue after loss of tooth 36.
Abb.1 Ausgeheiltes Weichgewebe nach Verlust von Zahn 36.

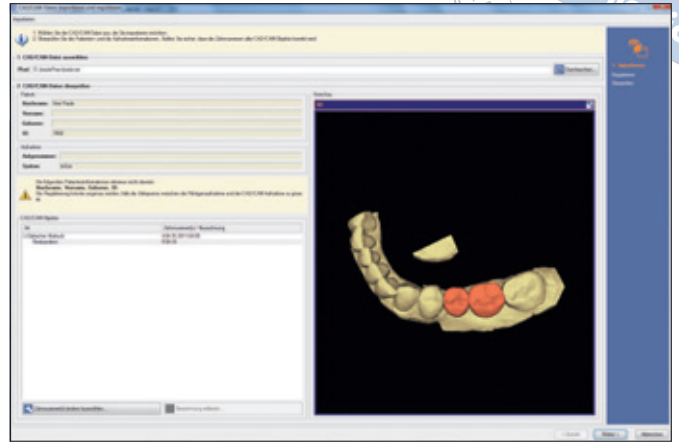


Fig 2 Import of virtual model after modification of pontic of region 35.
Abb. 2 Import des virtuellen Modells nach Radierung des Brückengliedes 35.

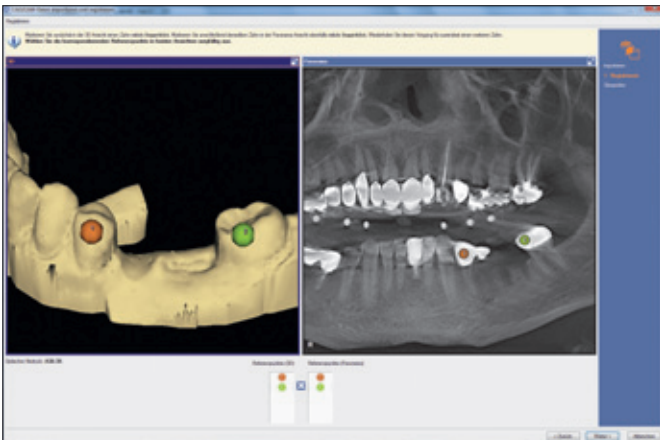


Fig 3 Marking of reference teeth for the superimposition of optical and radiological data.
Abb. 3 Markierung der Referenzzähne zur Überlagerung des optischen und radiologischen Datensatzes.

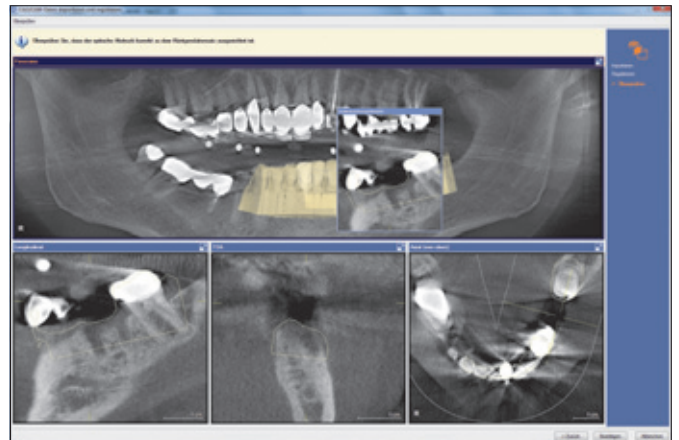


Fig 4 Double check of superimposed datasets with display of soft tissue of region 36.
Abb. 4 Kontrolle der Überlagerung mit Darstellung des Weichgewebes in regio 36.

implant was planned, taking the proposed prosthesis into account (Sicat-Implant, Figs 2 to 4). After checking the implant position in the three-dimensional model, the surgical guide can be ordered (Figs 5 and 6). During this process, a dataset is generated and transferred online to the central milling center. There, the data are imported into the production software and used to numerically control a 5-axis milling unit to mill the surgical guide out of a block of acrylic (Figs 7 and 8). Using the vectors out of the planning software in the radiological dataset, various sleeve systems can be placed, which provides the option of using the surgical guides for various guided instrument

des zahnlosen Kieferabschnitts und von mindestens zwei benachbarten Zähnen zur Verankerung der Bohrschablone (Abb. 1). Mithilfe der Bissregistrierung wurde die vertikale Dimension bestimmt, die ebenfalls eingescannt wurde. Auf Basis des optischen Abdrucks wurde die angestrebte prothetische Versorgung modelliert, die in einem bestimmten Datenformat für die Überlagerung abgespeichert wurde (Cerec 3.8). Das Implantat wurde nach Überlagerung der Oberflächendaten unter Berücksichtigung des Prothetikvorschlages geplant (Sicat-Implant, Abb. 2 bis 4). Die Schablone kann nach der Überprüfung der Implantatposition im dreidimensionalen Modell bestellt werden (Abb. 5 und 6).

