

**Zusammenfassung**

Nicht bei allen Indikationen ist eine CT-gestützte implantatprothetische Planung problemlos möglich. Der Autor zeigt für solche Fälle als Alternative eine exakte modellgestützte Implantatplanung auf, bei der, wie bei der Computerdiagnostik, die Operation über eine Schablone durchgeführt wird, die zuvor jedoch am Modell geplant und erstellt wurde.

Indizes

Implantatprothetik, modellgestützte Implantatplanung, Labor-Mapping

Die modellgestützte Implantatplanung

Andreas Hoffmann

Dreidimensionale Darstellungsmöglichkeiten geben sowohl dem Zahnmediziner als auch dem Zahntechniker heute die Möglichkeit, diagnostisch präziser zu werden. Sie schaffen mit Hilfe neuer digitaler Techniken neue Prozesssteuerungen, die sowohl zahnmedizinisch als auch zahntechnisch umgesetzt werden können.

So wird bereits heute bei der Computerdiagnostik virtuell am Rechner die Lage von Implantaten im Schädelknochen des Patienten perfekt geprobt, um anschließend mit einer 1:1 Operations-Schablone die tatsächliche Insertion der Implantate zu 100% zu übernehmen. Die Genauigkeit des Ganzen zeigt, dass sich diese Technologie gegenüber herkömmlichen Verfahren auf Dauer durchsetzen wird. Computersoftwareprogramme, die in der Lage sind, aus den Schichtbildern eines CTs ein dreidimensionales Bild zu erzeugen, lassen sich heute frei am Computer navigieren und werden dazu genutzt, die am Rechner gefundenen Positionen der Implantate auch im Bezug auf die Prothetik zu perfektionieren. Computernavigation ist nicht die preisgünstigste Alternative, aber sie kann sinnvoller Weise bei größeren, umfangreichen Arbeiten ihre Vorteile ausspielen. Häufig aber ist die kleine Einzelzahnlücke der erste und für den Patienten doch entscheidende Zugang zu einem Implantat.

Einleitung



Allerdings weisen vorhandene Zähne, die mit Kronen und metallischen Restaurationen versehen sind, bei der Computerdiagnostik durchaus negative Aspekte auf. Da radiale Artefakte und Verstrahlungen auf den dreidimensionalen Bildern so aussehen, als hätte sich ein Seeigel im Mund des Patienten befunden als die CT-Daten erstellt worden sind, ist es in solchen Fällen manchmal schwierig, die Kieferrelation zu erkennen. In diesen Fällen bietet sich die modellgestützte Implantatplanung an.

Die modellgestützte Implantatplanung

Bei der herkömmlichen Planung werden normale zweidimensionale Radiographien von den Kieferanteilen und den Zähnen erstellt und dienen als Beurteilungsgrundlage für die Positionierung von Implantaten. Die so genannte Flapless-Operationstechnik gibt dem Chirurgen die Möglichkeit, die Freilegung des Knochens durch das Aufklappen der Gingiva während der OP dreidimensional darzustellen. Erst durch die exakte Darstellung dieses Knochenanteils kann die perfekte Insertionsposition des Implantates in der Mundhöhle gefunden werden. Natürlich wird die spätere Wundheilung nicht immer komplikationslos verlaufen. Versucht man mit dem konventionellen, technischen Umsetzungsvermögen und der neuen Technologie der Computerdiagnostik den goldenen Mittelweg zu beschreiten, so bietet sich die modellgestützte Planung an.

Die Behandlungsplanung

Bei der modellgestützten Implantatplanung kann ebenfalls wie bei der Computerdiagnostik die Operation über eine Schablone durchgeführt werden, um die Lage der Implantate, die zuvor am Modell geplant wurden, exakt 1:1 in den Patientenmund zu navigieren (Abb. 1).



Abb. 1 Sinnvollerweise wird als Modellherstellungsmaterial Polyurethan verwendet, da dieses Modell über einen langen Zeitraum als Arbeitsmodell genutzt wird und durch das Setzen der Implantat-Replika dieses Modell stark beansprucht wird (picopoly, picodent, Wipperfürth).

