Sicher interdisziplinär navigieren

Autoren_Dr. med. Frank Schaefer, Dr. rer. nat. Dagmar Schaefer, Dr. med. dent. Mike C. Zäuner, ZTM Jürgen Sieger

Täglich erhalten wir Nachrichten über neue kurative Verfahren und deren erfolgreiche therapeutische Anwendung. Durch die Neuen Medien werden die Informationen über weltweit erbrachte medizinische Spitzenleistungen augenblicklich breiten Teilen der Bevölkerung zugänglich gemacht. In diesem Umfeld stehen wir als Behandler einem wachsenden Qualitätsanspruch unserer Patienten gegenüber.

_Eine komplexe zahnmedizinische Therapie ist in zunehmendem Maße nicht mehr als Einzelleistung eines „Universalgenies", sondern nur noch durch konsequente interdisziplinäre Zusammenarbeit zu erreichen. Diagnostik und Therapiestrategien sind als notwendige Voraussetzungen immer umfänglicher vor den eigentlichen manuellen zahnärztlichen Tätigkeiten zu erbringen. Vorausplanung therapeutischer Maßnahmen und durchgehende Anwendung von Behandlungspfaden und Arbeitsanweisungen im Sinne eines Qualitätsmanagements bilden die Grundlage erfolgreicher komplexer oraler Rehabilitationen. Ein wichtiger Baustein sind dreidimensionale bildgebende Verfahren, auf deren Grundlage zahnmedizinische Diagnostik und implantologische Navigationsverfahren aufbauen. Navigationsverfahren gelten in der Implantologie als eingeführt. Seit fast 20 Jahren werden sie genutzt, trotzdem gehen die Meinungen auch heute noch unter den Kollegen weit auseinander: von „braucht man nicht" über „funktioniert sowieso nicht" bis „nicht mehr ohne".
Die Voraussetzung für 3-D-Diagnostik und Implantatplanung ist die Möglichkeit, 3-D-Röntgendaten entsprechend den Anforderungen bearbeiten und auswerten zu können. In der Zahnmedizin wird als 3-D-Röntgendatenquelle die digitale (dentale) Volumentomografie zunehmend angewandt.
In Leitlinien „2005: Dentale Volumentomographie (DVT) – S1-Empfehlung" und „2012: Indikationen zur implantologischen 3D-Röntgendiagnostik und navigationsgestützten Implantologie – S2k-Leitlinie" setzt sich die DGZMK mit dem Stand auf diesem Gebiet substanziell auseinander. Neben den technischen Prinzipien, Voraussetzungen und Indikationen werden auch die aktuell machbaren Resultate bei der Anwendung der navigationsgestützten Implantation zusammengefasst und kommentiert. Aus den wenigen zur Verfügung stehenden In-vivo-Daten geht hervor, dass sich die erhaltenen Abweichungen an der Implantatspitze von 2,4 mm 2005 auf 4,7 mm in der S2K-Leitlinie 2012 offensichtlich verschlechtert haben, ebenso wie die Abweichung in der Implantatachse von 4 Grad (2005) auf 9,8 Grad (2012). Bei den zitierten In-vitro-Studien verringerten sich dagegen die Abweichungen in der Lage der Implantatspitze (2005: 6 mm; 2012: 2,5 mm) ebenso die Abweichungen in der Implantatachse (2005: 11 Grad; 2012: 7,9 Grad).

Abb.1a und b_ Reale aktuelle klinische Fälle als Beispiel für offensichtlich unzureichende 3-D-Diagnostik und freihändische Insertion: a) Die Implantate im dritten Quadraten und Regio 47 sind vollständig impaktiert; Regio 37 und 47 durch den Kanal des N. mandibularis gesetzt. Die Bildausschnitte zeigen orthogonale Kieferkammschnitte durch die Implantatmitte. b) Die Implantate Regio 35 und 45 sitzen komplett im Foramen mentale; Regio 46: Läsion des N. mandibularis.