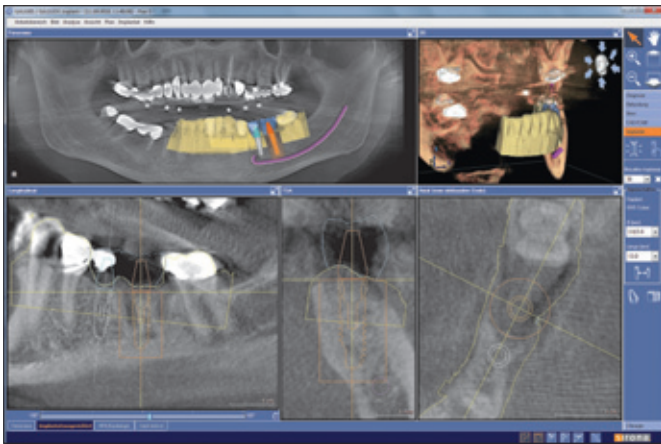


Fig 5 Planning of implant positions according to proposed prosthetic result.
Abb. 5 Planung der Implantatpositionen unter Berücksichtigung des angestrebten prothetischen Ergebnisses.

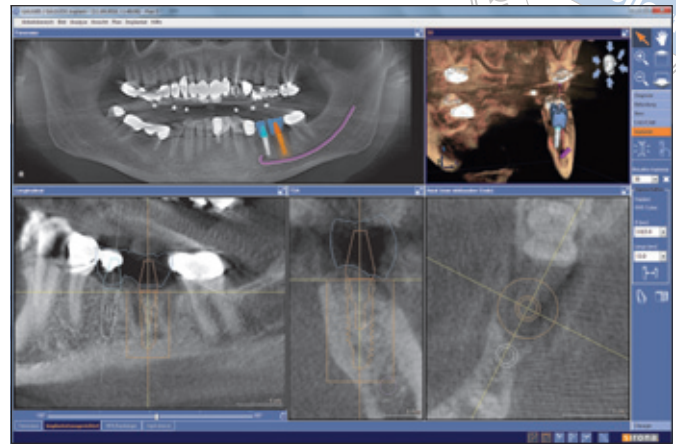


Fig 6 Final alignment of implants with simulation of implant abutments in the prosthetic result.
Abb. 6 Finale Ausrichtung der Implantate mit Simulation der Implantataufbauten in der vorgesehenen prothetischen Versorgung.



Fig 7 Design basis for the digital manufacture of the surgical guide.
Abb. 7 Designgrundlage für die digitale Rekonstruktion der Bohrschablone.

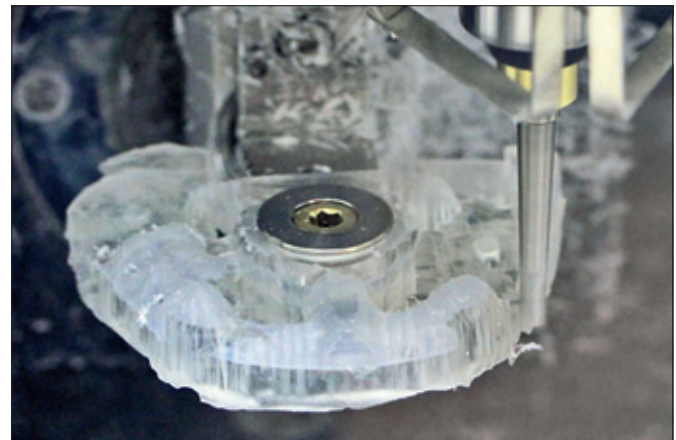


Fig 8 Manufacturing of surgical guide by CNC milling center.
Abb. 8 Herstellung der Bohrschablone mittels CNC-gesteuertem Fräszentrum.