In der herkömmlichen Radiographie können Zähne und Kiefer dargestellt werden, der Hauptnachteil dieser Technik liegt in der Zweidimensionalität und in der Beurteilungsfähigkeit, da durch Überlagerung von Knochen Details nicht klar erkennbar sind. Die Computertomographie löst die Überlagerung von Strukturen dadurch auf, dass sie in dünnen Schichten Querschnittsbilder erstellt. Diese Querschnittsbilder werden später zu einem 3D-Modell zusammengesetzt. Knochendichte und Knochenangebot können so schon relativ gut beurteilt werden, aber die wesentliche und exakte Lokalisierung von Nervengewebe ist nur mit Hilfe von Messeinrichtungen, die zuvor über eine Schablone bei der Radiographie eingelagert wurden, übertragbar und diagnostisch aussagefähig.

Selbstverständlich muss vor dem Eingriff eine sorgfältige Planung und Untersuchung am Patienten durchgeführt werden. Der Patient muss die allgemeinen gesundheitlichen Anforderungen für die Durchführung eines oralchirurgischen Eingriffs erfüllen. Auch ganz banale Dinge, wie z. B. die Fähigkeit, den Mund ausreichend weit öffnen zu können, um das Einführen der chirurgischen Instrumente über eine Operationsschablone zu gewährleisten, sollten im Vorfeld kontrolliert werden. Nach Abklärung dieser allgemeinen Fragen wird der für die Implantate vorgesehene Kiefer komplett nach besten zahnmedizinischen und zahntechnischen



Abb. 2 In diesen Fällen verändert das NobelGuide™ Konzept die traditionelle Rollenverteilung zwischen Labor und Klinik, da das Labor bereits in der Planungsphase beteiligt ist. Achtung! Die Länge der Implantate und die mesiodistale Richtung müssen anhand von Röntgenaufnahmen bestimmt werden, um Beeinträchtigungen benachbarter Zahnwurzeln und anderer anatomischer Strukturen zu vermeiden.

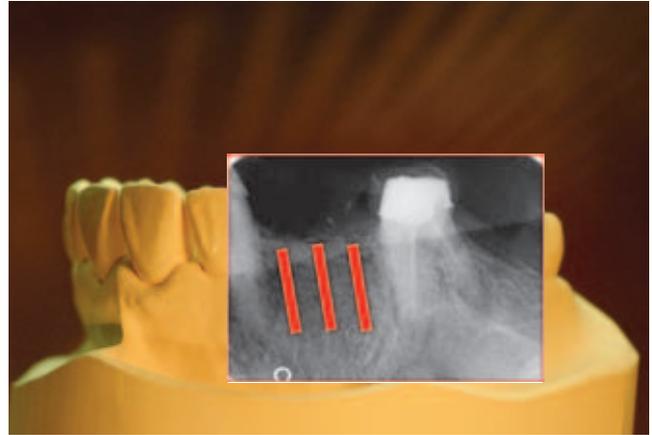


Abb. 3 Die modellgestützte NobelGuide™ Planung eignet sich für die Versorgung fehlender Einzelzähne oder mehrerer fehlender Zähne.

nischen Möglichkeiten abgeformt und daraus eine Modellsituation im Labor erstellt (Abb. 2).

Anhand dieses Meistermodells wird eine Planung am Modell durchgeführt. Über die Anfertigung einer Mapping-Schiene wird der Behandler in die Lage versetzt, die Weichgewebeanteile im Mund des Patienten sauber zu lokalisieren. Dieses Mapping wird auf die Modellsituation übertragen und im Bereich der zu inserierenden Implantate wird die Schleimhaut abgetragen. So liegt der Knochen des Patienten wieder dreidimensional auf dem Modell frei und kann für die weitere diagnostische Planung genau beurteilt werden.

Die Lage der Zähne, die in der Region der Implantate liegen, wird über das Röntgenbild auch im Bereich der Zahnwurzeln beurteilt. Damit wird sicher gestellt, dass weder Kieferhöhle noch Nervengewebe oder andere wichtige anatomische Strukturen, die vom Implantat nicht berührt werden sollen, in die Gefahrenzone hineinragen (Abb. 3).

