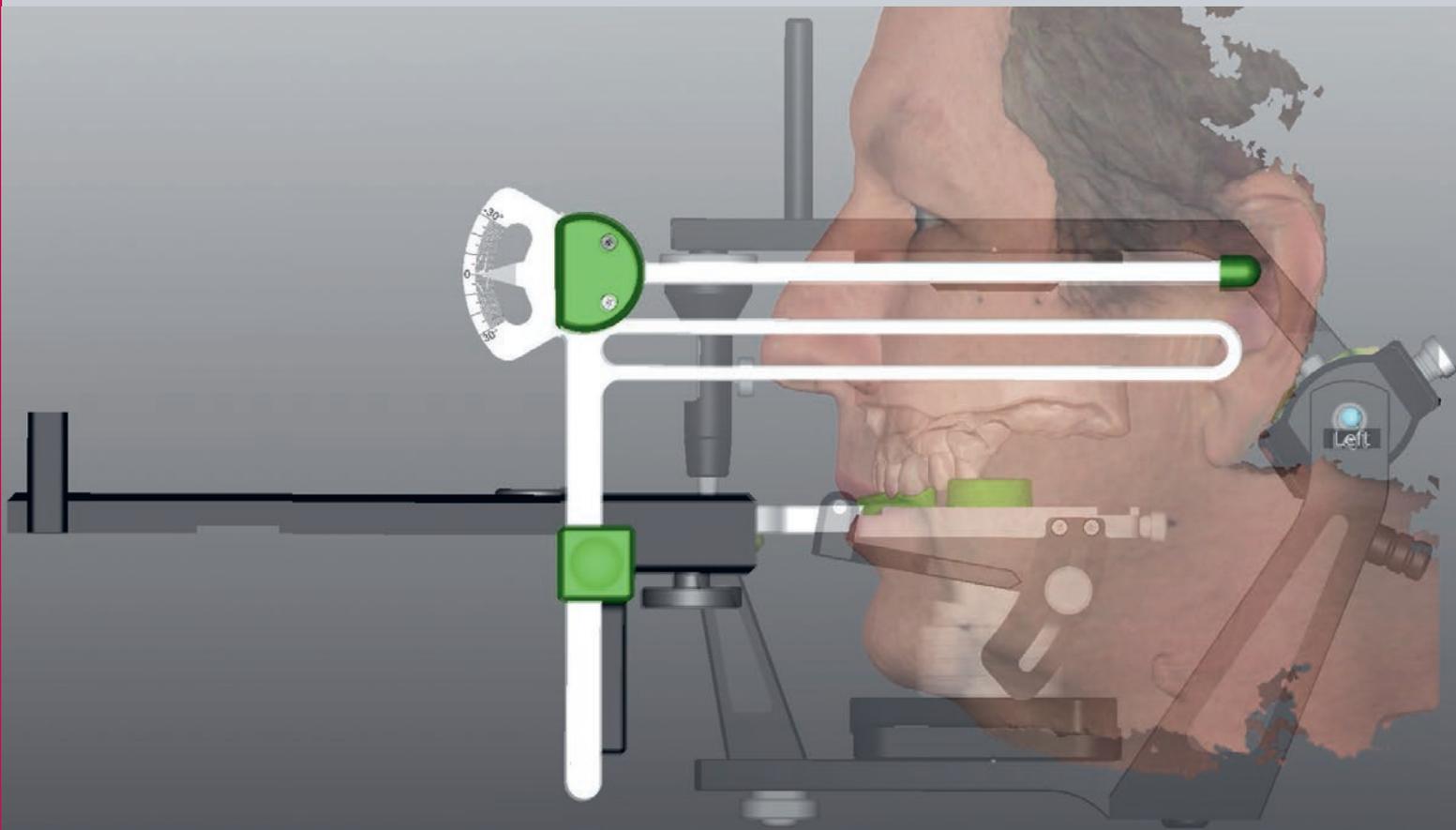


Erfassen referenzierbarer patientenindividueller Daten mittels natürlicher Kopfhaltung

