

Dreidimensionale, prothetisch orientierte Implantatplanung

Die Autoren besprechen in folgendem Artikel, nach einer ausführlichen Einleitung zu Material und Methode, exemplarisch den Einzelzahnersatz, die verkürzte Zahnreihe und die Versorgung des zahnlosen Kiefers sowohl mit fest- als auch mit herausnehmbarer Suprakonstruktion.

Dr. med. Andrea Grandoch, Dr. Dr. Peter A. Ehrl

Implantologie ist ein kombiniert chirurgischer und prothetischer Fachbereich, wobei das wahrnehmbare Ziel die funktionelle und ästhetische Wiederherstellung für einen möglichst langen Zeitraum ist. Die Integration eines Implantatpfostens im Kieferknochen kann man heute mit einer hohen Erfolgswahrscheinlichkeit, als gelöstes Problem sehen, wenn das Knochenangebot gut ist. Probleme bestehen nach wie vor bei der Rekonstruktion von Knochendefekten sowie bei der ästhetisch und funktionell optimalen Positionierung des Implantates und der Weichteilsituation. Umstritten ist derzeit auch die richtige Anzahl der Implantate bei größeren Rekonstruktionen.

Darüber hinaus gilt es, diese Ziele durch möglichst einfache, damit auch günstige und bedingt reversible Techniken zu erreichen und im Problemfall Schäden gering zu halten. Das Erreichen eines status quo ante ist heute leichter erreichbar, ob die Nutzen-Kosten-Relation hierfür immer vernünftig ist, kann nur für den Einzelfall eruiert werden.

Einen allgemein anerkannten Konsens für diese Ziele gibt es nach wie vor nicht. Ohnehin wurden die Erwartungen an implantologische Lösungen durch die vielfachen Fortschritte ständig nach oben geschraubt. Man kann hier zwischen allgemeinen Erfolgskriterien unterscheiden, die für alle Implantatlösungen gelten und den Kriterien für spezielle Indikationen, die unterschiedlich gesehen werden können. Auch wenn man die Vorgabe aus den Implantatindikationen der wissenschaftlichen Gesellschaften, dass „die optimale Therapie des Zahnverlustes der Ersatz jedes einzelnen Zahnes durch ein Implantat ist“ und die heute vielzitierte Prämisse berücksichtigt, dass über jeder Rekonstruktion die Wiederherstellung des natürlichen Zustandes steht, so muss man doch feststellen, dass dies allenfalls für den Einzelzahnersatz – ggf. auch multipel – gilt, aber eben nicht für alle Therapien. Die Gründe für suboptimale Lösungen sind vielfältig, beginnend mit schlechten Voraussetzungen und damit verbunden höherem Behandlungsrisiko und endend mit sozioökonomischen Limitationen.

Es spielen zu viele Parameter eine Rolle, als dass man dies verallgemeinernd über jede Therapie schreiben könnte. Einer physikalisch-numerischen Fassung des Problems steht insbesondere der hohe Grad an Individualität eines jeden einzelnen Befundes entgegen. Erschwerend kommt hinzu, dass es bis heute kaum allgemeingültige Empfehlungen der Methodologie gibt. Das verwundert nicht, da viele verschiedene Methoden, davon wiederum viele mit geringer Anwendungsbreite und kurzer Anwendungszeit, durchgeführt werden. Was dem einen Goldstandard ist, gilt dem anderen als veraltet und umgekehrt. Stell-

- Defektrekonstruktion
- Ideale Positionierung
- Weichteilrekonstruktion
- Ideale Implantatzahl

Tab. 1: Aktuelle Probleme implantatgetragenen Zahnersatzes.



