Computergestützt Implantieren

Digitaler Workflow erhöht die klinische Sicherheit.

Autor_Manfred Kern

In der Implantatversorgung treffen sich mehrere Hightech-Verfahren: Computergestützte Diagnostik und OP-Vorbereitung, CAD/CAM-Konstruktion und moderne Prothetikwerkstoffe sind die neuen Wegzeichen. Nirgendwo in der Zahnmedizin griff der Wandel so breit gefächert und umfassend ein. Auf mehreren Ebenen haben Digitaltechnik und neue Behandlungsmethoden die Implantatversorgung grundlegend verändert.

_Die Verwendung der digitalen Technologie in der Implantologie hat vor allem ein Ziel: Die Vereinfachung von Prozessen bei gleichzeitiger Erhöhung der Genauigkeit für die OP und in der Prothetik. So ermöglicht die digitale Volumentomografie (DVT, 3-D-Röntgen) in Echtzeit den Blick in die dritte Dimension. Durch die räumliche Zuordnung der Befunde auch in Beziehung zu den Nachbarstrukturen ermöglicht dies eine detailreiche Analyse des Operationssitus (z.B. Ausdehnung der Sinushöhlen). Es können anatomische Strukturen vor dem chirurgischen Eingriff visualisiert und Implantate chirurgisch und prothetisch sinnvoll geplant werden. Besonders die klare, dreidimensionale Erfassung des Nervus alveolaris inferior bietet ein hohes Maß an Sicherheit bei der OP.

In der Praxis steht die Prothetik am Anfang und Ende jeder Implantatversorgung und ist ein wesentlicher Faktor, dass eine perfekte Ästhetik erzielt wird. Die computergestützte Planungssoftware ermöglicht hierbei die „Rückwärtsplanung"[1]: Die Erfordernisse der prothetischen Rekonstruktionen bestimmen weitgehend die Platzierung des Enossalpfeilers, die Gestaltung und Angulation der Suprastruktur und simuliert die funktionellen Bewegungen. Die Kombination aus digital-prothetischer und chirurgisch-implantologischer Planung ermöglicht es, die Daten der digitalisierten Intraoralabformung sowie die virtuell konstruierte, prothetische Suprastruktur mit der Implantatkrone im DVT-Röntgenbild deckungsgleich zu vereinen (Abb. 1). Zur Vorbereitung der OP besteht die Möglichkeit, mittels der kombinierten Digitaldaten eine chirurgische Bohrschablone für die enossale Tiefenbohrung virtuell zu konstruieren, die neuerdings auch in der Praxis hergestellt werden kann (Abb. 2). Basiert die Implantatplanung heute zumeist noch auf der konventionellen Intraoralabformung, wird durch den Einsatz der digitalen bzw. lichtoptischen Intraoralabformung der Behandlungsablauf standardisiert und verkürzt.[2] Da für die prothetischen Aufbauten vielfach vollkeramische Werkstoffe wie Zirkoniumdioxid (ZrO_2) zum Einsatz kommen, die ohnehin einen digitalen Workflow zur CAD/CAM-Bearbeitung

Abb. 1_ Der virtuell importierte Enossalpfeiler und die CAD/CAM-konstruierte Suprastruktur werden im DVT deckungsgleich und exakt positioniert. Für die OP ist der Nervus alveolaris gut erkennbar. Quelle: Sirona

Abb. 2_ Mittels Digitaldaten hergestellte chirurgische Bohrschablone mit Führungshülsen für die verschieden dimensionierten Knochenfräser. Quelle: Sicat/Ritter