Wael Att, Udo Plaster



Zusammenfassung

Das Erfassen von Informationen ist für jedwede prothetische Therapie die Grundlage. Es bedarf diverser Daten – angefangen vom gesundheitlichen Allgemeinzustand über Zahn- sowie Parodontalstatus, Knochenqualität sowie -quantität bis hin zur Kiefergelenkposition und zu funktionellen Gegebenheiten. Idealerweise lassen sich gesammelte Daten fusionieren und die Informationen zu einem aussagekräftigen Datenpool zusammenfassen. Moderne bildgebende Technologien ermöglichen ergänzend zu analogen Verfahren eine Optimierung konventioneller Diagnostik- und Analysemaßnahmen. Zusätzlich zur Computer- (CT) oder digitalen Volumentomografie (DVT) zählen Gesichtsscanner und die Dental fotografie zu bildgebenden Mitteln. Während der prothetischen Therapie ermöglicht es der Wechsel zwischen der digitalen („virtueller Patient“) und der analogen Welt einen Zahnersatz zu fertigen, der in allen Dimensionen mit der Patientensituation übereinstimmt. Dies zu erreichen, verlangt eine strukturierte Kommunikation innerhalb des Arbeitsteams. Der Artikel beschreibt die Möglichkeiten, basierend auf der natürlichen Kopfhaltung („Natural head position“, NHP) des Patienten und unter Beachtung der natürlichen Asymmetrien das Oberkiefermodell positionsecht in den Artikulator zu übertragen. Dies ist die Grundlage für alle weiteren Arbeitsschritte auf dem Weg zum individuellen Zahnersatz. Durch das Zusammenspiel von digitalen Technologien mit analogen Vorgehensweisen reduziert sich die Anzahl der Einproben im Patientenmund. Ergebnis ist ein effizientes Vorgehen, welches zugleich eine hohe Genauigkeit und Reproduzierbarkeit bietet.

Indizes

PlaneSystem, Okklusionsebene, Unterkieferposition, Oberkieferposition, Bissregistrierung, Implantatprothetik, Gesichtsscanner, natürliche Kopfhaltung

Einleitung

Informations- und Kommunikationstechnologien erhalten in der prothetischen Zahnmedizin zunehmend einen dominanten Stellenwert. Auf Basis digitaler Technologien lassen sich ergänzend zu analogen Informationen zahlreiche Daten ermitteln und verarbeiten¹. Durch eine Datenfusion entsteht ein aussagestarker Gesamtüberblick. Doch so beeindruckend die Möglichkeiten der Digitalisierung sind, zählt letztlich der Patient, der sich nicht auf Daten reduzieren lässt. Jeder Mensch zeigt klinisch spezifischen Voraussetzungen, die bei prothetischen Therapien das Vorgehen bestimmen. Das Kauorgan ist in einen kybernetischen Regelkreis²⁷ eingebettet und dies gilt es bei der Umsetzung der prothetischen Rehabilitation zu bedenken. Insbesondere bei komplexen restaurativen Maßnahmen sind zusätzlich zu

- Zähnen, Kieferknochen, Ober- und Unterkiefer sowie Parodontium auch
- Kau- und Sprachmuskulatur, Nackenmuskulatur, mimische Muskulatur, Kiefergelenke, dentale Historie sowie skelettale Parameter

einzu beziehen.