Tab. 2a

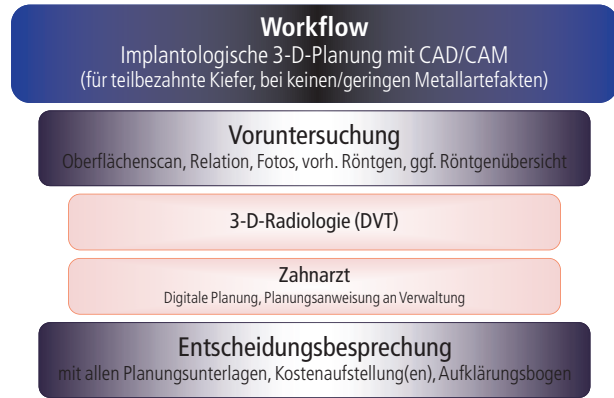
vertretend sei hier an den Versuch einer Systematisierung der Vorgehensweise bei Augmentationen erinnert (Ehr PA, 2003).

Material und Methode

Die bei uns zunächst zögerlich, mit einschränkenden Indikationen auf umfangreichere Fragestellungen und progrediente Krankheitsbilder eingeführte Dentale Volumentomographie (DVT) im Jahre 2000 wurde zunehmend erweitert, bis sie etwa im Jahre 2008 bei fast allen implantologischen Eingriffen eingesetzt wurde. Unbestritten führt bereits die 3D-Diagnostik zu Erkenntnissen, welche die Qualität der Behandlung steigern. 3D-Planung bedeutet jedoch immer neben dem anatomischen Substrat auch die prothetische Planung zu berücksichtigen, sei sie nun – wie noch immer vorzugsweise – auf dem Modell erstellt oder – wie jetzt möglich – digital. Schon vor der Einführung der 3D-Technologien wurde mit der Beschreibung des Rückwärtsplanens („backward planning“) klar, dass die Darstellung des gewünschten Therapieergebnisses vorgibt, wie man dieses Ziel erreichen kann – oder eben auch nicht (Kirsch et al. 2008). Auch hier begann die Entwicklung mit umfangreichen Therapien, bis sich die Erkenntnis durchsetzte, dass bereits bei implantatgetragenen Einzelzahnernsatz eine Planungsprothese („setup“) des Endergebnisses sinnvoll ist.

Bereits jede dieser beiden Techniken – DVT und reales setup – ist einzeln hilfreich und trägt in den Händen des erfahrenen Implantologen zu einer deutlichen Verbesserung des Therapieergebnisses bei. Entscheidend ist nun und es entspricht immer mehr heutigem Standard, die beiden Techniken zu verknüpfen. Nach dem Irrweg der digital gesteuerten Navigation stehen heute mehrere Schablonentechniken zur Verfügung, basiert auf Planungssoftwares. Der sich zur Zeit vollziehende Schritt vom realen Gipsmodell und einer Zahnaufstellung zum digitalen Modell und digitaler Rekonstruktion ist ein weiterer interessanter Ansatz, der sich allerdings in der Praxis erst noch bewähren muß. So stellt sich auch zuweilen die Frage, welche Merkmale aus dem schier unerschöpflichen digitalen Fundus eher eine Spielerei und welche von Nutzen für die Behandlung des Patienten sind.

Welches sind nun die Hauptmerkmale, die eine 3D-basierte Planung auszeichnen? Durch die Erhebung dreidimensionaler Daten wird es erst möglich präoperativ zu entscheiden, wie das gewünschte prothetische Ergebnis erreicht werden kann. Das Endergebnis vor Augen kann die Entscheidung für die Notwendigkeit und Form einer Augmentation und bei zahnlosen Kiefern für oder wider heraus- bzw. festsitzenden Zahnernsatz auf eine solide Basis gestützt werden. Fast immer liegen Knochendefekte vor, die in ihrem Ausmaß beurteilt werden müssen. Sie sind in den Defektklassen nach Fallschüssel und Atwood beschrieben und zeigen, dass in der Regel zuerst die horizontale Komponente schwindet und sukzessive die vertikale Höhe abnimmt. Für die prothetische Versorgung hat die horizontale Komponente vor allem in zwei Punkten Bedeutung: In der Front vor allem aus