Der dabei erzeugte Datensatz wird online an das zentrale Fertigungszentrum gesendet. Dort liest man die Daten in das Fertigungsprogramm ein und steuert eine Fünf-Achsen-Fräsmaschine an, damit die Schablone aus einem Kunststoffblock gefräst werden kann (Abb. 7 und 8). Über die Vektoren aus der Implantatplanung können im radiologischen Datensatz unterschiedliche Hülsensysteme platziert werden. Bohrschablonen können daher für unterschiedlich geführte Instrumenten- und Implantatsysteme angeboten werden. Die abschließende Qualitätskontrolle überprüft die Achsen der Bohrschablone. Abschließend wird sie an die Praxis für die Implantatoperation per Paketdienst

and implant systems. After the final quality control with the evaluation of the accuracy of the axes of the surgical guide, the surgical guide is shipped to the dental office (Fig 9). During the evaluation period, an additional surgical guide (Classicguide, Sicat) produced by the registration plate, in order to optically check the accuracy of the milled guide.

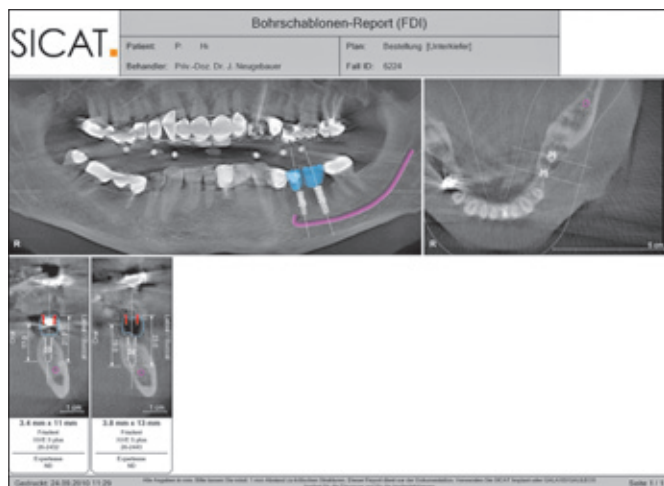


Fig 9 Planning report with documentation of metrical data for the use of a guided implant-bed preparation.

Abb. 9 Bohrschablonenreport mit Angabe der metrischen Dimensionen für die Anwendung einer geführten Implantatbettvorbereitung.



Fig 10 Basal view of direct milled guide.

Abb. 10 Basalfläche der direkt gefrästen Schablone.



Fig 11 Placement of surgical guide on neighboring teeth.

Abb. 11 Positionierung der Bohrschablone auf den Nachbarzähnen.

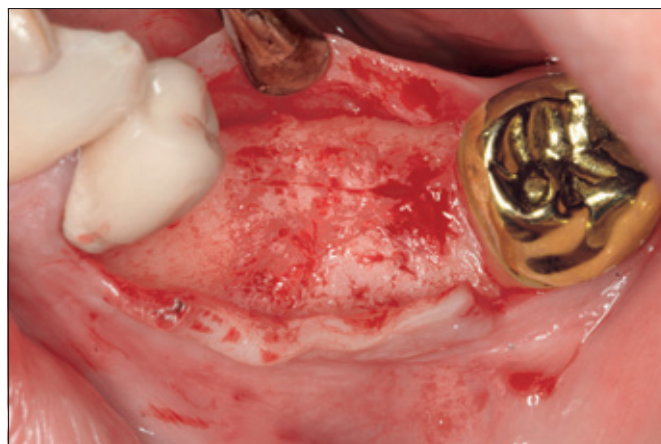


Fig 12 Transgingival implant insertion not performed due to diagnosed limited bone volume.

Abb. 12 Verzicht auf transgingivale Implantatinsertion bei zuvor diagnostiziertem geringen Knochendefekt.

Results

During consecutive use in pilot cases, the workflow and the handling of these surgical guides were evaluated on 10 patients (Tab 1). A total of 25 implants were placed: 7 patients received surgical guides with 2 mm pilot sleeves, one patient received master sleeves for the Camlog guide, and two patients were given master sleeves for XiVE-ExpertEase. All surgical guides were definitively positioned on the supporting teeth. No tipping or movements could

gesandt (Abb. 9). Im Rahmen der Evaluierungsphase wurde zusätzlich eine Bohrschablone (Classicguide, Sicat) über die Registrierungsplatte hergestellt, um die Genauigkeit der gefrästen Schablone optisch überprüfen zu können.