Um alle notwendigen Patienteninformationen zu erhalten, erhebt zusätzlich zum Zahnarzt der Zahntechniker für ihn relevante Aspekte. Das Sammeln der Informationen erfolgt vor dem Hintergrund einer dynamischen Denkweise, bei der alle drei Ebenen des Schädels sowie die natürlichen Asymmetrien der rechten und linken Schädelhälfte einbezogen werden²⁵. Einerseits sollte hierfür das Oberkiefermodell in patientenbestimmter Position in den Artikulator gesetzt werden. Andererseits ist das Unterkiefermodell basierend auf der wahrnehmungsphysiologisch bestimmten Mitte, Höhe und horizontalen Positionierung des Unterkiefers dem Schädel zuzuordnen¹⁸. Ziel ist es, einen Zahnersatz herzustellen, der zu dem –

von Natur aus – asymmetrischen Schädel eines Patienten passt; und zwar in allen drei Dimensionen. Während in der analogen Welt dem dreidimensionalen Arbeiten bzw. dem räumlichen Anordnen des Schädels im Artikulator Grenzen gesetzt waren, können diese (gedanklichen) Limitationen nun mit digitalen Technologien aufgehoben werden. Im dreidimensionalen Raum kann der Schädel in allen drei Ebenen dargestellt und dementsprechend der Zahnersatz angefertigt werden. Ein Transfer der Informationen aus der digitalen in die analoge Welt und andersherum ist verlustfrei möglich.

Die drei Ebenen

Übertragen der Informationen vom Schädel

Grundlage für das Herstellen eines Zahnersatzes ist immer das Validieren der Position des Oberkiefers im Schädel. Für die Übertragung der patientenindividuellen Informationen vom Schädel zum Arbeitsplatz (Oberkiefermodell in Artikulator) – analog und digital – wird eine Referenz benötigt. Hierfür sind drei Achsen bzw. Sichtebenen zu berücksichtigen (Abb. 1 bis 3):

- Längsachse (frontale Ebene),
- Querachse (sagittale Ebene),
- Hochachse (okklusale Ebene).

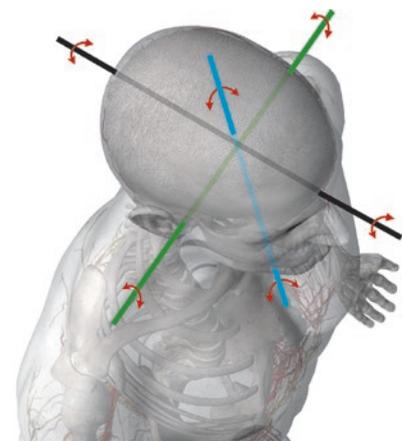


Abb. 1 Die drei anatomischen Ebenen des Körpers, dargestellt am Schädel.