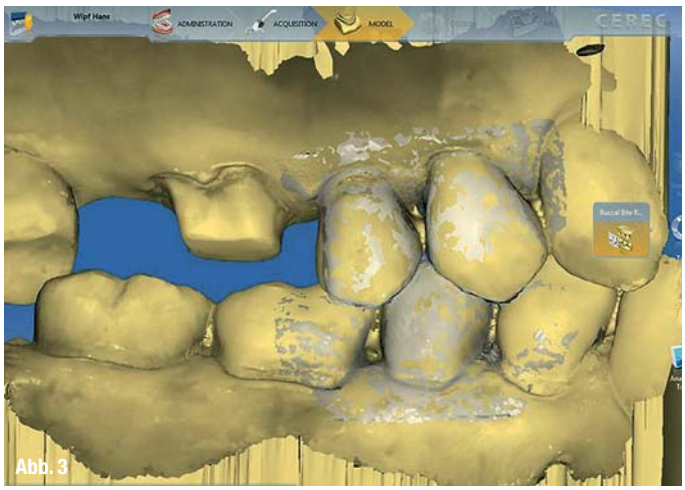


Abb. 3

Abb. 4

benötigen, ist es folgerichtig, die digitale Erfassung auf die Mundhöhle auszudehnen (Abb. 3).[3]
Gegenstand aktueller Entwicklungen ist unter anderem die Verknüpfung der intraoral erfassten Daten mit anderen Bereichen der Zahnmedizin, so z.B. mit dem digitalen Artikulator, mit der Axiografie zur Aufzeichnung der kinematischen Bewegungsabläufe der Kiefergelenke und der Grenzbewegungen der Kondylen als mögliche Voraussetzung für die exakte Modellübertragung. Mit dem 3-D-Gesichtsscan lässt sich der Einfluss der implantologischen Augmentation und der chirurgisch-prothetischen Rekonstruktion auf die Mimik simulieren und prätherapeutisch dem Patienten vorstellen.[4]

_Prothetik entscheidet das klinische Überleben

Eine entscheidende Schnittstelle zwischen dem osseointegrierten Implantat und der prothetischen Suprastruktur ist das Implantatabutment.[5] Es bildet den sensiblen Übergang durch das periimplantäre Weichgewebe zur Mundhöhle und zur Implantatkrone (Abb. 4). Die Anforderungen für das Abutment sind eine hohe Stabilität und Dauerfestigkeit, chemische Beständigkeit, sehr gute Biokompatibilität, die Option für eine individuelle Formgebung und Achsenausrichtung sowie ästhetische Eigenschaften, um durch ein Maskieren das Durchschimmern des meist grauen Titan-Enossalteils zu verhindern.[6]
Vor allem im Frontzahnbereich gelten ein individualisierbares Austrittsprofil sowie eine zahnähnliche Farbe und Transluzenz bei einem parodontalen Morpho-Typ A1 oder A2 als wichtige Faktoren zur Rekonstruktion einer zufriedenstellenden Ästhetik (Abb. 5).[7,8,9,10] Zahnfarbene Materialien bieten in der ästhetischen Zone gewisse Vorteile, wenn es unter ungünstigen strukturellen Bedingungen zu einer Freilegung der Abutmentoberfläche kommen sollte. In Langzeitstudien bewiesen ZrO_2-Abutments eine höhere Überlebensdauer als Al_2O_3-Abutments.[11]
Allerdings zeigten metallkeramische und vollkeramische Implantatkronen auf Titanabuments eine noch höhere Bruchfestigkeit und sind vorwiegend im Molarenbereich oder bei schwierigen Bissverhältnissen angezeigt.[12,13] Die geringere Neigung zur Plaqueagglomeration nutzen Heilungskappen aus ZrO_2; die Bakterienadhäsion ist hier geringer als bei Heilungskappen aus Titan.[14]
In der letzten Dekade haben sich besonders durch die Entwicklung der CAD/CAM-Verfahren neue Möglichkeiten zur Individualisierung von Implantatabutments ergeben.[15,16] Hierbei werden bevorzugt Werkstoffe wie Titan und ZrO_2 eingesetzt.[17] Industriell vorgefertigte Werkstoffe, standardisierte Produktionsprozesse, die softwaregesteuerte Kontrollmöglichkeit zur Einhaltung der Mindeststärken, die materialschonende Bearbeitung – das sind die Vorteile der computergestützten Herstellung gegenüber der manuellen Fertigung. Diese Kriterien tragen wesentlich dazu bei, dass

Abb. 3_ Intraoralscan der klinischen Situation als Datenbasis für die prothetische Konstruktion. Quelle: Bindl
Abb. 4_ Abutment aus ZrO_2 als Gestalter des Gingivaprofils und Träger der Implantatkrone. Quelle: Zöllner

