

Dieter Edinger¹, Thorsten Schüppstuhl²

Schablonengeführte Chirurgie: nicht mehr statisch, sondern dynamisch durch den Einsatz des Positioniergeräts Rosy

Template guided surgery: no longer static, but dynamic through using the positioning device Rosy

Warum Sie diesen Beitrag lesen sollten? / Why should you read this article?

Ein klinisch relevantes Problem besteht darin, dass Bohrschablonen bisher intraoperativ nicht angepasst werden konnten. Dies wird mit dem hier vorgestellten System möglich. / A clinically relevant problem is that, previously, guidance templates could not be adjusted during the operation. This is now possible with the system presented here.

Einleitung: Bisherige Bohrschablonensysteme besitzen den Nachteil, dass eine intraoperative Korrektur der Bohrposition nicht kontrolliert möglich ist. Eine Röntgenaufnahme zeigt bei geringerer Knochendichte nur ungenau den Verlauf der Knochenoberfläche. Dies führt nicht selten zu der Situation, dass man die Bohrschablone nicht benutzen kann.

Material und Methode: Nach Freilegung des Knochens wird mittels einer Markierungsvorrichtung, bestehend aus einem an der Bohrschablone befestigten Markierungsstift, alternativ mittels eines Oberflächenscans, die tatsächliche Knochenoberfläche als Ausgangsposition verwendet. Die Bohrschablone wird in das Positioniergerät eingesetzt, das Positioniergerät auf die markierte Stelle eingestellt und diese Position mit dem überlagerten DVT abgestimmt. Nach Verschluss der alten Aufnahmebohrung wird mit dem Bohrgerät des Positioniergeräts eine korrigierte Aufnahmebohrung in der Bohrschablone hergestellt. Sämtliche Einstellungen werden auf einem iPad durchgeführt, was die Hygienefähigkeit verbessert.

Ergebnisse: Die Korrektur einer Bohrschablone ist während der Operation in einer angemessenen Zeit möglich.

Schlussfolgerung: Das hier vorgestellte System verschafft in komplexen Situationen Abhilfe, indem während der Operation eine kontrollierte Korrektur einer Bohrschablone erfolgen kann.

Schlüsselwörter: Implantat; Navigation; Führungsschablone; Rosy; CAD/CAM; Rehabilitation; iPad

Introduction: Previous template guided systems have the disadvantage that it is not possible to make a controlled intraoperative correction of the drilling position. Sometimes the radiograph shows only imprecisely the surface of bone with lower density. This leads to the fact that one cannot use the guidance template.

Material and methods: After exposure of the bone, by means of a marker pin attached to the guidance template the actual bone surface is indicated. The guidance template is removed from the mouth and inserted in the positioning device Rosy. The implant pointer of the positioning device is then guided through an iPad to the point marked by the pin. This preliminary implant position is then corrected through the superimposed CBCT. A corrected final guidance hole is bored in the template with the drill of the positioning device. All the settings are performed via an iPad, which improves the hygiene potential.

Results: The correction of a guidance template is possible within an acceptable time during the operation.

Conclusion: The system presented here helps in complex situations by providing controlled correction of the guidance template during the operation.

Keywords: implant; navigation; guidance template; Rosy; CAD/CAM; guided surgery; iPad

¹ Privatpraxis für Zahnheilkunde, Hamburg

² Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH)
Übersetzung: LinguaDent

¹ Private practice, Hamburg

² Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH)

Zitierweise: Edinger D, Schüppstuhl T: Schablonengeführte Chirurgie: nicht mehr statisch sondern dynamisch mittels des Positioniergeräts Rosy. *Z Zahnärztl Implantol* 2016; 32: 130–138

DOI 10.3238/ZZI.2016.0130–0138

Einleitung

In den letzten Jahren wurden verschiedene Systeme zur schablonengeführten Insertion von Implantaten eingeführt. Im vorliegenden Artikel wird zwischen zwei Varianten unterschieden: **Computergeführte (statische) Implantation:** Die Verwendung einer statischen Bohrschablone, die die virtuelle Implantatposition unmittelbar aus digitalen Röntgentomografie-Daten überträgt und keine intraoperative Modifikation der Implantatposition zulässt, und

Computernavigierte (dynamische) Implantation: Die Verwendung eines chirurgischen Navigationssystems, das die virtuelle Implantatposition unmittelbar aus digitalen Röntgentomografie-Daten übernimmt und intraoperative Veränderungen der Implantatposition zulässt [11]

Die Genauigkeit der verschiedenen Systeme hat sich als klinisch ausreichend erwiesen, so dass eine Anwendung sogar unter ungünstigen Bedingungen, wie etwa geringem Restknochenvolumen, möglich ist [1, 2, 8, 10, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 22, 23].