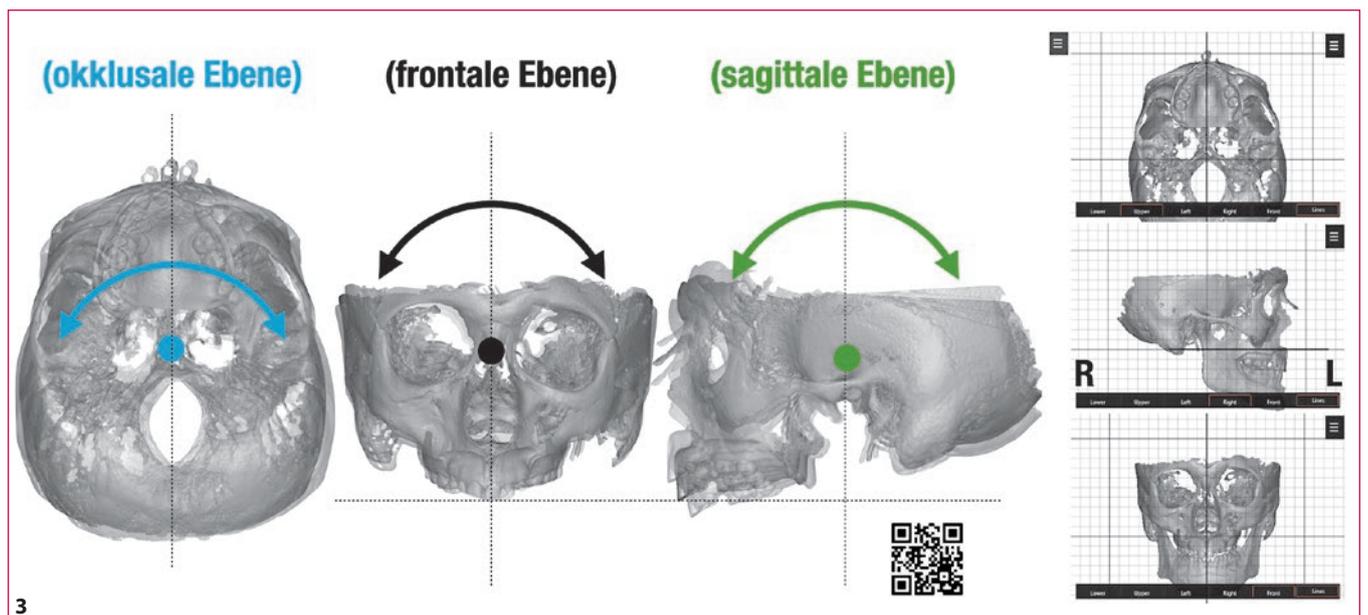
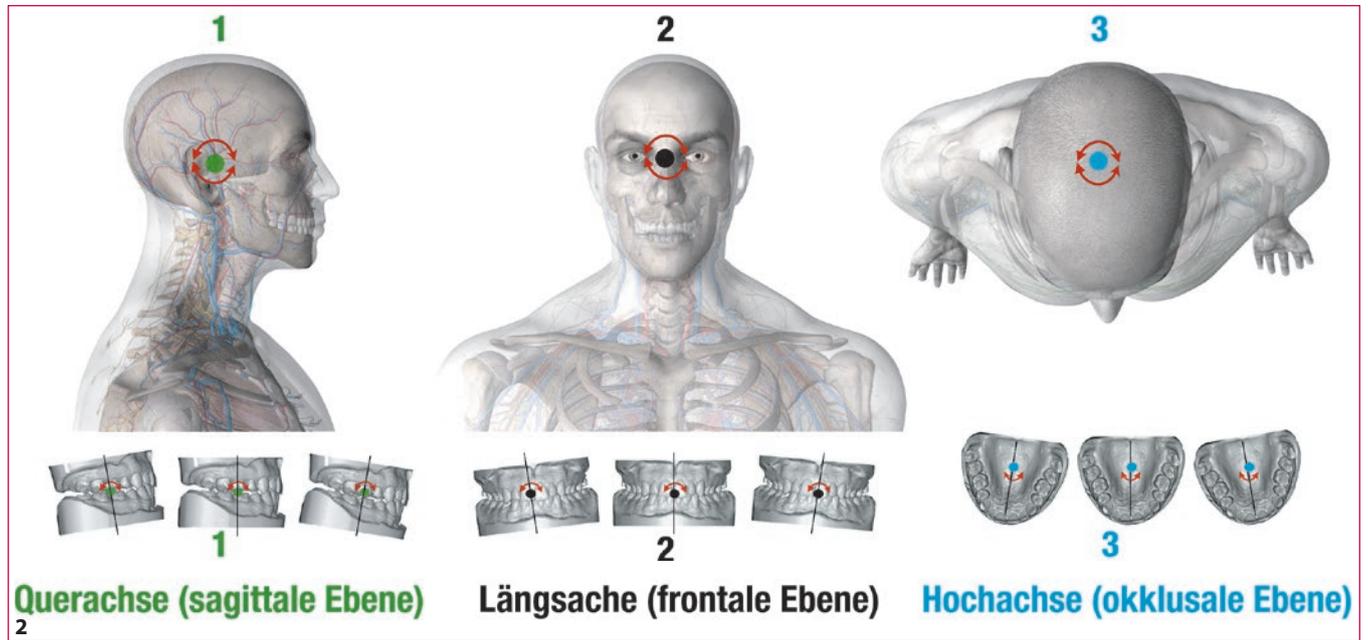