Abb. 5

Abb. 6

Abb. 5_ ZrO_2-Abutments für den Frontzahnbereich. Bei dünner Gingiva wird der Titanpfeiler abgedeckt. Einfallendes Licht wird in die Gingiva transferiert („rote Ästhetik"). Quelle: Beuer, Schweiger
Abb. 6_ Das ZrO_2-Abutment maskiert den graufarbenen Titanpfeiler – hier mit Krone aus Lithiumdisilikat (e.max Press). Quelle: Zöllner

Implantate mit CAD/CAM-gefertigten Suprastrukturen eine hohe Überlebensrate aufweisen.[18] Werden Untersuchungsergebnisse von Zembic et al.[19] zugrunde gelegt, scheint die Kombination von individuell anatomisch geformten Implantataufbauten und oxidkeramischen Kronen eine vergleichbare klinische Dauerhaftigkeit zu gewährleisten wie bei metallkeramischen Suprakonstruktionen.

_Abutments formen Weichgewebe

Konfektionierte Abutments stoßen manchmal an ihre Grenzen und bieten in angezeigten Fällen unbefriedigende Lösungen. Bei individuell CAD/CAM-gefertigten Abutments kann sowohl die Achsneigung als auch die Form optimal der gegebenen Situation angepasst werden. Größter klinischer Vorteil ist die individuelle Gestaltung des Austrittsprofils. Die Ausformung des Weichgewebes wird durch ein individualisiertes Emergenzprofil unterstützt (Abb. 6). Bei zementierten Restaurationen entfällt beim individualisierten Abutment die schwierige Überschussentfernung, da der marginale Rand der Suprakonstruktion in den isogingivalen oder in den gut zugänglichen intrasulkären Bereich gelegt werden kann. Individualisierte, CAD/CAM-gefertigte Abutments, die bereits die Geometrie des beschliffenen Prämolaren oder Molaren nachbilden, sind höher belastbar als konfektionierte Abutments.[20]
Die Verbindung zwischen Vollkeramikabutment und Titanimplantat ist derzeit Diskussionsgegenstand. Werden ZrO_2-Abutments einteilig ohne Zwischenstruktur gefertigt, bietet dies den Vorteil, dass sich keine Klebe- und Fügematerialien im Sulkus der implantatgetragenen Restauration befinden. Bedenkenswert ist jedoch, dass alle Abutmentverbindungen für Titanimplantate mit einer Rotationssicherung und für metallische Werkstoffe konstruiert wurden. Scharfe Kanten, dünne Wandstärken und konische Verbindungen sind zwar mit CAD/CAM-Systemen aus Vollkeramik herstellbar. Die Geometrien sind aber wenig keramikgerecht, daher sind Spannungsspitzen und evtl. ein klinisches Versagen vorprogrammiert.[21] Eine weitere Schwachstelle ist der Schraubensitz, denn durch das Verschrauben von Keramik auf einem Metallteil entsteht, je nach Geometrie, eine Zugspannung, die zur Fraktur führen kann.[15] Als mögliche Risiken gelten auch lange Kronen, geringe Implantatdurchmesser verbunden mit dünnen Wandstärken der Aufbauteile sowie scharfkantige Übergänge zwischen Elementen der Rotationssicherung. ZrO_2 und Titan haben grundsätzlich verschiedene Eigenschaften. Kommt es zu einer Schraubenlockerung, kann sich die differenzierte Härte der Werkstoffe auf die Innengeometrie des weicheren, osseointegrierten Enossalpfeilers auswirken und eine Fraktur auslösen.[22]

_Titan stabilisiert ZrO_2-Abutment

Eine inzwischen gängige Lösung ist die Verwendung einer Mesiostruktur aus Titan, die in den Titan-Enossalpfeiler eingreift (Abb. 7). Darauf kann ein individuelles Abutment aus ZrO_2 mittels Klebung befestigt werden. Dadurch wird die graufarbige Titanhülse durch das weiße ZrO_2 maskiert. Der entscheidende Vorteil ist, dass in der Kontaktzone zwischen Implantat und Abutment das gleiche Material (Titan) Verwendung findet. Dadurch werden unterdimensionierte Keramikteile im Inneren des Implantats vermieden. Das ZrO_2-Abutment erhält durch das „Titan-Innenleben" eine höhere Stabilität.[19] Bedenken, dass die dauerhafte Verklebung durch das Befestigungskomposit auf der Höhe der Implantatschulter biologische Komplikationen auslöst, konnten nicht bestätigt werden.[23] Deshalb ist die Kombination einer Titanklebebasis mit einem ZrO_2-Abutment – auch Hybridabutment genannt – derzeit eine bewährte Lösung zur Nutzung individualisierter Abutments, auch beim Einsatz für kurzspannige Implantatbrücken.[11]
Die Herstellung des Hybridabutments erfolgt mit der Digitalisierung des Meistermodells und des Okklusion-Registrats mithilfe des Scanners. Ein