Die Länge der Implantate und auch ihre mesiodistale Ausrichtung müssen ebenfalls anhand der Röntgenaufnahmen bestimmt werden, um Beeinträchtigungen benachbarter Wurzeln oder anderer anatomischer Strukturen zu vermeiden. Für die Beurteilung dieser Röntgenbilder ist eine Röntgenkugel, die bei der Aufnahme mit eingelagert worden ist, als Messlehre zu verwenden, um später keine Übertragungsfehler im Mund zu bewirken.

Die Modelle werden im Labor zunächst durch eine Silikonform gesichert und stehen somit dem Labor auch später in ausreichend benötigter Anzahl immer wieder zur Verfügung. Die vorhandene Lücke im Modellbereich wird durch ein Wax-up, das sich auch durch Kunststoffzähne im Rahmen einer Aufstellung darstellen lässt, in der anatomisch richtigen Position der Zähne erreicht. Die Fixierung der Zähne zueinander auf dem Modell kann mit Hilfe von lichthärtenden Kunststoffen durchgeführt werden. Über die zu ersetzenden Zähne wird eine dünne Tiefziehfolie platziert, die den mesialen und den distalen Bereich der Wax-up Situation überragt und somit eine Abstützung auf dem Modell

Abb. 4 Die Aufstellung der Zähne in Kunststoff oder Wachs: Tiefziehen mit einer Folie zur Adaption an dem Restzahnbestand.



Abb. 5 und 6 Für eine zentrale Bohrung im Zahnzentrum bis zum Kieferkamm werden zunächst die Bohrermarkierungen angezeichnet.

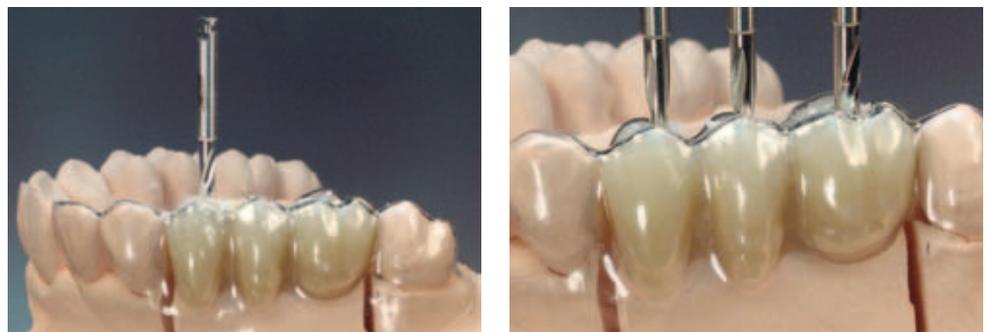


Abb. 7 Die Festlegung der Mappingpunkte.



gewährleistet (Abb. 4). Im Zentrum dieses Zahnes sollte die eigentliche Implantatkopfsituation sitzen, so kann der Zahntechniker mit Hilfe eines Fräsgerätes und eines Modelltisches jede Zahnposition einzeln aussuchen und mit einer 2 mm-Bohrung durch den Zahn eine exakte Bestimmung auf der Kieferkammoberfläche des Modells hinterlassen (Abb. 5).

Nach der Abnahme des Wax-ups wird mit Hilfe eines Stiftes diese Position auf dem Kiefer markiert. Hierbei handelt es sich um die so genannte Wunschposition des Implantates, die dem Zahntechniker aus Sicht der Prothetik an dieser Stelle den besten Durchbruch im Kiefer verspricht. In der Realität wird diese Position auch durch anatomische Grundlagen bestimmt, die sich aus den harten Knochenstrukturen ergeben (Abb. 6). Der Abstand dieser Position ist nicht frei planbar, sondern durch das Wax-up ergibt sich eine vorgegebene Position der Implantate zueinander (Abb. 7). Verlängert man in der vestibulären, bukkalen bzw. palatinalen oder lingualen Fläche die Achse eines Zahnes, so ergibt sich daraus eine grobe Positionierung der Gebiete, in der die Implantate inseriert werden sollen.