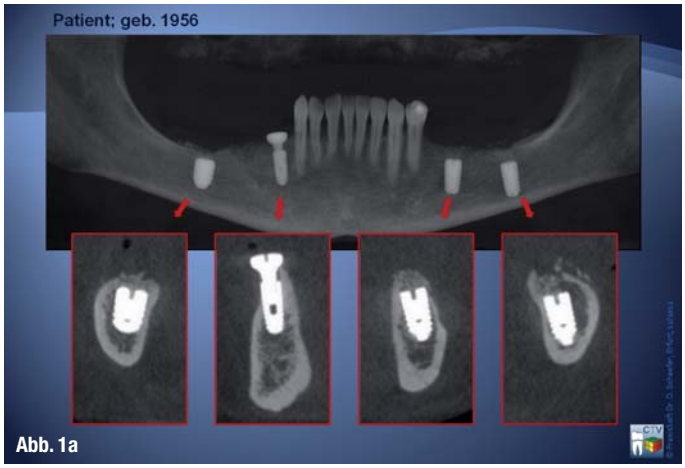
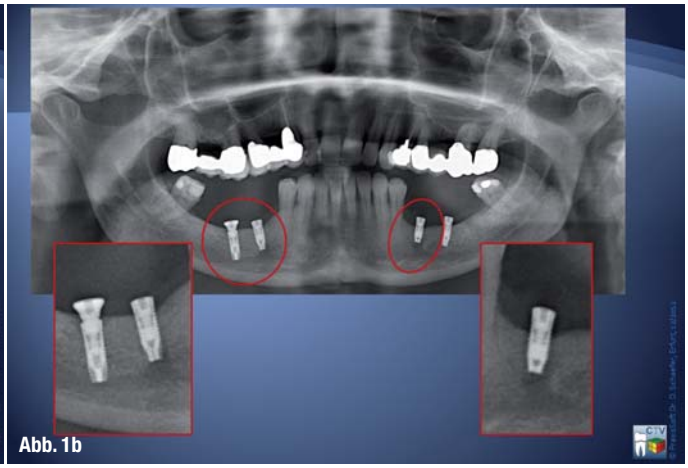


Abb. 1a


Abb. 1b

Diese Daten zeigen, dass alle 3-D-Navigationsverfahren in bisheriger Form sicherlich deutlich besser sind als eine freihandgeführte Implantatinsertion ohne 3-D-Diagnostik, aber keine verlässliche Grundlage für einen exakt geplanten Prozess im Sinne der gestiegenen Erwartungshaltung an modernen medizinischen Therapieformen bilden (Abb. 1a und b).

Die Ursachen für diese großen Abweichungen sind sicherlich vielfältig: Zum einen, wie ausdrücklich in diesen Publikationen beschrieben, gibt es nur wenige Daten, sowohl in vivo als auch in vitro. Zum anderen aber auch zahlreiche Fehlermöglichkeiten durch eine nicht immer konsequent und koordiniert verlaufende Arbeitsschrittfolge. Umso wichtiger ist die Anwendung standardisierter Verfahren bei der Zusammenarbeit aller Beteiligten: Prothetiker, Chirurg, Zahntechniker und ggf. Radiologen und natürlich dem Patienten.

Das CTV-System ermöglicht eben diese Zusammenarbeit zur Therapieplanung und -umsetzung komfortabel, einschließlich der Dokumentation der Verantwortlichkeiten, der anschaulichen Therapiediskussion mit dem Patienten und nicht zuletzt auch der Erfolgskontrolle.