Allerdings haben alle bisherigen schablonengeführten Implantationssysteme den Nachteil, dass eine kontrollierte intraoperative Korrektur der Position oder Ausrichtung der Bohrung nicht möglich ist. Bei Knochen mit geringerer Dichte zeigt eine Röntgenaufnahme die Oberfläche nur ungenau [3, 9, 15, 20]. Das führt oft dazu, dass sich die Bohrschablone nicht verwenden lässt – vor allem im Oberkiefer. Als Beispiel für ein schablonengeführtes System demonstriert Edinger das Vorgehen zur Herstellung einer Bohrschablone mit einem Positionierungsgerät [4, 6].

Ein weiteres Beispiel für ein computergeführtes System ist das SMOP Swissmeda Verfahren [21]. In ein DVT wird die gescannte Oberfläche des geplanten Zahnersatzes eingeblendet. Auf der Grundlage dieser Daten wird die Schablone virtuell geplant und mittels 3D-Druck hergestellt. Diese Methode vereinfacht den Ar-



Abbildung 1 Prothetische Ausrichtung der Implantate auf der Schablone

Figure 1 Prosthetic alignment of the implants on the template

Cite as: Edinger D, Schüppstuhl T: Template Guided Surgery: no longer static, but dynamic through using the positioning device Rosy. *Z Zahnärztl Implantol* 2016; 32: 130–138

DOI 10.3238/ZZI.2016.0130–0138

Introduction

Recently, various systems for computer-guided implant placement have been initiated. A distinction is made here between *computer-guided (static) surgery*: The use of a static surgical template that reproduces the virtual implant position directly from computerized tomographic data and does not allow for intraoperative modification of the implant position; and *computer-navigated (dynamic) surgery*: The use of a surgical navigation system that reproduces the virtual implant position directly from computerized tomographic data and allows for intraoperative changes in the implant position [11].

The accuracy of the various systems has been proven to be clinically sufficient so that even under adverse conditions such as low remaining bone matter an application is possible [1, 2, 8, 10, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 22, 23].

However, all computer-guided (static) surgery systems have the disadvantage that a controlled intraoperative correction of the drilling position or direction is not possible. A radiograph shows only imprecisely the surface on bone with lower density [3, 9, 15, 20]. This often leads to the situation that one cannot use the template – especially in the maxilla.

As an example of a computer guided system, Edinger demonstrates the procedure for the preparation of a guidance template using a positioning device [4, 6].

A further example of a computer guided system is the SMOP Swissmeda process [21]. A CBCT is matched with the scanned surface of the planned prosthetic. Based on these data, a guidance template is planned virtually and produced through 3D printing. This method simplifies the workflow. However, in this instance as well, the guidance template is static, i.e. an intraoperative adjustment to unforeseeable variations of the bone surface is not possible.