Tab. 2b

ästhetischen Gründen und im Seitenzahnbereich vor allem aus funktionellen Gründen, die Stellung des Implantates im Zahnbogen betreffend. Die optimale Korrektur dieses Befundes ist die chirurgische Wiederherstellung des ursprünglichen Kiefervolumens. In allen anderen Fällen bleiben Maßnahmen der Implantatpositionierung (Winkelstellung) – also auch eine vom Implanteur zu berücksichtigende Leistung und schließlich kaschierende Massnahmen an der Suprakonstruktion – also vom Zahntechniker zu leisten. Letztere, also z.B. bukkal überstehende Kronencervices oder Mucosaverblendungen, stehen immer im Widerspruch zu einer hygienischen Gestaltung der Suprakonstruktion und gehen in der Regel auch mit ästhetischen Einbußen einher. Ist eine Wiederherstellung der vertikalen Dimension (ab Fallschüssel 4 frontal, 2 lateral und Atwood 4) nötig, so bedeutet dies in den meisten Fällen ein aufwändigeres zweizeitiges Vorgehen. An dieser Stelle ist anzumerken, dass fast alle vorliegenden Atrophiemuster sich nur auf einen Kiefer beziehen und nicht die funktionelle Komponente eines weiter nach oral versetzten Zahnbogens berücksichtigen. Arutinov et al. (2012) setzen voraus, dass dies durch angulierte Implantate ausgeglichen werden muss. Alle genannten Entscheidungen

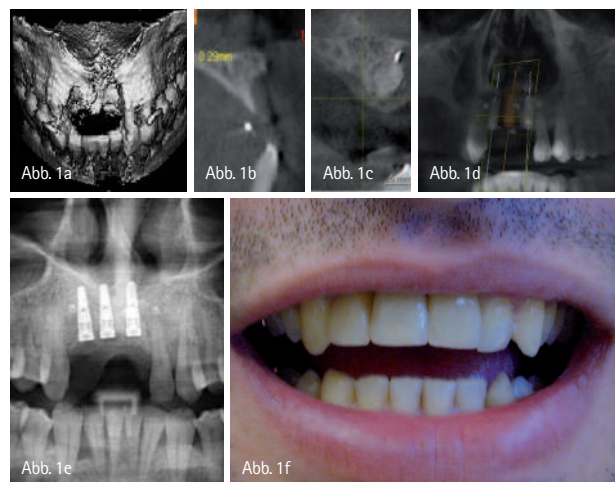


Abb. 1a: Massive Defekte der bukkalen Lamelle Regio 11 und 21. – Abb. 1b: Im Sagittalschnitt wird die Defektgröße deutlich. – Abb. 1c: Zustand nach horizontaler Auflagerungsplastik. – Abb. 1d: 3-D-Planung nach Augmentation. – Abb. 1e: Zustand nach Implantation. – Abb. 1f: Der prothetisch versorgte Patient.

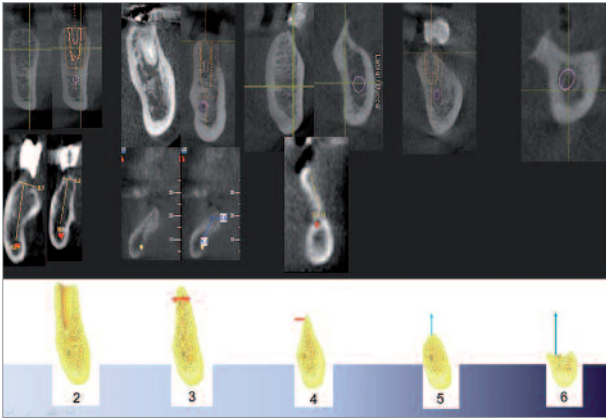


Abb. 2: Darstellung von anatomischen Varianten im seitlichen Unterkiefer, der Einteilung nach Atwood zugeordnet.