Abb. 7

Abb. 7_ Beim Hybridabument wird die Titanhülse mit dem Enossalpfeiler verschraubt, das ZrO_2-Abutment mit der Titanhülse verklebt. Das ergibt eine spannungsfreie Verbindung. Quelle: Sirona

Scanabutment (Scan Body) ermöglicht eine räumlich exakte Lagebestimmung des Laborimplantats. Mit weiteren Scans werden die Weichgewebesituation und die Nachbarzähne erfasst, um ein vollständiges virtuelles Modell zu erhalten. Mit der Software wird ein individuelles Abutment konstruiert und darauf geachtet, dass sich die Präparationsgrenze der späteren Implantatkrone ca. 1 Millimeter intrasulkär befindet. Mit dem Datensatz wird das Abutment aus vorgesintertem ZrO_2 ausgeschliffen. Der Schraubenkanal für die Befestigungsschraube sowie eine Nut zur Rotationssicherung sind bereits im Keramikblock herstellerseitig eingearbeitet (z.B. inCoris ZI meso, Sirona, Abb. 8). Nach dem Ausschleifen wird das Abutment über 6 Stunden bei 1.350 °C laborgesintert. Für die Befestigung wird die Klebefläche des Abutments sowie die Titanklebefläche abgestrahlt (Al_2O_3-Korn 50 µm, Strahldruck 1 bar, 20 mm entfernt). Es erfolgt die Silan-Applikation (Monobond-S, Ivoclar), anschließend die Verklebung mit Monomerphosphat (PANAVIA 21, Kuraray). Nach der Einprobe mit Prüfung des Verlaufs der Präparationsgrenze erfolgt die Herstellung der Krone. Dafür wird das Meistermodell mit aufgeschraubtem Abutment erneut digital erfasst – alternativ intraoral optoelektronisch gescannt (Abb. 9) – und das Gerüst für eine Verblendkrone aus ZrO_2 oder eine monolithische Krone aus Lithiumdisilikat (verblendfrei) konstruiert und aus konfektionierten Keramikblocks ausgeschliffen. Bei der Gestaltung der Approximalflächen im Rahmen der ZrO_2-Verblendung wird die Höhe des krestalen Knochens ins ZT-Labor übertragen. Damit wird die Ausbildung der späteren Papillenstruktur vorbereitet.[24] Bei der Eingliederung wird das individualisierte Abutment mit 20 Newton/cm Drehmoment angezogen (Herstellerempfehlung) und der Schraubenkanal mit lichthärtendem Kunststoff verschlossen. Für die Befestigung der Krone eignen sich dualhärtende Befestigungskomposite.

Abb. 8

_ZrO_2 ist kein Universalwerkstoff

Für die Herstellung der Implantatkrone stehen verschiedene Werkstoffe zur Wahl. Bei der Selektion sollte die mechanische Stabilität und die lichtoptischen Eigenschaften gegeneinander abgewogen werden. Aluminiumoxidkeramik (Al_2O_3, In-Ceram, Procera) bietet eine bessere Lichttransmission als das opake ZrO_2 und ist deshalb besonders für implantatgetragene Frontzahnkronengerüste geeignet.[25] Sehr ästhetische Eigenschaften bietet Lithiumdisilikat (LS2, e.max CAD oder Press), das monolithisch ausgeschliffen werden kann und keine Verblendung benötigt (Abb. 10).[26] ZrO_2 sollte als Kronenwerkstoff dann bevorzugt werden, wenn Festigkeit und Stabilität im Vordergrund stehen, z.B. im Molarenbereich (Abb. 11). In klinischen Studien mit implantatgetragenen Abutments, Kronen und Brückengerüsten aus ZrO_2 wird von guten Erfolgsraten berichtet;[27, 28] in anderen Studien wurde ein hoher Anteil von Verblendfrakturen (Chipping) auf ZrO_2 festgestellt.[29] Obwohl die Gründe wie ungenügende Höckerunterstützung und dicke Verblendschichten bekannt sind und es inzwischen zu einem Rückgang der Verblendfrakturen kam, werden heute in zunehmendem Maße monolithische ZrO_2-Kronen, also ohne Verblendung, auf Implantaten genutzt. Aus ästhetischen Gründen bleiben diese ZrO_2-Kronen auf den Seitenzahnbereich beschränkt.