Ergebnisse

Im Rahmen einer konsekutiven Anwendung von Pilotfällen wurden der Arbeitsablauf und die Anwendbarkeit dieser

Table 1 Workflow and handling of the surgical guides were evaluated on 10 patients
Tab. 1 Einsatz der verschiedenen Implantatsysteme bei zehn verschiedenen Patienten.

| Patient / Patient | Indication / Indikation | Position / Position | Sleeve design / Bohrhülse | Implant system / Implantatsystem |
|-------------------|---|------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| HP | Limited bone volume, proximity to nerve / geringes Knochenangebot, Nervnähe | 35, 36 | ExpertEase | XiVE |
| GJ | Retromolar block graft / Zustand nach Knochenblock | 43 | 2 mm | XiVE |
| TK | Hip graft / Zustand nach Beckenkamm | 14, 15, 17, 26, 27 | 2 mm | XiVE |
| DO | Limited bone volume, proximity to nerve / geringes Knochenangebot, Nervnähe | 46 | Camlog Guide | Conelog |
| CP | Retromolar block graft / Zustand nach Knochenblock | 21, 22 | 2 mm | XiVE |
| GS | Immediate loading fast and tight / Sofortimplantation schnell und fest | 15, 13, 11, 21, 23, 25 | 2 mm | Blue Sky |
| SM | Limited bone volume, proximity to nerve / geringes Knochenangebot, Nervnähe | 46, 44 | 2 mm | Blue Sky |
| RM | Retromolar block graft / Zustand nach Knochenblock | 21, 23 | 2 mm | XiVE |
| BW | Retromolar block graft / Zustand nach Knochenblock | 15 | ExpertEase | XiVE |
| SD | Limited bone volume, proximity to sinus and nose / geringes Knochenangebot, Nähe Kieferhöhle/Nase | 23, 24, 25 | 2 mm | Bicon |

Bicon: Bicon, Boston; Blue Sky: Bredent, Senden; Conelog: Camlog, Basel; XiVE: Friadent, Mannheim

Schablonen an zehn Patienten untersucht (Tab. 1). Dabei wurden insgesamt 25 Implantate eingesetzt, wobei sieben Patienten eine Schablone mit 2 mm messenden Führungshülsen erhielten. Eine Patientin bekam die Führungshülse für den Camlogguide und zwei Patienten für die XiVE-ExpertEase. Alle gefrästen Schablonen konnten auf den abstützenden Zähnen eindeutig positioniert werden. Eine Kippbewegung oder Schaukeln konnte der Operateur nicht feststellen, auch nicht im Vergleich zur konventionell hergestellten Schablone (Abb. 10 bis 12). Nach der Pilot- und der finalen Bohrung bei den geführten Bohrschablonen, wurde die gefräste Schablone positioniert und mit dem jeweiligen Bohrer die Kavität geprüft. In alle Kavitäten konnte das entsprechende Messimplantat, oder je nach System der Bohrer, in beide Schablonen drucklos eingesetzt werden (Abb. 13 bis 18).

Die mithilfe eines Oberflächenscans hergestellte Schablone ermöglicht demnach klinisch die gleiche Positionierung einer Implantatbettauflbereitung, wie eine konventionell hergestellte Schablone mit einem klassischen

be detected, not even in comparison to the conventionally produced surgical guides during surgery (Figs 10 to 12). After the pilot- and the final drilling for the guided drilling templates (surgical guides), the milled surgical guide was placed and the corresponding drill was used to double-check the cavity. In all cavities, the corresponding gauged implants or, depending on the system, the drill could be easily inserted into both surgical guides without using force (Figs 13 to 18). This shows that a surgical guide which is produced from the data of the surface scan clinically enables the same positioning of the implant-bed preparation as a conventionally manufactured guide from a classical impression, or the direct fixation of the reference plate with bite registration material.

Discussion

The possibility for merging the optical data with cone-beam CT data allows the precise fabrication of surgical guides. This



Fig 13 Guided implant-bed preparation (XiVE ExpertEase) with 2-mm pilot drill.
Abb. 13 Geführte Implantatbettaufrichtung (XiVE ExpertEase) mit 2-mm-Vorbohrer.