können solide nur bei Informationen über sowohl die dreidimensionalen Anatomie als auch der gewünschten prothetischen Lösung getroffen werden. Kinsel et al. (2007) kommen zu dem Ergebnis, dass nur die Implantatlänge eine signifikante Vorhersage für Implantatverlust erlaubt. Auch der Leitfaden des BdiZ EDI (2011) setzt sich kritisch sowohl mit kurzen als auch angulierten Implantaten auseinander. Bei angulierten Implantaten werden u. a. eine Knochenqualität über 3 und eine 3-D-Planung sowie schablonengeführte Implantation gefordert. Die Modellplanung mit Herstellung einer Planungsprothese ist der entscheidende Faktor für das Endergebnis der implantologischen Therapie und damit auch für die Vorgehensweise. Hier entscheidet sich, welche Behandlungsschritte erforderlich sind und welches Ziel man anstrebt. Dies wird hier betont, da dieser

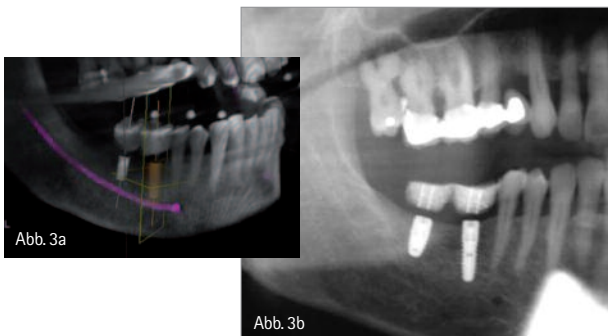


Abb. 3a: Planung im seitlichen Unterkiefer mit Set-up (SICAT). – Abb. 3b: Zustand nach Implantation mit Pilotbohrschablone in situ.

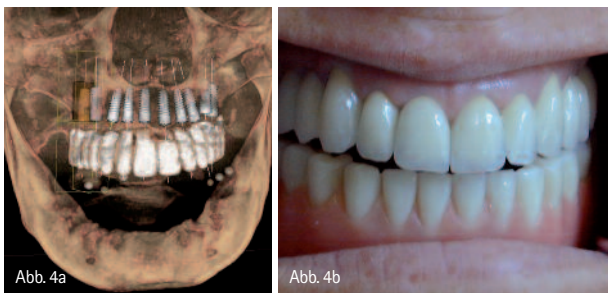


Abb. 4a: 3-D-Planung im zahnlosen Oberkiefer. – Abb. 4b: Prothetische Versorgung bei guten Voraussetzungen.

Schritt in der täglichen Praxis häufig nicht die Wertigkeit erfährt, die ihm zustehen. Wichtig ist, dass dies durch den Zahnarzt erfolgt und bei aufwändigen Versorgungen ggf. ein Termin mit dem Patienten vereinbart wird. Bei zweizeitigem Vorgehen kann es erforderlich sein, diesen Schritt nach der Augmentation zu wiederholen, ebenso wie eine zweite 3-D-Aufnahme.

Neben dem real existierenden Modell gibt es heute weitere Möglichkeiten der prothetischen Planung. Zwei digitale prothetische Planungsmöglichkeiten sollen hier erwähnt werden, das Implant®- und das SICAT®/CEREC®-Verfahren. Beide Verfahren bieten neben dem vorher beschriebenen klassischen Weg über eine Planungsprothese Lösungen mit größerer digitaler Unterstützung an. Dabei werden jeweils die Oberfläche der Weichteilsituation und der Nachbarzähne gescannt und auf die radiologischen 3-D-Daten übertragen. Dies kann über ein Modell (Implant®, SICAT®) oder auch intraoral (SICAT®/CEREC®) geschehen. Mit dem prothetischen Planungsprogramm entsteht nun ein digitales Setup. Zielsetzungen dieser Verfahren sind die Vereinfachung und Verkürzung des Arbeitsablaufes.