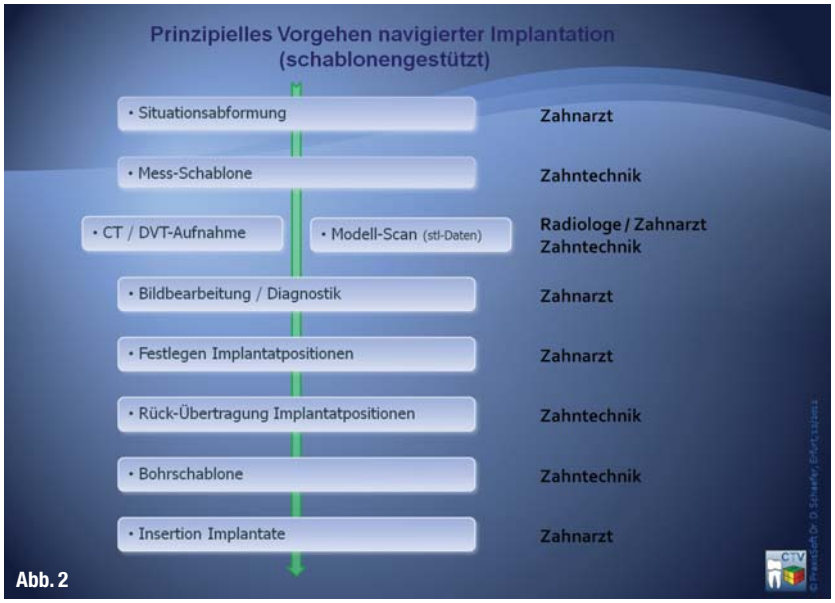


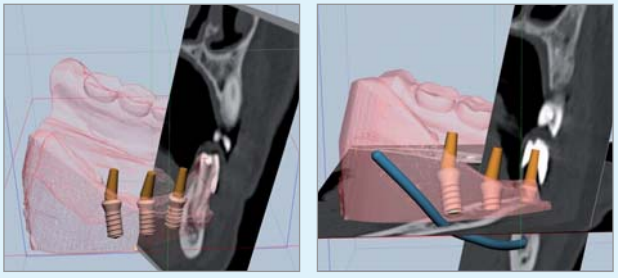
Abb. 2

Abb. 2_ Prinzipielles Vorgehen bei schablonengestützter navigierter Implantation.

_Fehlerbetrachtung

Auftretende Misserfolge bei 3-D-basierten navigierten Implantationen können vielfältige Ursachen haben. Zu unterscheiden sind auch hier, wie bei jeder Fehlerbetrachtung, zufällige und systematische Fehler. Aus dem prinzipiellen Ablauf der schablonengestützten navigierten Implantation (Abb. 2) ist schon allein aus der Anzahl der Teilschritte und der unterschiedlichen Beteiligten ersichtlich, dass in diesem Arbeitsprozess Fehler auftreten können – und auch auftreten. Bei der Fehlerbetrachtung muss sich vor Augen gehalten werden, dass bei der navigierten Implantation im Millimeterbereich, oder auch darunter, geplant und operiert wird. Außerdem wirken sich Fehler in den Teilschritten unter Umständen gravierend auf die Folgeschritte aus. Die genaue Analyse und Entwicklung von Maßnahmen zu ihrer Vermeidung ist demnach geboten. Es hat sich herausgestellt, dass insbesondere in der primären Abformung des Planungskiefers beim Patienten, bei der Erstellung der 3-D-Röntgenaufnahme und in der Rückübertragung der geplanten virtuellen Planungspositionen zurück auf das Kiefermodell bzw. auf die zu verwendende chirurgische Navigationsschablone die Fehler mit den nachhaltigsten Auswirkungen zu finden sind.

Die Qualität des 3-D-Röntgendatensatzes ist abhängig von dem gewählten Aufnahmeverfahren: CT, DVT, Teilvolumen-DVT. Gleichzeitig unterliegen alle Röntgenaufnahmen unabhängig vom verwendeten Gerät grundsätzlich den Gesetzen der Optik und weisen Verzerrungen, Interferenzen und Beugungserscheinungen auf. Außerdem kann eine Bewegungsunschärfe durch den Patienten während der Aufnahme hinzukommen. Einfluss hat auch die reale Pixelgröße im Aufnahmesensor des Gerätes sowie die verwendeten Rechenalgorithmen bei der Bildrekonstruktion im Röntgengerät. Nicht zuletzt ist die fach- und sachgerechte Bedienung hinsichtlich Parametereinstellung und Patientenpositionierung am Gerät ebenfalls qualitätsentscheidend. Ausgehend von einer korrekten Abformung des Planungskiefers und entsprechender Herstellung der Planungsschablone, kann der nicht richtige Sitz dieser Schablone im Patientenmund während der


Abb. 3

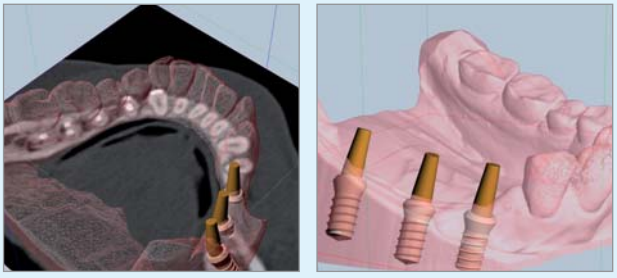

Abb. 4

Abb. 3 und 4_ Auswahl der Möglichkeiten der Verknüpfung von optischen Scan des Kiefermodells mit 3-D-Röntgenplanungsdaten.