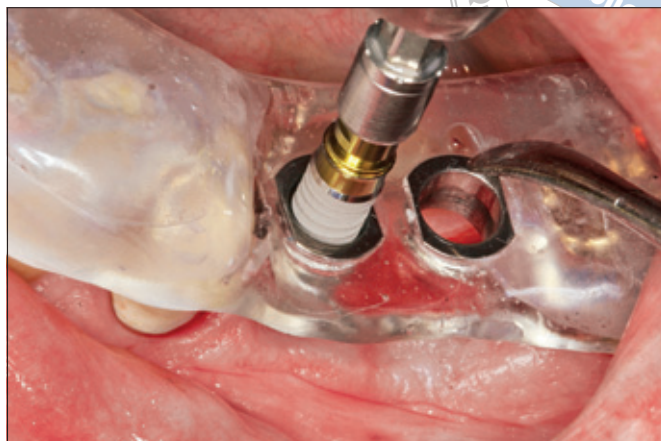


Fig 14 Guided implant placement for implant position 35.
Abb. 14 Geführte Implantatinsertion über Bohrschablonen für Implantat 35.



Fig 15 Grafting with harvested bone chips.
Abb. 15 Augmentation mit gesammelten Knochenspänen.



Fig 16 Impression taking by referring dentist.
Abb. 16 Abdrucknahme durch den überweisenen Hauszahnarzt.



Fig 17 Prosthetic result three months after crown delivery.
Abb. 17 Prothetische Endversorgung drei Monate nach Eingliederung.

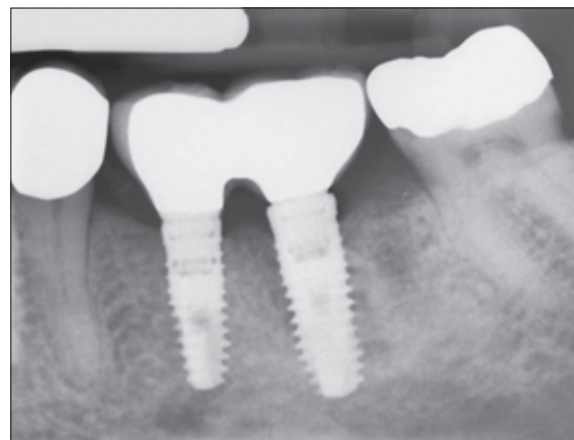


Fig 18 Radiological control of splinted crowns.
Abb. 18 Radiologische Kontrolle der verblockten Kronen.

Abdruck oder der direkten Fixierung der Referenzplatte mit Bissregistrierungsmaterial.

Diskussion

Die mögliche Überlagerung von optischen Daten mit Röntgendaten erlaubt die präzise Herstellung von Bohrschablonen. Dies wurde bereits zur Simulation von prothetischen Planungsdaten genutzt.^{17,18} Der direkte Datentransfer ermöglicht einen optimierten Arbeitsablauf, da der finanzielle und logistische Aufwand wegfällt, die Planungsunterlagen an die zentrale Fertigung übersenden zu müssen. Nach der Übertragung der Produktionsdaten können diese in dem zentralen Labor direkt verarbeitet werden, sodass lediglich die fertige Schablone versendet werden muss.

Die Überprüfung der Präzision erfolgte durch Messimplantate oder Bohrer, die in den Hülsensystemen mit einer Abweichung von ca. 0,1 mm angewendet werden.²² In allen Fällen konnten die Messstifte drucklos eingesetzt werden. Man kann daher davon ausgehen, dass die Genauigkeit der konventionellen Bohrschablone maximal 0,15 mm von der, der direkt gefrästen Bohrschablone abweicht. Diese Abweichung liegt im normalen Toleranzbereich der Prozesskette, wie es schon in In-vitro-Studien gezeigt werden konnte.²³ Die direkte Herstellung von Bohrschablonen mithilfe von Oberflächenscans ist eine logische Weiterentwicklung dieses Verfahrens, indem das prothetische Wax-up nicht mehr durch den Zahntechniker, sondern digital mithilfe einer CAD/CAM-Software erfolgt.^{17,18} Dies ist somit ein weiterer Schritt in der Nutzung der digitalen Technologien zur Optimierung des Behandlungsablaufs.