Abbildung 2 Steuerung von Rosy mit einem iPad

Figure 2 Control of Rosy with an iPad

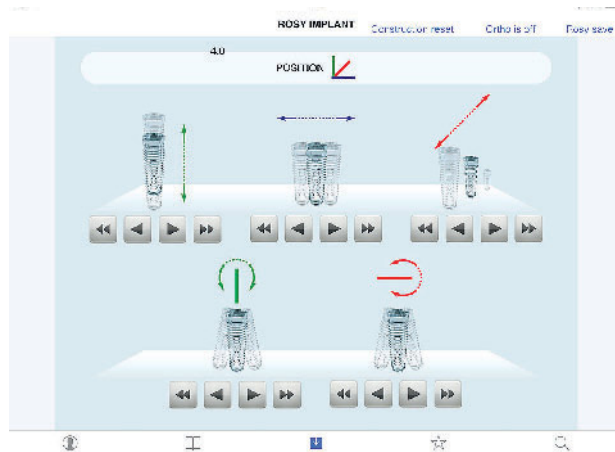


Abbildung 3 iPad-Bildschirm zur prothetischen Ausrichtung der Implantate

Figure 3 iPad screen for prosthetic alignment of the implants

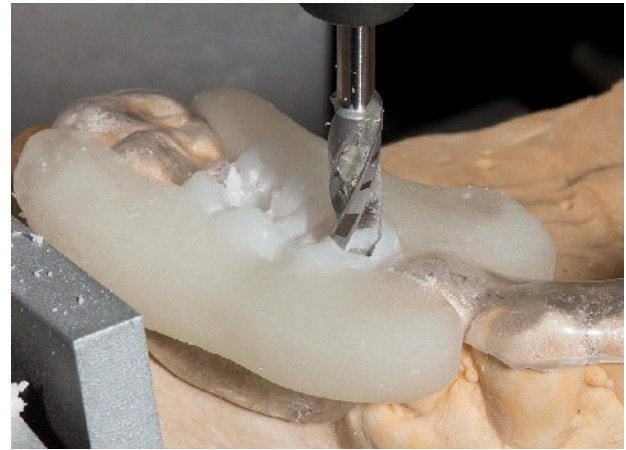


Abbildung 4 Bohrung für Titanhülse

Figure 4 Hole for titanium sleeve



Abbildung 5 Eingesetzte Titanhülsen

Figure 5 Inserted titanium sleeves

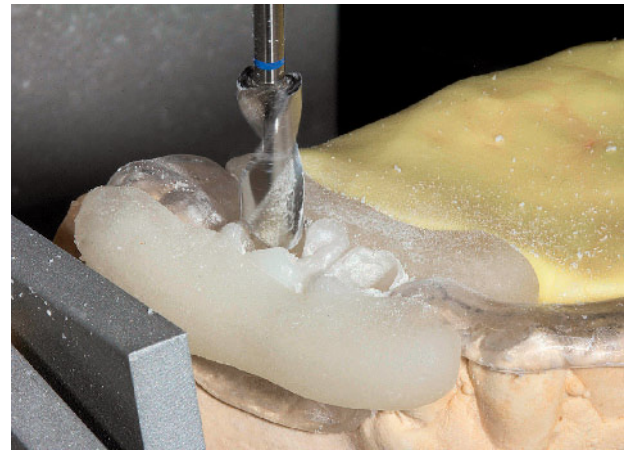


Abbildung 6 Bohrung der Bohrschablone

Figure 6 Drilling of the guidance template

beitsablauf. Allerdings ist auch in diesem Fall die Bohrschablone statisch, d.h., eine intraoperative Anpassung an unvorhersehbare Variationen der Knochenoberfläche ist nicht möglich. Aufgrund seiner intraoperativen Flexibilität weist das Verfahren der computernavigierten (dynamischen) Implantation deutliche Vorteile während des Eingriffs auf, denn es sind Anpassungen an unvorhergesehene anatomische Umstände möglich [5, 7]. Allerdings haben sich solche Systeme als zu kostspielig und kompliziert für eine Anwendung in der Implantologie erwiesen.

In der vorliegenden Arbeit wird ein Verfahren vorgestellt, mit dem – trotz solcher Umstände – eine Anpassung der Bohrschablone möglich ist.

Material und Methode

Zur Vorbereitung der Implantation wird zunächst eine Kunststoff-Bohrschablone angefertigt. Diesem Kunststoff wird jedoch ein röntgensichtbares Material hinzugefügt, so dass die Schablone auf einer Röntgenaufnahme erkennbar ist. Die Bohrschablone wird in einem Artikulator angefertigt, auf der

The technology of computer-navigated (dynamic) surgery, because of intraoperative flexibility, shows significant advantages during surgery, since adjustments to unforeseen anatomical characteristics are possible [5, 7]. However, these systems have proven to be too expensive and complicated to find application in implantology.

In this paper, a method is presented in which, despite such circumstances, an adaptation of the template is possible.

Material and Method

To prepare for implantation, first an acrylic guidance template is manufactured; however, a radiopaque material is added to this acrylic so that the template can be identified on a radiograph. This guidance template is made in an articulator based

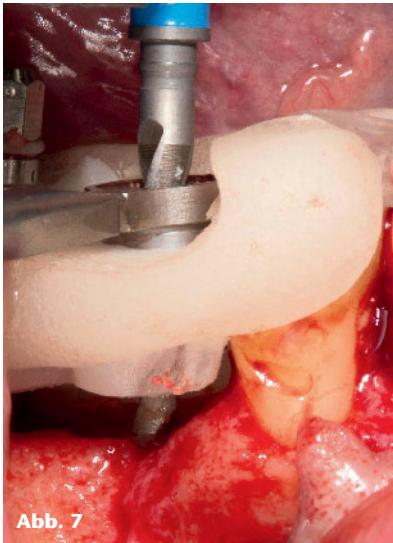


Abbildung 7 Geplante Bohrung für 44 liegt zu weit bukkal.

Figure 7 Initially planned guidance hole for 44 is too far buccal.

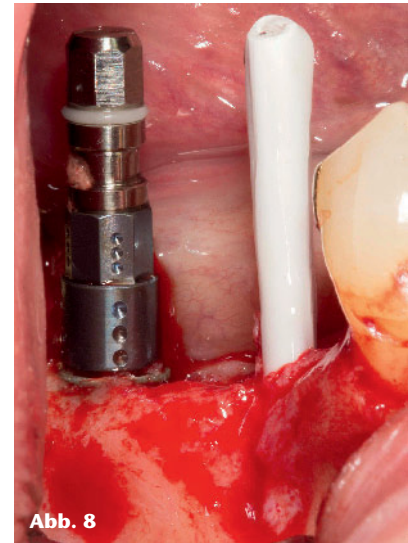


Abbildung 8 Markierungsstift an korrigierter Stelle

Figure 8 Marking pin at corrected point



Abbildung 9 Schablone mit Markierungsstift an korrigierter Stelle

Figure 9 Template with marker pin in corrected position



Abbildung 10 Schablone nach Herausziehen des Markierungsstifts

Figure 10 Template with marker pin withdrawn

Grundlage eines Gipsmodells des Kiefers, in dem die Insertion der Implantate geplant ist. Den röntgensichtbaren Kunststoffzähnen wird die gleiche Form gegeben, die später die implantatgetragenen Kronen haben sollen.