Von Interesse ist die Genauigkeit dieser Verfahren. Zahlen liegen für die Überlagerung des optischen Abdrucks mit den Röntgen-daten beim SICAT®-CAD/CAM-Verfahren vor. Die Differenz zwischen den DVT-Daten und dem Oberflächen-Scan liegen zwischen 0.03 (0.33) und 0.14 (0.18) mm (RITTER et al, 2012). Mithilfe der CEREC®-Kronen- und Brücken-Planungssoftware wird anschliessend auf dieser Basis eine festsitzende prothetische Lösung geplant. Die Genauigkeit des digitalen SICAT®-Verfahrens liegt im Rahmen der Auflösung der jeweils vorliegenden Daten. Zum Vergleich: Für analoge Abdruckverfahren wird eine Genauigkeit von 0,1 bis max. 0,2 mm gefordert (Luthardt RG, 2004) und der anzustrebende Spalt zwischen Krone und natürlichem Zahn bei 0,027 – 0,101 mm (Limkangwongkol P et al, 2007 und 2009). Die Genauigkeit der verschiedenen Verfahren liegt demnach in der gleichen Dimension. Dies gilt auch dann noch, wenn man alle Fehlerquellen berücksichtigt, nämlich die volumetomographische Aufnahme, die Übertragung auf die Bohrschablone, die Reposition der Schablone, das Spiel des Bohrers in der Führungshülse, das Eindrehen des Implantates. Das Matchen des Oberflächenscans führt wieder zu einer Verbesserung des Ergebnisses. Der Vorteil dieses Vorgehens liegt darin, dass die labortechnische Herstellung einer Planungsaufstellung vermieden werden kann (Tabelle 2b). Mit dem sog. Optiguide®-Verfahren von SICAT ist ein wichtiger Schritt zur Digitalisierung der prothetischen Implantatplanung gelungen, verbunden mit einer größeren Planungssicherheit und Präzision. Leider besteht noch die Einschränkung auf teilbezahnte Kiefer und bei größeren Metallartefakten muss noch darauf verzichtet werden.

Anwendung Einzelzahnersatz

An Wiederherstellungen mit einzelnen Implantaten werden die höchsten Ansprüche gestellt. Nach Möglichkeit soll ein Zustand

wie vor dem Zahnverlust erreicht werden. Besonders hohe Anforderungen bestehen in der ästhetischen Zone. Entscheidend für das zu wählende Verfahren sind dabei vor allem die anatomischen Voraussetzungen. So wird man bei einer Sofortimplantation in eine vorgegebene Alveole weitgehend auf eine 3-D-Planung verzichten können. Bei allen Spätimplantationen ist eine Zahnaufstellung sinnvoll. Durch die Planung der Implantatneigung und Relation zu den Nachbarzähnen kann das Emergenzprofil und die Positionierung der Krone geplant und günstig beeinflusst werden. Eine schablonengeführte Implantation ist bei Einzelzahnimplantaten insbesondere dann sinnvoll, wenn mehrere Einzelimplantate nebeneinander gesetzt werden sollen oder eine Gefährdung natürlicher Nachbarzähne bei geringen Platzverhältnissen besteht.

Auch der Wunsch nach einem imaging ist erfüllbar. Die Visualisierung eines optimalen Ergebnisses gegenüber dem Patienten birgt jedoch die Gefahr Erwartungen zu wecken, die nicht garantiert werden können. Abb. 1 zeigt die zweizeitige Rekonstruktion eines horizontalen Defektes mit 3D-Planung.

Anwendung verkürzte Zahnreihe

Bei der Rekonstruktion der verkürzten Zahnreihe steht die Funktion und hier insbesondere die Abstützung der Gelenke im Vordergrund. Die Frage „wie viele Zähne braucht der Mensch“ ist von der Prothetik noch nicht abschließend beantwortet. In den letzten Jahren hat sich in der Implantologie die Tendenz entwickelt bei größeren verbundenen Arbeiten distal regio 5 mit Extensionsbrücken bis regio 6 zu arbeiten. Der Alveolarkammabbau ist im seitlichen Kieferbereich in der Regel am weitesten fortgeschritten, fast immer horizontal von bukkal und häufig in der vertikalen Dimension. Ohne oder mit kleineren Augmentationsmaßnahmen, bedeutet dies, dass längere prothetischen Rekonstruktionen bei kurzen Implantaten nötig sind und dass diese weiter lingual stehen als im natürlichen Zahnbestand. Die Verwendung kurzer Implantate im Seitenzahnbereich unter-