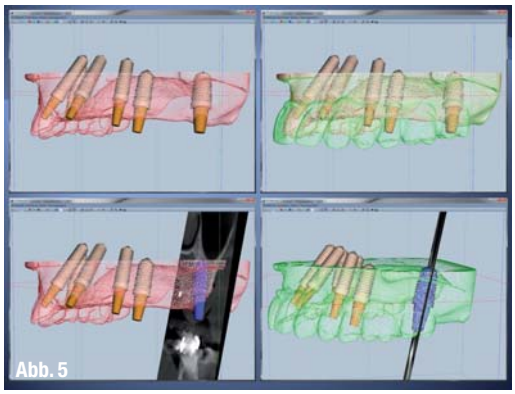


Abb. 5_ Verknüpfung optischer Scan Kiefermodell (rot) und Ästhetikaufstellung (grün) mit 3-D-Röntgenplanungsdaten (Patient ist Blasmusiker).

Röntgenaufnahme ebenfalls zu weitreichenden Planungs- und Übertragungsfehlern führen. Fehler bei und durch die 3-D-Röntgenaufnahme sind immer zufällig und damit auch irreparabel und können somit auch durch Diagnostik und Planung nicht ausgeglichen werden!

Nach der Bilderstellung durch ein Röntgengerät, das dem Qualitätsmanagement auf der Grundlage der Röntgenverordnung unterliegt, wird in den nachgeordneten bildverarbeitenden Prozessen oftmals zu wenig Aufmerksamkeit auf den Erhalt der in den primären Bilddaten vorhandenen Informationen gelegt. Diese nachfolgenden Prozesse sind oft nicht ausreichend zertifiziert und meist auch nicht röntgenverordnungskonform, und es wird leichtfertig ein Verlust an Detail- und Strukturinformationen in Kauf genommen.

Besonders kritisch für die Rückübertragung der virtuellen Implantatpositionen auf das Kiefermodell ist die Differenz der Patientenpositionierung bei der Aufnahme zu dem realen Kiefermodell. Die Rückübertragung mit den unterschiedlichen eingesetzten Kompensationsmechaniken (z.B. CeHa imPlant [X1; X2]™, coDiagnostiX [gonyX]™ usw.) kann daher ebenfalls eine erhebliche Fehlerquelle für den Übertragungsprozess darstellen.

Auch bei der Operation selbst können Fehler auftreten: Der nicht richtige Sitz der chirurgischen Navigationsschablone führt zwangsläufig – bei konsequenter navigierten Insertion – zur Fehlpositionierung der Implantate und damit möglicherweise zur ungewollten, nicht geplanten Schädigung von Nachbarstrukturen. Des Weiteren kann es zu Fehlpositionierungen der Implantate bei „half-guide"-Verfahren (nur Pilotbohrung navigiert) kommen. „Full-guide"-Verfahren erscheinen diesbezüglich sicherer, sind aber unter Umständen nur eingeschränkt einsetzbar. Dieser Auszug von Fehlerquellen ist eine mögliche Erklärung der relativ großen Ungenauigkeit bisheriger Verfahren, wie sie in den oben zitierten Leitlinien der DGZMK-Studien dokumentiert wurden.

_Weiterentwicklung

Auf der Grundlage umfänglicher theoretischer und klinischer Auswertung geht das CTV-System andere Wege, um eine interdisziplinäre Zusammenarbeit und Planungssicherheit mit geringer Fehlertoleranz zu erreichen: Die Anwendung des CTV-Systems ermöglicht es, zufällige und damit nicht vorhersehbare Fehler zu erkennen und, soweit überhaupt möglich, systematische Fehler zu kompensieren.

Der für das CTV-System entwickelte quasi analoge Bildprozessor weist eine relativ große Toleranz gegenüber Qualität und Ausrichtung des primären Röntgenbilddatensatzes auf. Durch ihn können beliebige Bildschnitte im 3-D-Würfel ohne Einschränkung bei Winkeln, Strecken und Orten erstellt werden. Diese Darstellungen überzeugen, genauso wie Übersichtsbilder, berechnete Panoramaschichtbilder und berechnete Fernröntgenbilder, durch ihren Detail- und Strukturerhalt. Der Behandler erhält gewohnte „analoge" Bildqualität.

Trotzdem gilt auch hier: die Qualität des primären Datensatzes und die darin enthaltene Informationsdichte ist entscheidend für die Möglichkeiten der 3-D-Diagnostik und -Planung!