Neun Perforationen pro Implantat werden durch Bohrung auf einer über dem Modell tiefgezogenen Mapping-Schiene erzeugt (Abb. 8); diese werden als Markierungshilfen exakt auf das Modell übertragen. Das so genannte Bone-Mapping im Mund geschieht dadurch, dass diese Tiefziehfolie (Abb. 9 und 10) in den Mund des Patienten gesetzt wird, um die Zahnfleischposition durch die perforierte Schiene im Mund zu markieren. Anschließend wird mit einer Messlehre, die mit einem endodontischen Stopper versehen ist, die Perforation des Weichgewebes wieder aufgesucht und durch das Einstecken der Messlehre die Dicke des Weichgewebes gemessen. Nach dem Ablesen der Tiefenmarkierung wird dieser Messwert in ein spezielles Mapping-Protokoll eingetragen (Abb. 11 bis 16). Mit einem Spezial-Bohrer, der in 0,5 mm Tiefenmarkierungen eine bis zu 4 mm tiefe Darstellung von Bohrungen zulässt, wird dieses Mapping-Protokoll 1:1 in die Gipsstruktur bzw. Polyurethanstruktur des Arbeitsmodells eing bohrt. Somit ergibt sich ein Tiefenanschlag, der wiederum mit einem Bleistift in der Tiefe markiert wird. Verbindet man mit einer planparallel-kreuzverzahnten Fräse die Tiefenmarkierungen (Abb. 17 und 18) in

Der Mapping-Guide

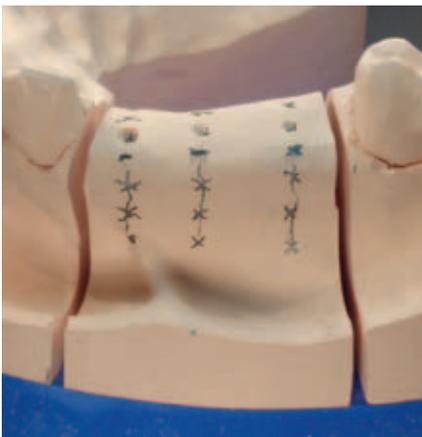


Abb. 8 Die Position der Implantate werden auf dem Gipsmodell markiert: Von der bukkalen zur lingualen Seite über das Weichgewebe werden Markerpunkte festgelegt



Abb. 9 und 10 Weiche Tiefziehfolie wird thermoplastisch tiefgezogen. Im Anschluss daran werden mit einem 0,5 mm Rosenbohrer die Markierungen übertragen.

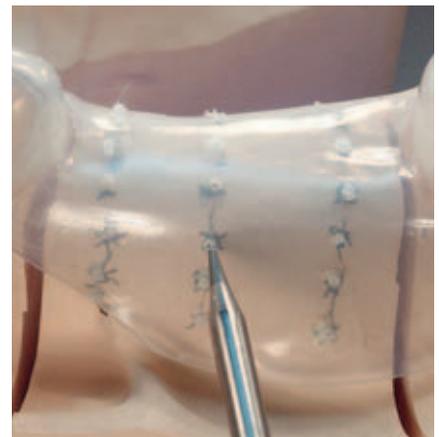


Abb. 11 und 12 Der Mapping-Guide wird im Munde des Patienten platziert und mittels einer Messlehre wird dann das Weichgewebe durch den Mapping-Guide perforiert.

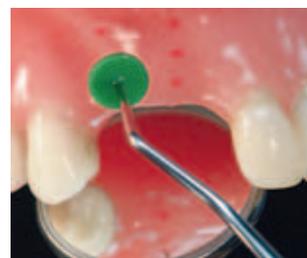
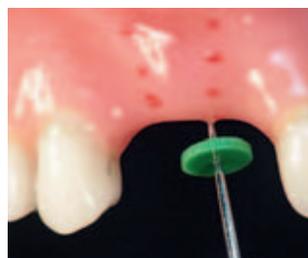
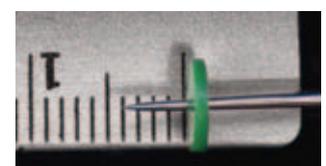


Abb. 13 bis 15 Nach dem Entfernen des Mapping-Guides wird unter Verwendung einer Messlehre mit einem endodontischen Stopper die Dicke des Weichgewebes gemessen.



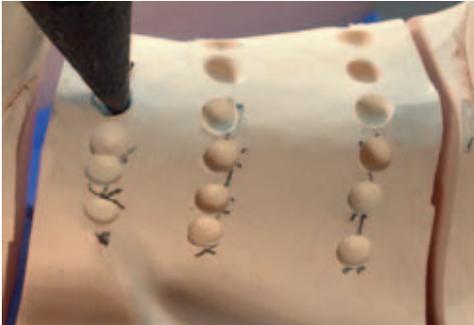


Abb. 21 und 22 Der Tiefenanschlag wird in der Bohrung markiert.