Abb. 2 Die Achsen mit Blick auf den Schädel und die entsprechende Zuordnung des Oberkiefermodells. **Abb. 3** Oberkiefermodell nach allen drei Ebenen ausgerichtet im Schädel positioniert. Rechts dargestellt sind die drei Ebenen von oben: Okklusale-, Sagittal- und Frontalebene (s. Animation mithilfe des QR-Codes).

Oberkiefermodells in den Artikulation beachtet, entsteht ein in allen Dimensionen idealer Zahnersatz, der den individuellen Gegebenheiten des Patienten entspricht.

Zusätzlich zu den drei Sichtebenen sind die natürlichen Asymmetrien des

Schädels zu berücksichtigen (Abb. 4). Jeder Mensch ist asymmetrisch; nicht nur auf einer Ebene. So sind beispielsweise die rechte und linke Schädelhälfte von der Frontalebene aus betrachtet asymmetrisch. Zugleich gibt es Asymmetrien

nach anterior/posterior oder nach inferior/superior, beispielsweise knöcherne Gehörgänge. Bei einer individuellen Analyse der Situation sind die Asymmetrien der skelettalen Klasse, Schädel- und Gesichtsform, knöchernen Gehörgänge,

des Zahnbogens etc. in allen drei Dimensionen zu berücksichtigen²⁵. Viele bislang übliche Verfahren orientieren sich an idealtypischen Parametern, wobei die natürlichen Asymmetrien der rechten und linken Schädelhälfte vernachlässigt werden²⁵.

Stellt man sich den Artikulator als Koordinatensystem vor und setzt gedanklich das Oberkiefermodell nach einer Referenzachse ein, verändern sich automatisch die anderen beiden Achsen. Wird also bei der Übertragung der Informationen vom Schädel zum Arbeitsplatz nur eine Referenzebene berücksichtigt, ergibt dies in der Regel nicht die patientenindividuelle Position. Für einen individuellen Zahnersatz auf Basis einer dreidimensionalen Betrachtung benötigt das Arbeitsteam die Informationen über alle drei Körperebenen²⁵.

Bekannterweise gibt es verschiedene Möglichkeiten, die Position des Oberkiefers über entsprechende Koordinaten in

den Artikulator zu übertragen (Abb. 5a bis c). Dient beispielsweise das Modell als Referenzebene (*Bonwill-Dreieck*), wird von allen Dimensionen ein Durchschnitt von rechter und linker Gesichtshälfte gebildet. Der Zahntechniker erarbeitet den Zahnersatz anhand von Durchschnittswerten. Eine andere Möglichkeit ist die Referenz am Schädel (Gesichtsbogen). Hierfür existieren verschiedene Systeme, die beispielsweise am Gehöreingang fixiert werden. Als Referenz dienen eine Achse und eine Bezugsebene (Achs-Orbital-Ebene, Frankfurter Ebene, *Camper'sche Ebene*, Patientenhorizontale) (Abb. 6). Doch unabhängig davon, nach welcher Ebene gearbeitet wird, handelt es sich auch hier nur um eine Ebene und es wird der Durchschnittswert von rechter und linker Gesichtshälfte angenommen. Die Herstellung des individuellen Zahnersatzes sollte sich jedoch nicht am Durchschnitt orientieren, sondern die reale Situation berücksichtigen.