Um zu erkennen, wo eine Bohrung für die Implantation stattfinden muss, wird das Positionierungsgerät Rosy (ROboter-SYstem) verwendet – ein Gerät zur Anpassung der Bohrschablone mithilfe von Schrittmotoren.

Die Schablone wird mithilfe des vorhandenen Gipsmodells in dieses Positionierungsgerät eingesetzt. Sie kann darin – räumlich definiert – mithilfe von 5 Schrittmotoren korrigiert werden. Drei Schrittmotoren sind auf Schlitten montiert, zwei weitere Schrittmotoren befinden sich an der Kardanaufhängung. Die gewünschte prothetische Implantatposition wird nun in Rosy durch Einstellung der Schrittmotoren aufgesucht; dies wird durch einen Indikatorstift oberhalb des Modells angezeigt (Abb. 1). Diese Schrittmotoren werden mittels eines angeschlossenen Tablet-Computers gesteuert (Abb. 2). Die Position wird in der Datenbank des Tablets gespeichert (Abb. 3). Nun wird eine Spindel am oberen Schlitten des Positionierungsgeräts montiert. In diese Spindel wird ein Bohrer eingespannt,

on the plaster model of the jaw into which the implants are planned. The radiopaque acrylic teeth are made in the same form the implant crowns will have later.

In order to recognize where drilling for implantation must take place, the positioning device Rosy (ROboter SYstem) is used – a device for adjusting the guidance template by means of stepper motors. The template is set in place using the existing plaster model in this positioning device, in which it can be adjusted – spatially defined – by five stepper motors. Three stepper motors are located on three carriages, a further two stepper motors are at the cardan suspension.

The desired prosthetic implant position is now sought in Rosy by adjusting the stepper motors. This is indicated by a pointer located above the model (fig. 1). These stepper motors are controlled through a connected tablet (fig. 2). The position is stored in the tablet database (fig. 3). Now a spindle is connected to the upper carriage of the positioning device. In this spindle a drill bit is clamped, the diameter of which is chosen such that a hole drilled into the template can take a titanium sleeve (fig. 4). This sleeve is easily recognizable in the radiograph (fig. 5).

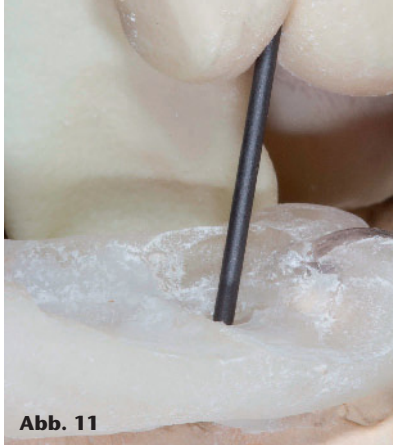


Abb. 11

Abbildung 11 Markierung der korrigierten Position durch freiliegende Öffnung
Figure 11 Marking the corrected position through exposed opening

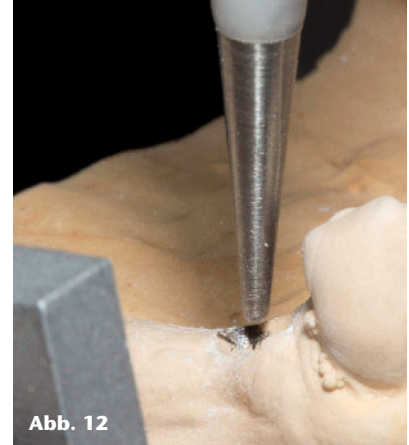


Abb. 12

Abbildung 12 Ausrichtung des Positioniergeräts auf korrigierte Stelle
Figure 12 Alignment of the positioning device on corrected spot

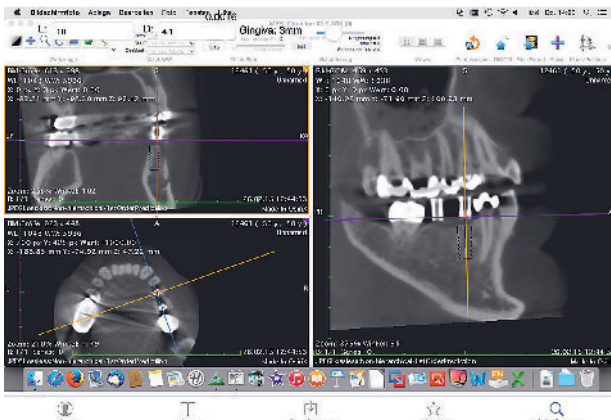


Abbildung 13 Korrektur der neuen Position im DVT
Figure 13 Correction of the new position in the CBCT



Abbildung 14 Definitive Bohrung der Schablone
Figure 14 Definitive hole in the template

dessen Durchmesser so gewählt ist, dass ein in die Schablone gebohrter Kanal eine Titanhülse aufnehmen kann (Abb. 4). Diese Hülse ist im Röntgenbild leicht erkennbar (Abb. 5).