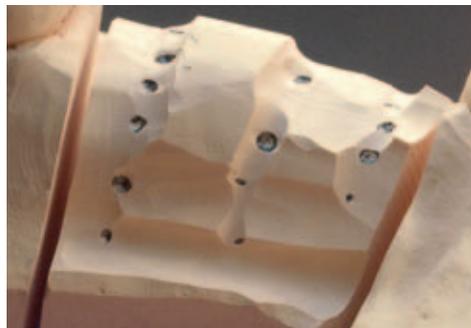
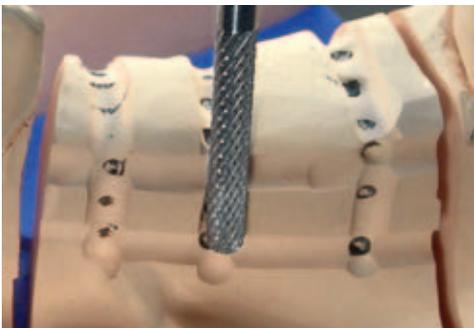


Abb. 23 und 24 Dann werden die Markierungen verbunden und die Zwischenräume abgetragen.



Abb. 25 Die Spezialbohrer für Gipse und Polyurethane und für das Labormapping.

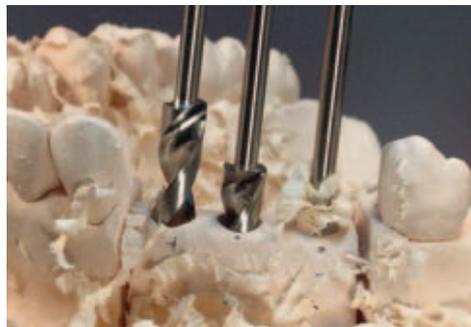


Abb. 26 Für die Implantatreplika wird an der vorgesehenen Insertionsposition ein Loch gebohrt.

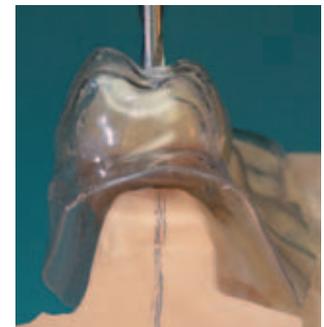


Abb. 27 Das Festlegen der Implantatachse.

das Setzen von Modellanalogen entwickelt worden sind und sich bei allen gängigen Implantatsystemen und Durchmessern benutzen lassen, wird nun nach Anzeichnung der Implantatachse (Abb. 26) das Kunststoff Wax-up wieder auf dem Modell platziert. Über die Folie am Restzahnbestand adaptiert, kann nun die gewünschte Implantat-Position durch das Einsetzen des 2 mm Bohrers und seine Ausrichtung am Kiefer zu der tatsächlichen Kieferrelation gefunden werden (Abb. 27). Diese so gewonnene Einschubrichtung wird am Modelltisch arretiert und der Bohrer am Fräsgerät durch den passenden Spiralbohrer mit dem richtigen Querschnitt für das zu planende Implantat eingesetzt.

Das Einbohren in den Kieferkamm bis die Tiefe der Modellreplika erreicht ist, ist ein Kinderspiel. Der Autor verfährt mit der Einstellung und dem Vorbohren der Implantatposition so bei jedem Implantat. Die Bohrer sind so berechnet worden, dass die Implantatdurchmesser immer ein wenig kleiner sind als die Bohrlöcher. So wird ein guter Klebespalt erreicht und gibt dem Behandler größtmögliche Sicherheit in der Übertragung der Bohr-



Abb. 28 Dann werden die Implantatreplika in korrekter Ausrichtung zum Knochen und der geplanten Implantatposition mit Kleber im Gipsmodell befestigt.