Zusätzlich werden mit dem CTV-System Daten eines optischen Scans von Planungsschablone, Kiefermodell und oder Wax-up/Ästhetikaufstellung und/oder Bohrschablone mit dem 3-D-Röntgendatensatz der Planung zusammengeführt (Abb. 3–5). Durch diesen vollautomatischen Matching-Prozess werden zufällige Fehler in Röntgenbildern aufgedeckt und kompensiert (Abb. 6 und 7).

Planungspositionen hinsichtlich Knochenangebot und prothetischer Ausrichtung können so noch

Abb. 6 und 7_ Beispiel für Fehlererkennung: Überprüfen und Festlegen der Gingivalinie in den Röntgenplanungsbildern mithilfe des gemachten Modellscans.

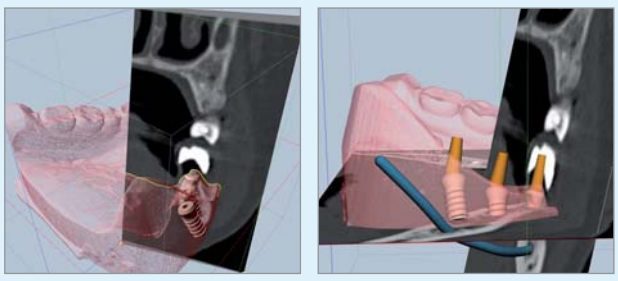


Abb. 6

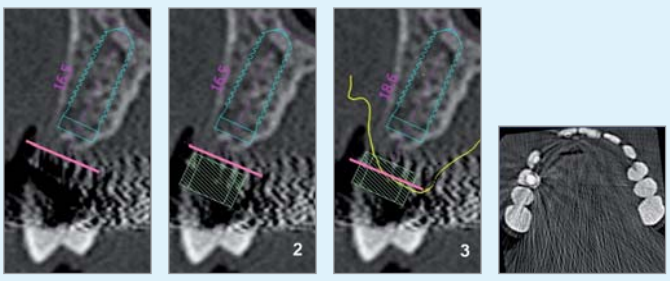


Abb. 7

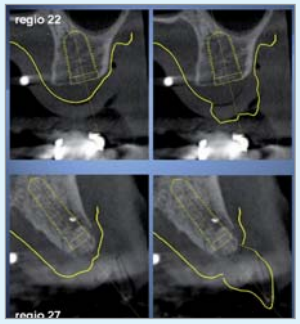


Abb. 8

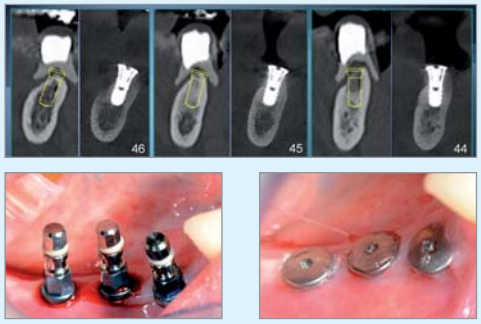
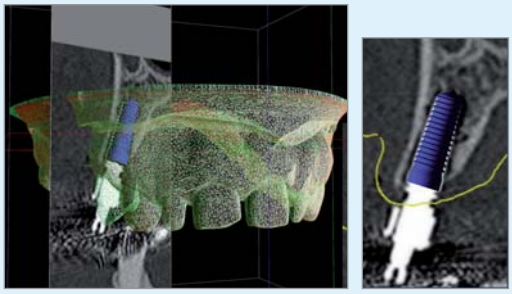


Abb. 9


Abb. 10

nachvollziehbarer und exakter bestimmt werden. Das Emergenzprofil kann mit dieser Methode bereits bei der prothetischen (Vor-)Planung sehr gut eingeschätzt werden. Die chirurgische Navigationsschablone lässt sich damit ebenso basierend auf STL-Datensätzen herstellen. Mit dem anschließenden Matching dieser Schablone mit der Röntgenplanung kann bereits vor der Insertion die korrekte Umsetzung der (virtuellen) Planungspositionen mit den Hülsenpositionen in der Schablone kontrolliert werden.

Ausgehend von optischen und röntgenologischen digitalen Daten werden somit der gesamte Planungs- und Fertigungsprozess ohne weitere Zwischenschritte von einer einzigen Ausgangsbasis digitalisiert und Ungenauigkeiten gegenüber der herkömmlichen Übertragung von virtuellen Positionen auf das reale Modell eliminiert.