Mit der Bohrschablone wird jetzt ein DVT angefertigt, in dem die Hülse ebenso wie der umgebende Knochen in drei senkrecht aufeinander stehenden Raumebenen sichtbar sind. Nun werden die erforderlichen Korrekturen an der Position im Sinne von Translationsbewegung und Rotation am Bildschirm durchgeführt. Gleichzeitig wird die Implantatposition korrigiert und durch die computergesteuerten Schrittmotoren angezeigt. In dieser neuen Position wird ein Führungskanal in die Schablone gebohrt (Abb. 6).

Diese Schablone (Abb. 18.1) wird nun in den Patientenmund eingesetzt und bei unproblematischer Situation kann der Operateur die erforderliche Knochenbohrung in der genau richtigen Richtung und Tiefe vornehmen. Wird aber nach Ablösen der Schleimhaut von der Knochenoberfläche festgestellt, dass die durch die Schablone definierte Implantatposition (Abb. 7) wegen der Knochenkontur nicht geeignet ist, kann folgendes unternommen werden:

Es ist wichtig, dass die folgenden Schritte in einer für den Patienten annehmbaren Zeit durchgeführt werden (nicht mehr als 15 Minuten) so dass der Eingriff nicht unterbrochen werden muss. Frühere operative Eingriffe haben gezeigt, dass dieses Verfahren innerhalb des vorgeschlagenen Zeitrahmens funktioniert. Nicht sehr komplexe Eingriffe konnten gut im empfohle-

With the template, a CBCT is now made in which the sleeves as well as the adjacent bone are visible in three perpendicular to one another planes. Now the necessary corrections to the position in terms of translatory motion and rotation are performed on the screen, and simultaneously the implant position is corrected and indicated by the computer-controlled stepper motors. In this new position, a guidance hole will be made in the template by the drill (fig. 6).

This template (fig. 18.1) is now placed in the patient's mouth, and in an error-free situation, the surgeon can perform the necessary bone drilling in exactly the right direction and depth. However, if after removal of the mucosa from the bone surface it is remarked that the implant position defined by the template (fig. 7) is not suitable due to the bone surface, then the following can be done:

It is important that the subsequent steps be performed within a time, which is reasonable for the patient, no more than 15 minutes, so that the operation does not have to be discontinued. Previous operations have shown that this method works within the suggested time limit. Operations, which were not so complex, were completed well within the suggested time limit, and even more complex operations were completed without exceeding the suggested time limit by very much. At the appropriate corrected location for implantation (fig. 18.2), a pilot hole is made in the bone with a 2 mm drill. In this pilot hole, an elastic 2 mm thick and about 20 mm long plastic pin

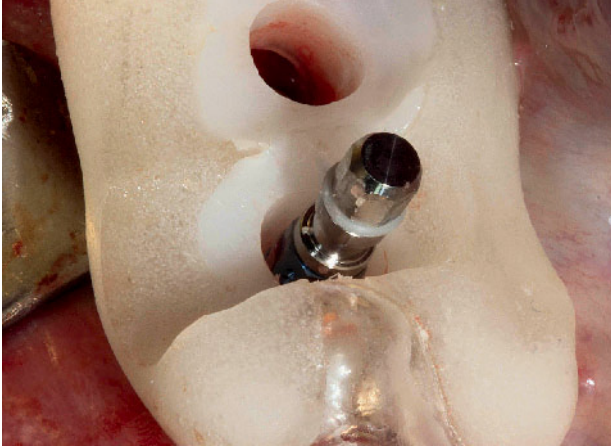


Abbildung 15 Einbringpfosten in Schablone erkennbar
Figure 15 Recognizable implant mount in template

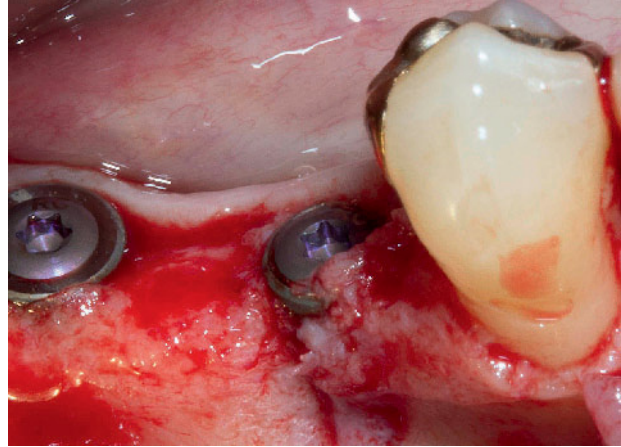


Abbildung 16 Implantat in korrekter Position
Figure 16 Implant in the correct position