Einem Kritikpunkt bei der Anwendung von dreidimensional geführten Bohrschablonen – ein erhöhter finanzieller Aufwand durch die zahntechnische Vorbereitung und die Logistikkosten – kann damit widersprochen werden.⁸ Die Technologie ist weniger anfällig für produktionsbedingte metrische Abweichungen⁹ und erhöht somit die Reliabilität der modernen CAD/CAM-gestützten Verfahren. Diese werden in der chirurgisch-orientierten Behandlung von Patienten zur Eingliederung von Zahnersatz eingesetzt, der dann aufgrund der vorliegenden Daten auch durch CAD/CAM-Verfahren rationell hergestellt werden kann.²

IJCD

has already been used for the simulation of prosthetic planning data.^{17,18} The direct file transfer allows an optimization of the workflow, since the cost and logistics of shipping the planning documents and materials to the central manufacturing site is omitted. After the transfer of the production data, these can be processed directly in the central laboratory, so that only the final surgical guide must be shipped. The evaluation of the position was done with gauged implants or drills which were fixated in the sleeve systems with a play of about 0.1 mm.²² In all cases, a tension-free placement of the measurement devices showed that a deviation of the accuracy between the conventional surgical guide and the directly milled surgical guide of less than 0.15 mm is expected. This deviation lies within the normal tolerance range of the standard process chain, which was also shown by in vitro studies.²³ The direct fabrication of surgical guides by the use of surface scans is one more logical step in the development of this method, where the prosthetic wax-up is no longer manually done by the lab technician but rather digitally by the CAD/CAM software.^{17,18} This is a further step for utilizing digital technologies to optimize the treatment workflow.

Thus, criticism that 3D-based surgical guides involve greater preparation expenses by the lab technician and higher logistic costs can be refuted.⁸ Because these technologies are less prone to production-related metric deviations,⁹ they increase the reliability of modern CAD/CAM-based procedures. They are applied in the treatment of patients to surgically insert dental restorations (implants), which in turn can also be cost-effectively produced using the available data in CAD/CAM procedures.²

IJCD

References

1. Ganz SD. Restoratively driven implant dentistry utilizing advanced software and CBCT: realistic abutments and virtual teeth. *Dentistry today* 2008;27:126–127.
2. Neugebauer J, Stachulla G, Ritter L, Dreiseidler T, Mischkowski RA, Keeve E et al. Computer-aided manufacturing technologies for guided implant placement. *Expert Rev Med Devices* 2010;7:113–129.
3. Vercruyssen M, Jacobs R, Van Assche N, van Steenberghe D. The use of CT scan based planning for oral rehabilitation by means of implants and its transfer to the surgical field: a critical review on accuracy. *J Oral Rehabil* 2008;35:454–474.
4. Angelopoulos C, Aghaloo T. Imaging technology in implant diagnosis. *Dental clinics of North America* 2011;55:141–158.
5. Nickenig HJ, Wichmann M, Hamel J, Schlegel KA, Eitner S. Evaluation of the difference in accuracy between implant placement by virtual planning data and surgical guide templates versus the conventional free-hand method - a combined in vivo - in vitro technique using cone-beam CT (Part II). *Journal of craniomaxillo-facial surgery : official publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery* 2010;38:488–493.
6. Nickenig HJ, Eitner S. Reliability of implant placement after virtual planning of implant positions using cone beam CT data and surgical (guide) templates. *J Craniomaxillofac Surg* 2007;35:207–211.
7. Stein W, Hassfeld S, Brief J, Bertovic I, Krempin R, Mühling J. CT-based 3D-planning for dental implantology. *Stud Health Technol Inform* 1998;50:137–143.
8. Tardieu PB, Vrielinck L, Escolano E, Henne M, Tardieu AL. Computer-assisted implant placement: scan template, simplant, surgiguide, and SAFE system. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2007;27:141–149.
9. Kalt G, Gehrke P. Transfer precision of three-dimensional implant planning with CT assisted offline navigation. *Int J Comput Dent* 2008;11:213–225.
10. Ganz SD. Computer-aided design/computer-aided manufacturing applications using CT and cone beam CT scanning technology. *Dental clinics of North America* 2008;52:777–808.
11. Mischkowski RA, Zinser MJ, Neugebauer J, Kubler AC, Zoller JE. Comparison of static and dynamic computer-assisted guidance methods in implantology. *International journal of computerized dentistry* 2006;9:23–35.
12. Ewers R, Schicho K, Wagner A, Undt G, Seemann R, Figl M et al. Seven years of clinical experience with teleconsultation in craniomaxillofacial surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 2005;63:1447–1454.
13. Draenert FG, Coppentrath E, Herzog P, Muller S, Mueller-Lisse UG. Beam hardening artefacts occur in dental implant scans with the NewTom cone beam CT but not with the dental 4-row multidetector CT. *Dento maxillo facial radiology* 2007;36:198–203.
14. Mischkowski RA, Pulsfort R, Ritter L, Neugebauer J, Brochhagen HG, Keeve E et al. Geometric accuracy of a newly developed cone-beam device for maxillofacial imaging. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007;104:551–559.
15. Neugebauer J, Ritter L, Mischkowski R, Zöller JE. Three-dimensional diagnostics, planning and implementation in implantology. *Int J Comput Dent* 2006;9:307–319.
16. Pieper R. Digital impressions--easier than ever. *Int J Comput Dent* 2009;12:47–52.
17. Bindl A, Ritter L, Mehl A. Digital 3-D implant planning: Cerec meets Galileos. *Int J Comput Dent* 2010;13:221–231.
18. Ritter L, Neugebauer J, Dreiseidler T, Rothamel D, Cizek J, Karapetian VE, Mischkowski RA et al. 3D X-ray meets CAD/CAM dentistry: a novel procedure for virtual dental implant planning. *Int J Comput Dent* 2009;12:29–40.
19. Plooiij JM, Maal TJ, Haers P, Borstlap WA, Kuijpers-Jagtman AM, Berge SJ. Digital three-dimensional image fusion processes for planning and evaluating orthodontics and orthognathic surgery. A systematic review. *International journal of oral and maxillofacial surgery* 2010;40(4):341–352.
20. Zaidi H, Montandon ML, Alavi A. The clinical role of fusion imaging using PET, CT, and MR imaging. *Magnetic resonance imaging clinics of North America* 2010;18:133–149.
21. Schillaci O, Simonetti G. Fusion imaging in nuclear medicine--applications of dual-modality systems in oncology. *Cancer biotherapy & radiopharmaceuticals* 2004;19:1–10.
22. Van Assche N, Quirynen M. Tolerance within a surgical guide. *Clinical oral implants research* 2010;21:455–458.
23. Dreiseidler T, Neugebauer J, Ritter L, Lingohr T, Rothamel D, Mischkowski RA et al. Accuracy of a newly developed integrated system for dental implant planning. *Clin Oral Implants Res* 2009;20:1191–1199.