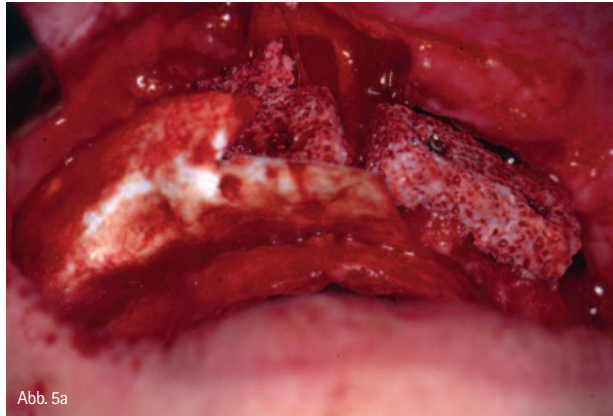


Abb. 5a

Abb. 5a: Intraoperativer Situs mit horizontaler und vertikaler Augmentation, links Knochenblock fixiert, rechts mit Membran bedeckt.

liegt mehreren Einschränkungen (gute Knochenqualität, primäre Verblockung empfohlen, Vermeidung von Extensionsbrücken und Führungsflächen in der Lateralexkursion, nicht bei Parafunktion), so dass hier sorgfältig eine Grenze gezogen werden muss. Auch für die Angulierung gibt es Einschränkungen, die ab einer Grenze von $>20^\circ$ gesehen werden. Im Leitfaden des BdiZ EDI werden angulierte Implantate für die Freilandversorgung abgelehnt (BdiZ 2011). Soweit eine Ausrichtung an Antagonisten in einem natürlich vorgegebenen Zahnbogen erfolgt, wird dies zu keinen funktionellen Einbußen führen. Anders ist dies bei nicht im ursprünglichen Zahnbogen stehendem Ersatz (Implantate, Prothese) in beiden Kiefern. Hier klagen Patienten bei langer Anamnese häufiger über spontanen Wangenbiss und Bolusretentionen. Es muss bei dieser Indikation also sehr sorgfältig abgewogen werden, ob man bei Kieferdefekten lieber den zunächst angenehmeren Weg über kurze und angulierte Implantate mit entsprechend langer Suprakonstruktion oder den Weg über eine restituierende Augmentation geht. Die 3-D-Planung liefert hier in der Planungsphase unverzichtbare Hinweise.

Abbildung 2 zeigt anhand der Zuordnung verschiedener typischer Defektkonstellationen die Problematik die sehr unter-

Abb. 5b: Reentry. – Abb. 5c: Zustand nach Implantation. – Abb. 5d: Röntgenkontrolle nach Eingliederung. – Abb. 5e: Prothetisches Ergebnis bei normaler Lippenhaltung. – Abb. 5f: Prothetisches Ergebnis bei hochgehaltener Lippe. Trotz Augmentation sind noch lange Kronen erforderlich.

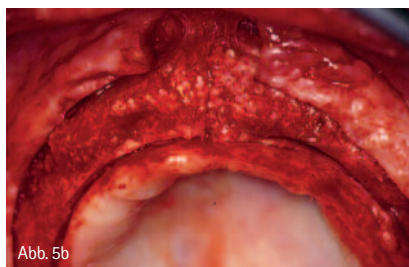


Abb. 5b



Abb. 5c

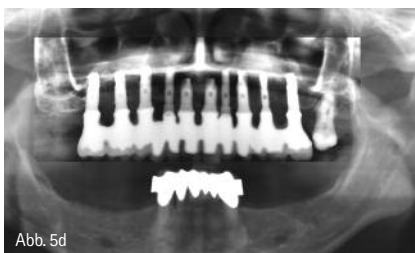


Abb. 5d



Abb. 5e



Abb. 5f

schiedlichen Defekte zu rekonstruieren. In Abbildung 3 wird eine typische Rekonstruktion einer verkürzten Zahnreihe bei guten Voraussetzungen mit einer Bohrschablone dargestellt.