Das CTV-System ermöglicht eine sichere postoperative Kontrolle nach Insertion der Implantate. Das heißt, der Planungsdatensatz wird mit dem post OP aufgenommenen 3-D-Röntgendatensatz zielsicher und passgenau zur Deckung gebracht und so die realen mit den geplanten Implantatpositionen miteinander verglichen. Dabei ist unerheblich, ob Planungs- und Kontrolldatensatz vom selben Aufnahmegerät stammen (Abb. 8 und 9). Damit wird eine auch zeitnahe Erfolgskontrolle erreicht, ebenso eine Fehleranalyse bei aufgetretenen Misserfolgen, was zu einer nachhaltigen Fehlervermeidung führen sollte (Lernerfolg).

Selbstverständlich werden im CTV-System umfangreiche, auch individuell beliebig erweiterbare, forensisch sichere Falldokumentationen auf „Knopfdruck" generiert, die als PDF-Datei gespeichert, gedruckt und/oder weitergegeben werden können.

Der Einsatz von im Kiefermodell integrierten RFID-Chips sichert im CTV-System eine lückenlose Dokumentation der Verantwortlichkeiten im Rahmen des Gesamtprozesses (Abb. 10).

_Fazit

Durch die Kombination von röntgenologischen und optischen Daten mit gleichzeitiger Einbeziehung

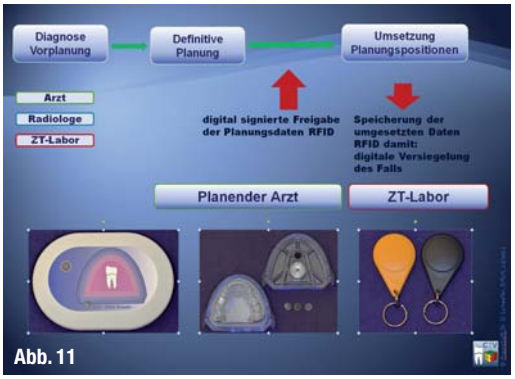


Abb. 11

von CAD/CAM-Fertigungsprozessen wird eine frühzeitige Fehlererkennung möglich und führt im Zusammenhang mit geeigneten Kompensationsmaßnahmen zu einer deutlich besseren Übereinstimmung zwischen Planungsvorgabe und Ergebnis. Die Vielzahl der möglichen Bildkombinationen schafft optimale Bedingungen für eine interdisziplinäre Verständigung bis hin zur plausiblen und verständlichen Erklärung der Therapiestrategie gegenüber dem Patienten. Die Einsatzmöglichkeiten dieser neuen Technik reichen weit über die bloße Implantatplanung hinaus und können vor Ort ohne Anschaffung eines kostenintensiven Spezialequipments und Übertragungsapparaturen angewandt werden._

_Autoren

digital dentistry

Dr. med. Frank Schaefer, Zahnarzt, Erfurt
Dr. rer. nat. Dagmar Schaefer, PraxisSoft, Erfurt
Dr. med. dent. Mike C. Zäuner, Zahnarzt, Dillingen
ZTM Jürgen Sieger, Zahntechnik, Herdecke

CTV-System
PraxisSoft Dr. D. Schaefer e.K.
Haarbergstraße 21, 99097 Erfurt
Tel.: 0361 3468914
E-Mail: info@praxissoft.org
www.praxissoft.org

Autor

Abb. 8_ Automatisches Erkennen von Gingiva- bzw. Zahnstrukturen beim Matchen der Röntgenplanungsdaten mit Kiefermodell bzw. Wax-up.
Abb. 9_ Klinische Erfolgskontrolle; Zustand nach transgingivaler navigierter Insertion (2012).
Abb. 10_ Erfolgskontrolle durch Matching – links: Zur Deckung gebracht wurden 3-D-Röntgenplanung (blaues Implantat) mit Kiefermodell (rot), Wax-Up (grün) und 3-D-Aufnahme post OP (überlagert vom virtuellen Implantat); rechts: Matching Planung, post OP-Röntgenbild mit Gingivalinie aus Kiefermodell (2012).
Abb. 11_ Dokumentation der Verantwortlichkeiten für den Gesamtprozess; unten: RFID-Reader, Modellsockel mit RFID-Chip, individualisierte Ident-Keys für den RFID-Reader.