Address/Adresse: Priv.-Doz. Dr. Jörg Neugebauer, Zahnärztliche Gemeinschaftspraxis, Von-Kühlmann-Str. 1, 86899 Landsberg am Lech, Tel.: 08191 947666-0, Fax: 08191 947666-95, E-Mail: neugebauer@implantate-landsberg.de und Interdisziplinäre Poliklinik für Orale Chirurgie und Implantologie, Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie der Universität zu Köln

Priv.-Doz. Dr. Jörg Neugebauer

Studium der Zahnheilkunde Universität Heidelberg, mehrjährige Tätigkeit in der Dentalindustrie, zuletzt Leiter R&D Implantologie, Weiterbildung Fachzahnarzt für Oralchirurgie, dann Oberarzt an der Interdisziplinären Poliklinik für Orale Chirurgie und Implantologie der Universität zu Köln, Direktor Prof. Dr. Dr. J.E. Zöller. Seit August 2010 Praxis für Zahnheilkunde Dres Bayer, Kistler Elbertzhagen und Kollegen, Landsberg am Lech und weitere Lehr- und Forschungstätigkeit, Universität Köln

Forschungsschwerpunkte: Verlässlichkeit der Implantattherapie, antimikrobielle Photodynamische Therapie, Digitale Volumetomografie, Keramikimplantate

Assistant Professor Jörg Neugebauer

Dental degree University of Heidelberg, worked for several years in the dental industry, final position director of R&D Implantology, specialization in oral surgery, then senior surgeon at the Interdisciplinary Outpatient Department for Oral Surgery and Implantology at Cologne University, Germany.

Since August 2010: private dental clinic Drs. Bayer, Kistler Elbertzhagen and Colleagues, Landsberg am Lech, and further teaching and research work at the University of Cologne.

Research focus: Reliability of dental implant treatment, antimicrobial photodynamic therapy, cone-beam CT, surgical guides, ceramic implants.