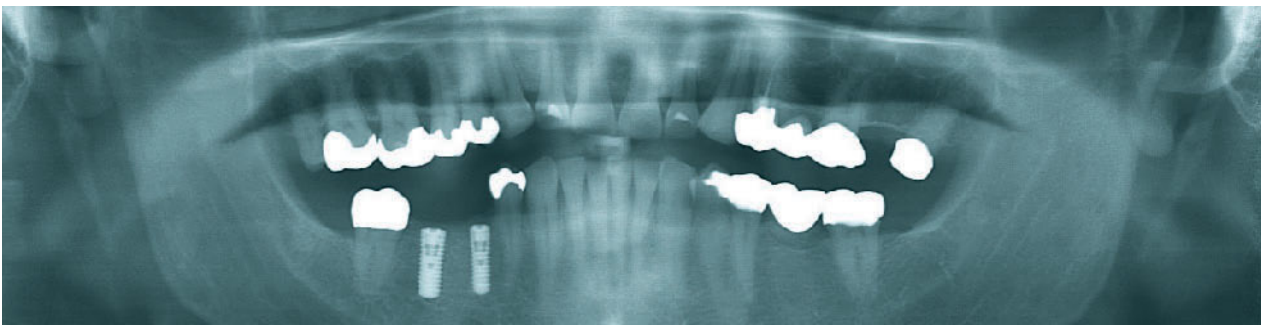


Abbildung 17 Postoperative Panoramaaufnahme
Figure 17 Postoperative panoramic radiograph

nen Zeitrahmen abgeschlossen werden, und sogar komplexere Operationen konnten vollendet werden, ohne den Zeitrahmen sehr stark zu überschreiten. An der geeigneten korrigierten Position zur Insertion (Abb. 18.2) wird mit einem Bohrer von 2 mm Durchmesser eine Pilotbohrung im Knochen angelegt. In diese Pilotbohrung wird ein elastischer Plastikstift (Abb. 18.3) von 2 mm Durchmesser und etwa 20 mm Länge eingeführt (Abb. 8). Die Schablone wird wieder in den Mund gesetzt. Wenn der Stift nicht mit der Bohrung in der Schablone fluchtet, muss der Führungskanal ggf. erweitert werden. Anschließend wird der Führungskanal in der Schablone verschlossen (Abb. 9) indem der Stift mit lichterhärtendem Kompositmaterial eingebettet wird. (Abb. 18.4, 19.1). Die Schablone wird nun aus dem Mund des Patienten herausgenommen, desinfiziert und der Plastikstift herausgezogen (Abb. 10). Die Schablone wird in das Positionierungsgerät eingesetzt und die Modelloberfläche durch die verbleibende Öffnung an der Stelle mit einer Bleistiftmine markiert, wo sich der Plastikstift befand (Abb. 11, 19.2).

Nun muss das Positionierungsgerät auf den markierten Punkt ausgerichtet werden (Abb. 12). Auf dem Tablet-Bildschirm kann nun diese neue, korrigierte Position auch im vorhandenen DVT eingestellt werden (Abb. 19.3). Schließlich ist die neue Position auch im Röntgenbild akzeptabel (Abb. 13), und ein neuer Führungskanal wird an dieser Stelle in die Schablone gebohrt (Abb. 14, 18.5, 19.4). Dieser Bohrvorgang beseitigt den 2-mm-Stiftkanal. Die Schablone wird erneut des-

(fig. 18.3) is inserted (fig. 8). The template is reinserted into the mouth. If the pin does not line up with the guidance hole, then the guidance hole may have to be expanded. After that, the guidance hole in the template is closed (fig. 9) embedding the pin with light-curing composite material (fig. 18.4, 19.1). The template is then removed from the patient's mouth, disinfected and the plastic pin pulled out (fig. 10). The template is set into the positioning device and the model surface is marked through the remaining hole where the pin was located with a pencil lead (fig. 11, 19.2). Now the positioning device has to be aligned to the spot marked (fig. 12). On the tablet screen, this new position can now be corrected on the existing CBCT (fig. 19.3). Finally the new position is also radiologically acceptable (fig. 13), and a new guidance hole is drilled at this spot in the template (fig. 14, 18.5, 19.4). This drilling process eliminates the 2 mm pinhole. The template is once again disinfected and placed in the mouth. Now the implant can be inserted in the corrected position (fig. 15, 16, 17).

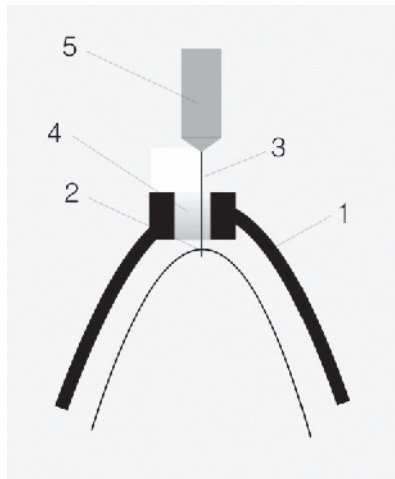


Abbildung 18 Querschnitt durch die Bohrschablone mit intraoperativem Indikator für die korrigierte Implantatposition
Figure 18 Cross-section through the guidance template with intraoperatively inserted indicator of the corrected implant position

infiziert und in den Mund eingesetzt. Nun kann das Implantat in der korrigierten Position inseriert werden (Abb. 15, 16, 17).