Die dritte Möglichkeit für die Übertragung des Oberkiefermodells in den Artikulator orientiert sich weder an Schädel noch Modell. Als Referenz dient eine Ebene im Raum (PlaneSystem, Fa. Zirkonzahn, Neuler). Zudem werden rechte und linke Gesichtshälfte getrennt voneinander analysiert. Gearbeitet wird mit der natürlichen Kopfhaltung („Natural head position“, (NHP). Das Vorgehen wird unter der Überschrift „Bestimmung der

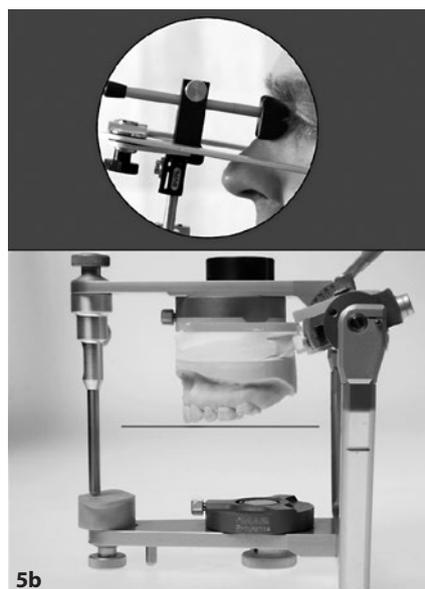
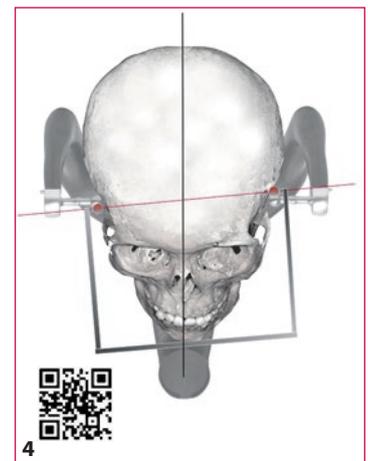


Abb. 4 Beispiel der natürlichen Asymmetrie des Schädels anhand der knöchernen Gehöreingänge. Würde die Verbindung der beiden Gehöreingänge mit der Achse des Artikulators gleichgesetzt werden, dreht und neigt sich der Schädel im Raum (s. Animation mithilfe des QR-Codes). **Abb. 5a bis c** Ansicht sagittale Ebene: Ein und derselbe Patient und verschieden positionierte Oberkiefermodelle im Artikulator. In allen drei Fällen diente jeweils nur eine Ebene der Orientierung: *Camper'sche Ebene*, Patientenhorizontale und Frankfurter Horizontale.