Abb. 29 und 30 Zur Herstellung der Zahnfleischmaske wird vom ungesägten Modell mit Hilfe eines Vorwall-Silikons („twin-duo“, picodent) ein Stempelabdruck hergestellt, der die fehlenden Zahnfleischpartien auf dem Modell ergänzt. Als Silikon aus der Kartusche für die Herstellung einer Zahnfleischmaske hat sich für den Autor die Zahnfleischmaske Majesthetik (picodent) als besonders schnell, präzise und damit auch kostengünstig erwiesen. Dieses Material lässt sich hervorragend mit rotierenden Instrumenten nachbearbeiten und problemlos in den Außenflächen manipulieren.



Abb. 31 und 32 Die Implantatreplica werden mit einer Schleimhautstanze freigelegt.

situation auf den Patientenknochen (Abb. 28). Kommt es bei dem Bohren auf dem Modell nicht zu Perforationen im Seitenbereich, so kann der Behandler auch sicher sein, dass die Bohrer, die später in der Realität nicht so große Durchmesser haben, nicht durchbrechen werden.

Mit einem Parallelstift, der die Modellreplika aufnimmt, wird am Fräsgerät mittels Erwärmung des Modellreplikas und eines Heißklebers diese Position im Modell exakt eingestellt und das Modellreplika perfekt mit dem Modell verklebt. Ein wenig Eisspray hilft der Erstarrungsphase des thermoplastischen Klebers nach und lässt so die weitere Verarbeitung schnell zu.

Die Isolierung der Modellsituation und ein Silikonstempel, der vom ungesägten Modell genommen wurde, ermöglichen es, schnell und perfekt die Schleimhautsituation, jetzt als Zahnfleischmaske in Silikon, wieder zurück auf das Modell zu bringen (Abb. 29 bis 32). Nach dem Abheben der Zahnfleischmaske ergibt sich die Möglichkeit, durch die Darstellung der Implantatschulter im Silikon von innen nach außen mit einer Zahnfleischstanze die Implantate auf dem Modell wieder real freizulegen.

Die Fertigstellung der OP-Schablone

Am Beispiel von Nobel Biocare (Göteborg, Schweden) zeigt der Autor auf, wie die Operationsschablone mit Hilfe dieses Modells im Labor hergestellt werden kann. Nach Freigabe der Modellsituation durch den Behandler, der in seiner Eigenschaft die Verantwortung für dieses Tun übernimmt, wird aus der Modellentwurfsplanung ein tatsächlicher Patientenfall, der nicht weiter verändert werden sollte. Hier muss sich der Behandler auf das Zusammenspiel von Labor und Praxis verlassen können und beide Partner müssen wissen, wann aus einer Planung auch in juristischer Hinsicht die Übernahme der Verantwortung erfolgt.

Mit einem weiteren Auftrag an das Labor erfolgt die Herstellung der Operationsschablone. Für die Herstellung benötigt das Labor einige wichtige Komponenten (Abb. 33). So wird für Nobel Guide ein spezieller Sleeve-Ring benötigt, der über einen Zylinder mit dem Modellanalog zusammen verschraubt wird. Der Zylinder positioniert diesen Sleeve-Ring in einer vorgegebenen Höhe von 9 mm perfekt über der Oberfläche der Implantat-schulter (Abb. 34 und 35). Unterhalb des Sleeve-Rings wird ein wenig Wachs aufgetragen, um unter sich gehende Bereiche sicher auszublocken. Unter Verwendung eines lichthärtenden, knetbaren Schienenmaterials (primosplint, Primotec, Bad Homburg) werden die Sleeve-Ringe (Abb. 36) perfekt mit Kunststoff beschichtet. Im Weiteren wird ähnlich wie bei einer Schiene vorgegangen (Abb. 37). Das gesamte Material wird großzügig okklusal auf dem Modell adaptiert und nach Art der Aufbisssschientechnik hergestellt (Abb. 38 und 39). Diese Schiene muss lagestabil und formgerecht auf dem Modell sitzen. Spezielle Kontrollöffnungen sichern die optische Kontrolle dieser Schiene sowohl auf dem ungesägten Modell als auch im Patientenmund. So besteht während der gesamten Operation die Kontrollmöglichkeit festzustellen, ob die Schiene in Endposition absolut spannungs- und verwindungsfrei sitzt. Diese Kontrollfenster sollen so perfekt zu sehen sein, dass sie die optische Kontrolle der korrekten Passung während der gesamten OP permanent gestatten (Abb. 40 bis 42).