Diskussion

Die schablonengeführte Implantation ist statisch, d.h., die präoperativ festgelegte Implantatposition kann anschließend nicht mehr modifiziert werden. Dieser Nachteil wird durch die hier beschriebene Methode eliminiert. Allerdings ist dieser Arbeitsablauf ein sehr mechanisches Verfahren, also sehr umständlich in einem ansonsten digitalen Umfeld. Hier weist ein alternatives digitales Verfahren Vorteile auf. Dabei wird die freigelegte Knochenoberfläche mit einem Intraoralscanner aufgenommen. Der frühere Führungskanal in der Schablone wird mit Kunststoff verschlossen (Abb. 19.1), die Schablone wird desinfiziert und in das Positioniergerät eingesetzt. Die 3D-Daten aus den Knochen-Scans werden dem DVT überlagert (Abb. 19.2). Nun wird das Positioniergerät auf einen Punkt ausgerichtet, der (a) im Positioniergerät prothetisch geeignet ist, (b) passend zu der im Scan sichtbaren Knochenoberfläche ist und (c) im DVT geeignet zur Insertion ist (Abb. 19.3).

An dieser Stelle wird in der Schablone ein neuer Führungskanal gebohrt (Abb. 19.4), die Schablone wird erneut desinfiziert und in den Mund eingesetzt, wo nun das Implantat inseriert werden kann. So oder so wird die computergeführte Implantation durch dieses Verfahren so modifiziert, dass sie nicht länger statisch, sondern dynamisch ist.

Schlussfolgerung

Die computergeführte Implantation wurde ergänzt durch ein iPad-gestütztes Verfahren, bei dem die ursprünglich geplante

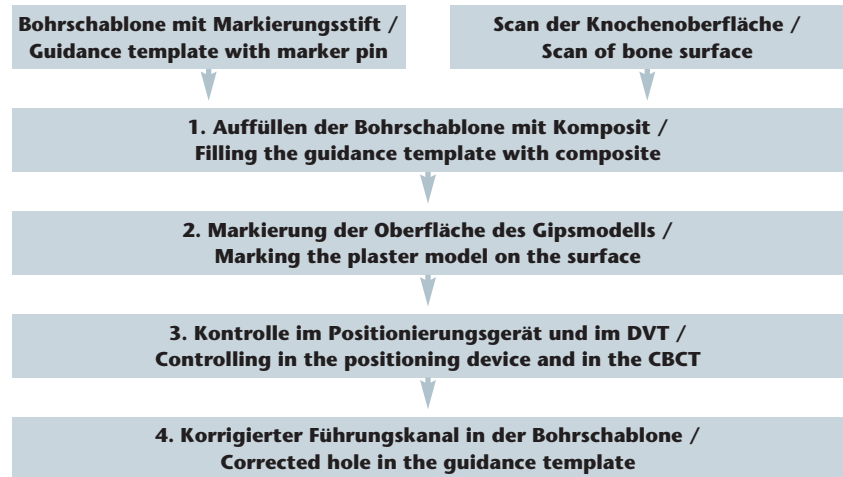


Abbildung 19 Das Blockdiagramm des Korrekturverfahrens
Figure 19 The flow chart of the correction method

Abbildungen 1–19: Dieter Edinger

Discussion

Computer-guided surgery is static, that is, a preoperative fixed implant position is afterwards no longer modifiable. This disadvantage is eliminated by the method described herein. However, this workflow is a very mechanical procedure, so quite cumbersome in an otherwise digital environment. An alternative digital method has advantages here. It consists of the exposed bone surface being scanned with an intraoral scanner. The previous location hole in the template is sealed with acrylic (fig. 19.1), the template is disinfected and set in the positioning device. The 3D data from bone scans are superimposed with the CBCT (fig. 19.2). Now, the positioning unit is aligned with a point, which is (a) prosthetically suitable in the positioning device, (b) suitable on the bone surface visible on the scan and (c) suitable in the CBCT for implantation (fig. 19.3). At this point, a new guidance hole is drilled in the template (fig. 19.4), the template again disinfected and placed in the mouth where the implant now can be inserted.

In any case, computer guided surgery is modified by this method so that it is no longer static, but dynamic.

Conclusion

The computer-guided surgery was complemented with an iPad-based method in which the initially planned position of the implant can be modified intraoperatively and monitored. For this, the planning was carried out by the dentist at the beginning of the workflow on a radiographic template, taking into account prosthetic, aesthetic, functional and implantological aspects. Intraoperative corrections to this template were possible using the specially designed positioning device Rosy. As a result, computer-guided surgery loses its static character and becomes dynamic.

Implantatposition intraoperativ geändert und überwacht werden kann. Dazu wurde vom Zahnarzt zu Beginn des Arbeitsablaufs die Planung mithilfe einer röntgensichtbaren Schablone ausgeführt; dabei wurden prothetische, ästhetische, funktionelle und implantologische Aspekte einbezogen. Mithilfe der speziell konstruierten Positionierungsapparatur Rosy waren intraoperativ Korrekturen dieser Schablone möglich. Im Ergebnis verliert die computergeführte Implantation ihren statischen Charakter und wird dynamisch.