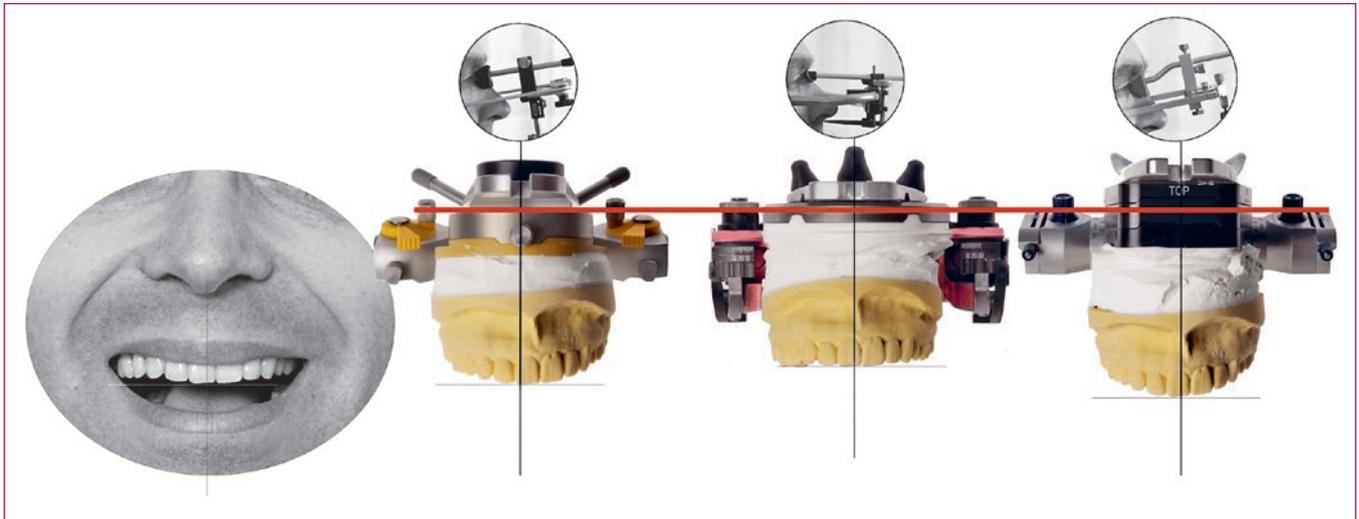


Abb. 6 Ansicht okklusale und frontale Ebene: Ein und derselbe Patient und verschieden positionierte Oberkiefermodelle im Artikulator. In allen drei Fällen diente jeweils nur eine Ebene der Orientierung: *Camper'sche Ebene*, *Patientenhorizontale* und *Frankfurter Horizontale*.

Oberkieferlage“ im vorliegenden Artikel genau dargelegt. Ergebnis dieser „Informationsbeschaffung“ ist Voraussetzung dafür, einen individuellen Zahnersatz herzustellen, der in allen Dimensionen stimmig ist: in der Frontal-, in der Sagittal- und in der Okklusalebene (transversale Ebene). Für ein besseres Verständnis lässt sich die Wichtigkeit der Ebenen für die Herstellung des Zahnersatzes gedanklich visualisieren:

- Okklusale Ebene: Ist der Zahnersatz im Oberkiefer auf einem „verdreht“ im Artikulator positionierten Modell hergestellt, wird später der Unterkiefer im Mund immer dieser Verdrehung folgen.
- Sagittale Ebene: Ist ein Zahnersatz im Frontzahnbereich zu kurz gestaltet, wird sich der Unterkiefer aufgrund der schiefen Ebene immer nach anterior oder dorsal bewegen.
- Frontale Ebene: „Hängt“ ein Zahnersatz beispielsweise im ersten Quadranten tiefer als im zweiten, wird der Unterkiefer nicht vollständig schließen können, sondern immer dieser Ebene folgen.

Datenfusion aus digitalen Technologien und analogem Vorgehen

Moderne bildgebende Mittel und dreidimensionale Darstellungsmöglichkeiten bieten eine Vereinfachung bisher bestehender Abläufe und eine Optimierung der Datenerfassung¹⁸. Im virtuellen Raum können Limitationen der analogen Welt aufgehoben werden. Beispielsweise können Daten aus dem Gesichtsscanner in funktionsanalytische Maßnahmen integriert werden. Die fotorealistische Wiedergabe des Schädels gewährt u. a. die virtuelle Erarbeitung der Okklusion anhand der patientenindividuellen Physiognomie. Betrachtet man den Schädel in einzelnen „Schichten“ bzw. verschiedenen Datensätzen (Gesichts-, Oberflächen- und DVT-Scan etc.), entsteht ein komplexes Informationsbild. Die Daten aus der funktionsanalytischen Diagnostik können beispielsweise mit den 3-D-Planungsdaten (Implantologie) zusammengeführt werden; der Schädel wird in der Software als Einheit dargestellt¹. Großer

Vorteil ist, dass in der digitalen Welt nahezu ohne Limitationen gearbeitet werden kann, während es in der analogen Welt mechanisch bedingte Grenzen wie beispielsweise den Artikulator als starres System gibt²⁵. Mit vorgestellter Systematik (PlaneSystem) ergeben sich für das Herstellen des Zahnersatzes auf dem Modell die gleichen Gegebenheiten wie im Mund des Patienten. Die Position am Schädel ist mit den Informationen am zahntechnischen Arbeitsplatz synchronisiert.