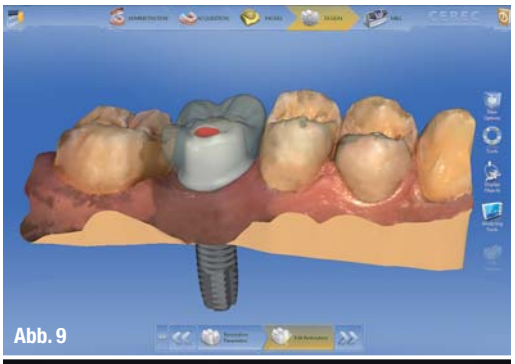


Abb. 8_ CAM-schleifbarer ZrO_2-Block für ein Abutment mit Schraubenkanal.
Quelle: Sirona

Abb. 9_ Intraoralscan mit CAD-Konstruktion der Implantatkrone, System CEREC.
Quelle: Bindl

Abb. 10_ ZrO_2-Abutment und Implantatkrone aus Lithiumdisilikat (e.max CAD).
Quelle: Zöllner

Abb. 11_ Implantatgetragene, dreigliedrige Brücke (Regio 46–47) aus „Vollzirkon" ohne Verblendung, noch unpoliert bei der Einprobe.
Quelle: Wiedhahn

Gute Aussichten bestehen für diese Versorgungsart in der Implantatprothetik; hier kann wegen der fehlenden ossären Eigenbeweglichkeit des Enossalpfeilers und des taktilen Defizits das erhöhte Risiko einer Fraktur ausgeschlossen werden.[30]
Ob eine Restauration verschraubt oder zementiert wird, hängt von der Präferenz des Behandlers und von der vestibulo-oralen Positionierung des Implantates ab. Ein palatinal gelegener Schraubenzugang ermöglicht eine Verschraubung. Die Vorteile liegen in einem möglichen späteren Zugang zur Schraube und in der Vermeidung von Zementresten im periimplantären Weichgewebe. Als Nachteile sind eine größere Gefahr von Keramikabplatzungen aufgrund der diskontinuierlichen Keramikfläche und mögliche biomechanische und hygienische Probleme bei zu ausladenden Überhängen anzusehen. Zementierte Suprakonstruktionen erlauben dagegen eine den anatomischen Voraussetzungen entsprechende Gestaltung des Abutments. Nicht ideal positionierte bzw. angulierte Implantate können leicht ausgeglichen werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Abutments sehr frühzeitig inseriert werden können und bis zur Stabilisierung der Weichgewebe ein konventionelles Kunststoffprovisorium die Zahnkrone ersetzt. Bei zementierten Suprakonstruktionen sollte generell eine nur leicht subgingival gelegene Präparationsgrenze verwendet werden, um Zementreste komplett entfernen zu können.[31]