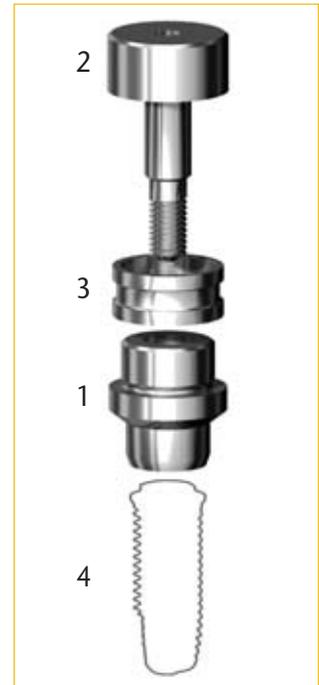


Abb. 33 Eine wichtige Komponente bei der Fertigung einer OP-Schablone ist der Zylinder für die schablonengeführte Chirurgie mit Stift. Mit diesen beiden Teilen, dem Zylinder für die schablonengeführte Chirurgie (1) und dem Stift (2) wird das geometrische Verhältnis zwischen der Führungshülse (3) (wird in die Schablone integriert) und dem Implantat (4) sichergestellt.



Abb. 34 Eine Führungshülse wird zwischen dem Zylinder für die schablonengeführte Chirurgie und dem Stift eingesetzt und mit Hilfe des Unigrip Schraubendrehers mit dem Implantatreplika verschraubt.

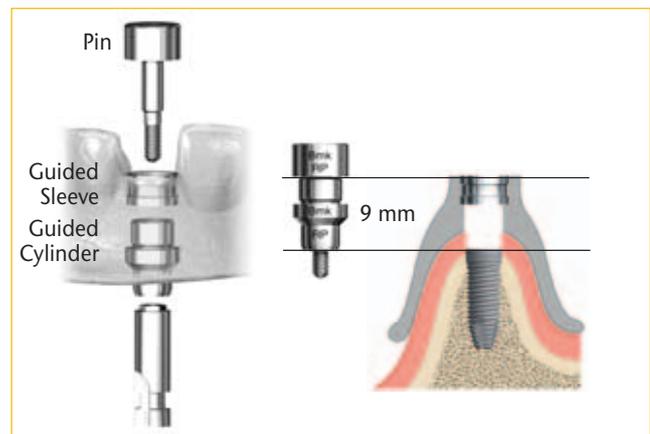


Abb. 35 Vergleich: Ein Implantat auf dem Modell und im Mund.

Abb. 36 Der gesamten Kiefer und die Führungshülse werden mit Kunststoff umhüllt. Dabei sollte genügend Material verwendet werden, um eine formsteife und stabile OP-Schablone zu fertigen.

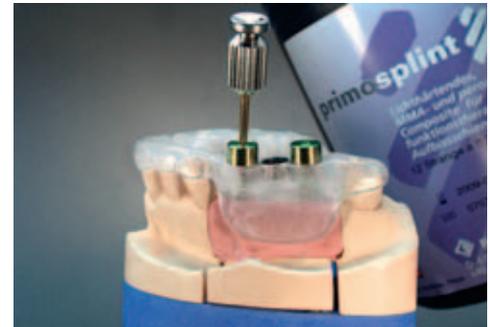


Abb. 37 Die Unterschnitte werden ausgeblockt und alle Oberflächen isoliert, die nicht in die OP-Schablone integriert werden sollen.



Abb. 38 bis 40 Wenn der Kunststoff ausgehärtet ist, wird der Zylinder für die schablonengeführte Chirurgie mit einem Stift gelöst und die OP-Schablone entfernt. Die OP-Schablone wird in die gewünschte Form geschliffen. Dabei muss sicherstellt werden, dass die Oberseite der Führungshülsen ohne Beschädigungen der Hülsen freigelegt ist.