Anwendung zahnloser Kiefer

Bei der implantologischen Behandlung des zahnloser Kiefers erhält die 3-D-Planung eine entscheidende Bedeutung bei der Wahl der unterschiedlichen Therapieformen. So muss entschieden werden, ob und ggf. welche augmentativen Massnahmen erforderlich sind, ob herausnehmbarer oder festsitzender Ersatz angestrebt wird. Bei letzterem muss entschieden werden, ob ein umfangreicher Einzelzahnersatz möglich ist, kleine Brücken oder Gesamtbrücken für einen Kiefer und ob eine größere intermaxilläre Distanz prothetisch gefüllt werden muss, sei es nun durch längere Zähne oder durch eine Mucosabasis. Die Zahl der Implantatpfeiler beim festsitzenden Zahnersatz reicht vom all-on-four-concept über die Empfehlungen der Konsensuskonfe-

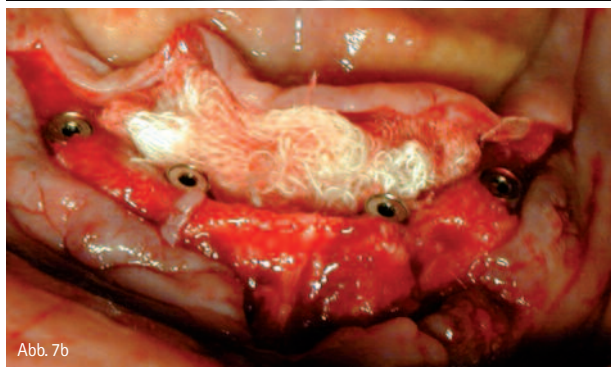


Abb. 7a: Röntgenkontrolle nach Implantation mit schleimhautgetragener Bohrschablone in situ. – Abb. 7b: Operationssitus. Man beachte den Lingualstand der mittleren Implantate. – Abb. 7c: Zustand nach Freilegung.

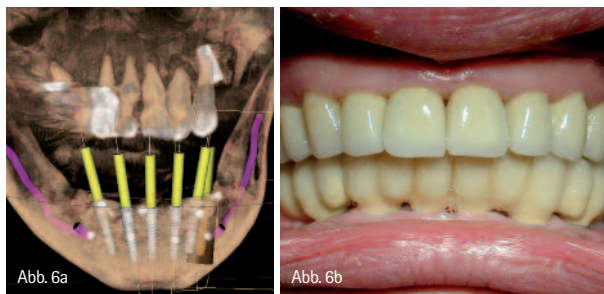


Abb. 6a: Ausschnitt aus der Planung. – Abb. 6b: Zustand vier Jahre nach Eingliederung.

renz mit 6 Implantaten im Unterkiefer und 8 im Oberkiefer bis hin zur Zahn-für-Zahn-Rekonstruktion bis in regio 06. Die Vielzahl der Planungsinformationen und der therapeutischen Möglichkeiten erfordert hier einen besonders hohen Planungsaufwand, der allerdings wegen der erheblichen Folgen immer gerechtfertigt ist. Eine auf digitalen Abformungen basierte Planung ist hier nicht sinnvoll, da auch die Wangen- und Lippenunterstützung durch die Suprakonstruktion von Bedeutung ist und diese nur am und mit dem Patienten gefunden werden kann. Hier werden auch die Vorteile der prothetischen Planung besonders deutlich.

Selten findet man zahnlose Kiefer vor, die keine spezielle Vorgehensweise erfordern. Ein Beispiel ist in Abb. 4 gezeigt. Häufig muss massiv augmentiert werden, wie dies beim Patienten in Abb. 5 geschehen ist. Die Frage, wie lange die Zähne letztlich werden dürfen, muss mit dem Patienten vor Behandlungsbeginn geklärt werden und hängt sehr von der Exposition der Zähne durch die Lippenhaltung ab (Abb. 5f). Im Unterkiefer wird häufig nur interforaminal implantiert, nicht zuletzt, weil umfangreiche Augmentationen im Unterkieferseitenzahnbereich immer noch problematisch sind. Abb. 6 zeigt eine Patientin mit 6 Implantaten und einer Extensionsbrücke.