_Klinische Bewährung

Mit der fortschreitenden Entwicklung in der Implantologie ist ein Rückgang von Komplikationen erkennbar. Eine Metaanalyse zeigt, dass Schraubenlockerungen und Frakturen ca. 22 Prozent aller prothetischen Komplikationen auf Implantaten betragen - gefolgt von Verblendfrakturen mit 14 Prozent und Frakturen der Suprastruktur mit 3 Prozent.[32] In neueren Studien sinkt die Schraubenlockerung auf 8 Prozent bei Einzelkronen. Wittneben et al. kontrollierte in einer 10-jährigen Studie 268 implantatgetragene Einzelkronen und 127 Brücken; die Überlebensrate der Rekonstruktionen betrug 95,5 Prozent.[33] Die prothetische Erfolgsrate war mit 70,8 Prozent deutlich niedriger, ausgelöst von Verblendfrakturen. Die zweithäufigste mechanische Komplikation war die Lockerung der Okklusalschraube, gefolgt von Retentionsverlust. Ekfeldt et al. überprüfte 185 implantatgetragene Kronen und Abutments aus ZrO_2 und stellte nach 5 Jahren eine Überlebensrate von 100 Prozent fest.[34] Die Kontrolle von 328 Abutments aus ZrO_2 mit Al_2O_3-Dotierung ergab nach 5 Jahren eine Erfolgsquote von 95 Prozent.[35] Diese Ergebnisse basieren meist auf dem Einsatz von konfektionierten Abutments; individualisierte Suprastrukturen fanden erst in jüngerer Zeit Eingang in die implantatgestützte Prothetik. Die Haltbarkeit von Vollkeramikkronen auf ZrO_2-Abutments wurde gegen Titanabutments mit Metallkeramikkronen verglichen. Nach fünf Jahren klinischer Beobachtung gab es klinisch keinen signifikanten Unterschied.[36]
Das Indikationsspektrum von Implantaten ist heute groß. Es umfasst Einzelzahnlücken, Freiendsituationen, Mehrfachlücken und zahnlose Kiefer. Die häufigste Indikation ist die Einzelzahnlücke in der Maxilla, wovon 40 Prozent im anterioren Bereich liegen.[37] Individualisierte Abutments, im CAD/CAM-Verfahren hergestellt, haben ein deutlich breiteres Indikationsfeld als vorfabrizierte Sekundärteile und bieten eine größere prothetische Freiheit in der Definition des zukünftigen Kronenrandes, der Position und der Abwinkelung.[33]

_Fazit

Der digitale Workflow in der Implantologie verknüpft eine Reihe von Technologien, die heute teilweise noch „Insellösungen" sind, aber in zunehmendem Maße in ein umfassendes Behandlungs- und interdisziplinäres Arbeitskonzept integriert werden, das Praxis und ZT-Labor in der Planungsphase und bei der Ausführung verbindet. Schon heute sind die Arbeitsabläufe standardisiert; dadurch werden Fehlerrisiken minimiert. Aufgrund der hohen Überlebensrate und der Positionsgenauigkeit computergestützt inserierter Implantate ist der digitale Workflow in der Lage, auch komplexe anatomische Situationen zu meistern. Ziel der Digitalisierung in der Implantologie muss sein, dass die chirurgische und prothetische Versorgung mit hoher Qualität und zu wirtschaftlichen Bedingungen erfolgt._

_Kontakt

digital dentistry

Manfred Kern
Schriftführung der
Arbeitsgemeinschaft
für Keramik in der
Zahnheilkunde e.V.
Postfach 100 117
76255 Ettlingen
E-Mail: info@ag-keramik.de
www.ag-keramik.de

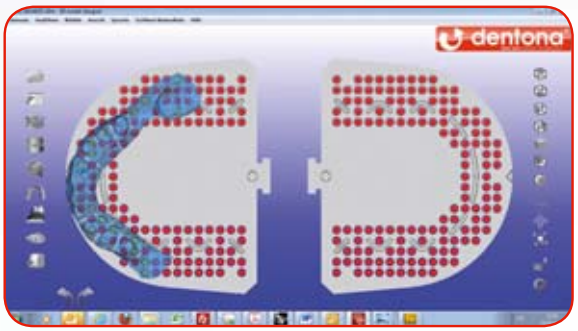
Literatur

dentona®
NEW WAY DENTAL TECHNOLOGY

Digitale Modellherstellung im Labor

Testen Sie 30 Tage kostenlos
FREE DOWNLOAD
www.digitale-modellherstellung.de

Ihr Technologiepaket aus 3 Bausteinen



3D modeldesigner

Erstellen Sie in nur wenigen Schritten aus den digitalen Abformdaten das **dentona®-Modell**.

3D modeldisc

der gipsbasierte Fräswerkstoff in Rondenform.

dentobase® 3D

Das innovative Modellsystem bildet die Verbindung zu allen Artikulatorsystemen.

IHRE VORTEILE

- kompatibel zu fast allen 5-Achs-Fräsmaschinen und CAM-Systemen
- zusätzliches CAM Modul bei Bedarf lieferbar
- sehr niedriger Investitionsaufwand: ab 1.950,- € zzgl. USt.

www.digitale-modellherstellung.de