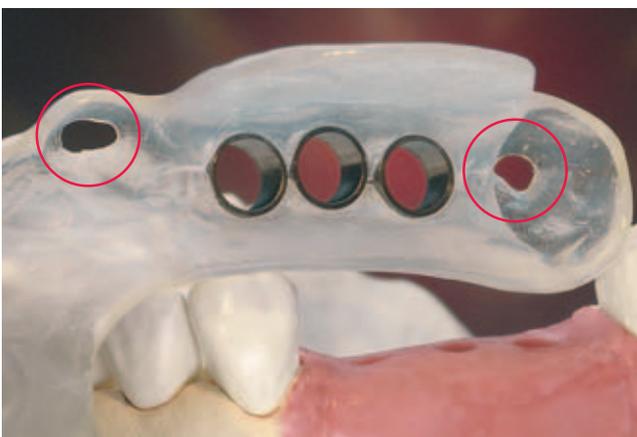


Abb. 41 Die Kontrollfenster sollten perfekt zu sehen sein, um die korrekte Passung bei der Operation zu kontrollieren.

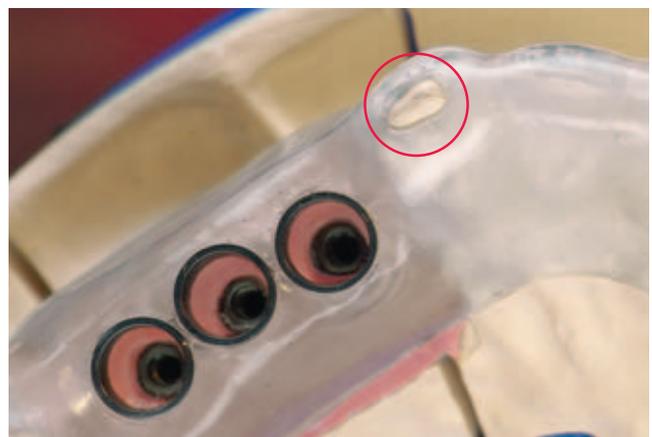


Abb. 42 Die Kontrollfenster sollten während des gesamten chirurgischen Eingriffs permanent überprüft werden, um die korrekte Passung zu verifizieren.



Nach der Kontrolle des schaukelfreien Sitzes dieser Operationsschablone und der Anästhesie der Schleimhautbereiche erfolgt die Insertion der Implantate wie auch bei der Computernavigation komplett durch die Operationsschablone. Mit dem ersten Instrument wird das Zahnfleisch durch das Sleeve entfernt und gleichzeitig der Knochen vorgebohrt. Die Erweiterungsbohrung mit einem 2 mm Pilotbohrer wird mit Hilfe von Einsätzen, die in den Sleeve-Ring hinein gesteckt werden, um damit das Lumen auf 2 mm zu verringern, perfekt geführt. Ein Anschlag an den Bohrerenschaft ermöglicht dem Behandler, sicher die richtige Tiefenposition zu lokalisieren. Durch Eröffnungsbohrungen wird chirurgisch so vorgegangen, wie es der Behandler in der konventionellen Technik auch kennt. Das Einsetzen der Implantate erfolgt navigiert durch die Operationsschablone und wird in ihrer Endposition jeweils an einem Hex- bzw. 3-Kantbereich in der richtigen Höhe an der Schablone ihr Ende finden. Ein Drehmoment von mindestens 35 Ncm signalisiert dem Behandler die sofortige Belastungsfähigkeit dieser Implantate.

Auf dem Modell hat das Labor im Vorfeld schon eine provisorische oder auch schon endgültige prothetische Lösung hergestellt, die nun im Anschluss, nach der Entfernung der Operationsschablone, direkt auf die Implantatschulter geschraubt werden kann oder die mittels individueller Abutments, die in Position gesetzt werden, nun temporär oder definitiv zementiert werden kann.

Bei dem hier gezeigten Weg ist die völlige Freiheit bei der Auswahl der geeigneten prothetischen Lösungen möglich. Von der normalen Einheilphase bis hin zur Sofortbelastung können sämtliche Entscheidungsspielräume durch den Behandler getroffen werden. „Teeth in an hour“, die endgültige Prothetik mit der Procera Implant Bridge und Guided Abutments ist möglich und seit 2004 freigegeben, ebenso ist auch eine provisorisch verschraubte Prothetik mit Guided Abutments oder mit Guided Ti Temporary Copings möglich.

ZTM Andreas Hoffmann, Dentales Service Zentrum
Ludwig-Erhard-Straße 7b, 37434 Gieboldehausen
E-Mail: info@1DSZ.de

Die Insertion der Implantate

Fazit

Adresse des Verfassers