Auch für einfach erscheinende Implantationen im zahnlosen Kiefer für herausnehmbaren Zahnersatz ist eine 3-D-Planung mit Planungsprothese sinnvoll, nicht nur um die funktionelle Wiederherstellung und die Weichteilunterstützung zu prüfen, sondern auch um mit dem Zahntechniker die Position der Implantate so zu wählen, dass die für Halteelemente nötige Box richtig positioniert werden kann. Abb. 7 zeigt das Beispiel einer Positionierung der mesialen Implantate, die wegen der bissbedingten Zahnstellung eine weiter linguale Stellung erforderte, als dies nur bei Betrachtung des Unterkiefers erfolgte.

Diskussion

Die Vorteile lassen sich unter dem Begriff einer größeren Informationsmenge und -qualität subsummieren (Tabelle 3). 3-D-Diagnostik erlaubt zuverlässig Informationen über den Zustand des Alveolarfortsatzes zu erhalten. Mit der zusätzlichen Planungsaufstellung erhält man Informationen über die Wiederherstellung von Funktion und Ästhetik. Die Zusammenführung beider Informationsquellen führt zu einer optimalen Behand-

lungsvorbereitung. Zwar können durch einen erfahrenen Operateur und bei entsprechender Flexibilität des Patienten Überraschungen auch ausgeglichen werden, man überlässt jedoch das intraoperative Vorgehen auch spontanen Entscheidungen. Die Planung mit Wissen der 3D-Daten erlaubt eine Planung mit überlegtem Vorgehen und Bereithaltung des spezifisch notwendigen Instrumentars und Ersatzmaterials.

Aus Sicht der Patienten dürfte insbesondere die Nachvollziehbarkeit des Ausgangsbefundes und der Behandlung und die damit verbundene Sicherheit im Vordergrund einer positiven Bewertung stehen.

Nachteile kann man allenfalls im sozioökonomischen Bereich erkennen. Dieser relativiert sich mit zunehmender Anwendung durch zielgerichteteres und schnelleres Arbeiten und damit auch weniger Nacharbeiten. Eine Implantation stellt immer eine

Insgesamt höherer Qualitätsstandard durch

- Risikoerkennung
- Planungssicherheit
- Herstellung physiologienaher Strukturen
- Zielgerichtetes, schnelles Arbeiten
- Compliance
- Kostentransparenz

Tab. 3: Vor- und Nachteile prothetisch orientierter 3-D-Planung.

rechtfertigende Indikation für eine dreidimensionale radiologische Darstellung dar. Die Einführung dieser neuen Techniken erfordert größere Logistikanforderungen als bei üblichen zahnärztlichen Vorgehensweisen, mit einer umfangreicheren Einbeziehung des gesamten, am Behandlungserfolg beteiligten Teams.

Bei aller Sicherheit darf man jedoch nicht vergessen, dass immer ein Operationsrisiko bleibt. Ein zu starkes Verlassen auf Methodiken kann auch zu Nachlässigkeiten führen. Auch eine 3-D-Planung kann letztlich fehlerbehaftet sein und diese Fehler können dann erschwerend auf die Behandlung einwirken. Dafür ist es zunächst wichtig alle Schritte der Planung und Fehlerquellen zu kennen, sich also mit der Methode durch Schulung und Eigenstudium zu befassen. Man bleibt also nicht der Aufgabe entbunden auch während der Behandlung kritisch zu bleiben, um nötigenfalls von falschen Weichenstellungen wieder abzugehen. Die Vorteile der 3-D-Planung sind jedoch so überwiegend, dass man nicht mehr auf sie verzichten möchte.



Autor

Dr. Dr. Peter Ehrl
Zahnärzte am Spreebogen
Holsteiner Ufer 34, 10557 Berlin
E-Mail: peter.ehrl@andepend.com