Danksagung: Wir danken Herrn Daniel Magin für seine Unterstützung bei der Entwicklung des Delphi-Programms.

Interessenkonflikt: Die Autoren DE und TS stellen fest, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

Beiträge der Autoren: DE führte die Untersuchungen aus. TS war am Studienaufbau beteiligt. Beide Autoren haben das Schlussmanuskript gelesen und freigegeben.

Acknowledgment: We thank Mr. Daniel Magin for his support in the development of the Delphi program.

Competing Interest: The Authors DE und TS state that there are no conflicts of interest.

Authors' Contributions: DE carried out the studies. TS participated in the design of the study. All authors read and approved the final manuscript.

Korrespondenzadresse

Dr. Dr. Dieter H. Edinger
Großer Burstah 31
20457 Hamburg
Deutschland
dieter@dr-edinger.de

Literatur

- Brief J, Edinger D, Hassfeld S, Eggers G: Accuracy of image-guided implantology. *Clin Oral Impl Res* 2005; 16: 495–501
- D'Haese J, Van De Velde T, Elaut L, De Bruyn H: A prospective study on the accuracy of mucosally supported stereolithographic surgical guides in fully edentulous maxillae. *Clin Implant Dent Relat Res* 2012; 14: 293–303
- Dreiseidler T, Mischkowski RA, Neugebauer J, Ritter L, Zöller JE: Comparison of cone-beam imaging with orthopantomography and computerized tomography for assessment in presurgical implant dentistry. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009; 24: 216–225
- Edinger D: Implantieren mit Rosy, iPad-basierte Implantatplatzierung mit einem Robotersystem. *teamwork J Cont Dent Educ* 2014; 5: 7
- Edinger D: Intraoperative Navigation in Verbindung mit implantatprothetischer Planung. *Dtsch Zahnärztl Z* 2001; 56: 415–418
- Edinger D: Planning of implant positioning by a robot system in the dental practice. *Digital Dental News* 2012; 6: 32–38
- Edinger D: Vorrichtung zur Bestimmung einer Platzierung von Dental-Implantaten im Kieferknochen. Patent DE 199 02 273 A1, 1999
- Eggers G, Patellis E, Muhling J: Accuracy of template-based dental implant placement. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009; 24: 447–454
- Eggers G, Senoo H, Kane G, Mühling J: The accuracy of image guided surgery based on cone beam computer tomography image data. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009; 107: 41–48
- Fortin T, Champeboux G, Bianchi S, Buatois H, Coudert JL: Precision of transfer of preoperative planning for oral implants based on cone-beam CT-scan images through a robotic drilling machine. *Clin Oral Implants Res* 2002; 13: 651–656
- Hammerle CH, Stone P, Jung RE, Kapos T, Brodala N: Consensus statements and recommended clinical procedures regarding computer-assisted implant dentistry. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009; 24 Suppl: 126–131
- Hassfeld S, Muhling J: Computer assisted oral and maxillofacial surgery--a review and an assessment of technology. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2001; 30: 2–13
- Jung RE, Schneider D, Ganeles J et al.: Computer technology applications in surgical implant dentistry: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009; 24 Suppl: 92–109
- Nickenig HJ, Eitner S: An alternative method to match planned and achieved positions of implants, after virtual planning using cone-beam CT data and surgical guide templates – a method reducing patient radiation exposure (part I). *J Craniomaxillofac Surg* 2010; 38: 436–440
- 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
- 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). *J Craniomaxillofac Surg* 2010; 38: 488–493
- Pettersson A, Kero T, Gillot L et al.: Accuracy of CAD/CAM-guided surgical template implant surgery on human cadavers: Part I. *J Prosthet Dent* 2010; 103: 334–342
- Sarment DP, Al-Shammari K, Kazor CE: Stereolithographic surgical templates for placement of dental implants in complex cases. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2003; 23: 287–295
- Sarment DP, Sukovic P, Clinthorne N: Accuracy of implant placement with a stereolithographic surgical guide. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2003; 18: 571–577
- Schneider D, Marquardt P, Zwahlen M, Jung RE: A systematic review on the accuracy and the clinical outcome of computer-guided template-based implant dentistry. *Clin Oral Implants Res* 2009; 20 Suppl 4: 73–86
- Schnutenhaus S: Intuitiv zum Ziel navigieren. Das präimplantologische Vorgehen im volldigitalen Workflow. *Dent Implantol* 2013; 17: 12, 104–115
- Sun Y, Luebbbers H-T, Agbaje JO et al.: Accuracy of Dental Implant Placement Using CBCT-Derived Mucosa-Supported Stereolithographic Template. *Clin Implant Dent Relat Res* 2015; 17: 862–870
- Widmann G, Bale RJ: Accuracy in computer-aided implant surgery – a review. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2006; 21: 305–313