Aus prothetischer Sicht entscheidend sind insbesondere zwei Aspekte:

- Oberkieferlage im Schädel unter Berücksichtigung von Asymmetrien und
- horizontale Positionierung des Unterkiefers zum Schädel.

Bestimmung der Oberkieferlage

Um die Lage des Oberkiefers zum Schädel unter Beachtung der natürlichen Asymmetrien zu bestimmen, bedarf es einer stabilen Referenz, der sogenann-

ten Nulllinie. Diese wird erzeugt, indem das Vermessungssystem (PlaneFinder, Fa. Zirkonzahn) auf einem Stativ positioniert und der Patient stehend vor einem Spiegel platziert wird. Ergebnis ist die Kopfhaltung in der NHP^{3,26}. Diese wird ohne exogenen Einfluss ermittelt. Der Patient nimmt beim Blick in den Spiegel automatisch die „richtige“ Kopfhaltung ein, wobei wahrnehmungspsychologische Aspekte eine Rolle spielen²⁵. Wahrnehmungsphysiologisch bedeutet, dass sich der Patient uneingeschränkt mit allen ihm zur Verfügung stehenden „körperlichen Mitteln“ selbst ausrichtet, ohne dass exogene Faktoren ihn beeinflussen. Das Stativ in der Nullposition und die NHP ergeben zwei bzw. drei stabile Punkte. Anhand dieser lassen sich patientenspezifische Informationen zum Gesichtsschädel in ihren räumlichen Richtungen reproduzierbar erfassen. Die Neigung der Okklusionsebene unter Beachtung von natürlichen Asymmetrien wird mit beidseitig am Vermessungsgerät angebrachten Okklusionswinkeln evaluiert. Dabei wird die Neigung der rechten sowie der linken Gesichtshälfte als Winkel zwischen der Nullebene und der Ala-Tragus-Linie dargestellt. Die Verbindungslinien vom Ala nasi zum Tragus verlaufen weitestgehend parallel zur Funktionsebene (Okklusionsebene). Autoren wie Xie et al.³⁰, Sinobad und Postic²⁸, Kato⁸ und Ferrario⁵ stellten in ihren Untersuchungen fest, dass die Ala-Tragus-Linie nur geringe Abweichungen zur Okklusionslinie aufweist. Sie scheint daher als Referenz für den Verlauf der Okklusionslinie besser geeignet als beispielsweise die Camper'sche oder Frankfurter Ebene. Zudem belegt eine Fünfjahresstudie von Cooke³, dass die NHP bzw. eine daraus abgeleitete natürliche Referenzebene nur um 1 bis 2° variiert, wenn ein Patient sich aufrechtstehend in einem Spiegel direkt in die Augen sieht. Bestätigt werden

diese Angaben durch eine 15-Jahres-Studie von Peng et al.²⁶.

Als vertikale Referenzlinie ist die „True vertical“ (TrV), verlaufend durch das Nasion, definiert. Eine horizontale Referenzlinie („True horizontal“, TrH) verläuft im rechten Winkel – reproduzierbar zur TrV – durch den Tragus (Gleichgewichtsorgan) in patientenbestimmter Position. Die Position des Schädels hinter den beiden Nulllinien wird mittels analoger Analyse des Patienten im PlaneFinder ermittelt. Unbeeinflusst von der skelettalen Klasse und möglichen Asymmetrien können über die NHP die dreidimensionale Lage des Oberkiefers erfasst und die Neigung der Okklusionsebene winkelgenau zur referenzierbaren Nullebene angegeben werden²⁵. Das System wurde sowohl für die analoge als auch die digitale Anwendung entwickelt, sodass die Lage des Oberkiefers jederzeit aus der virtuellen in die analoge Welt und umgekehrt übertragen werden kann.

Positionierung des Unterkiefers zum Schädel

Bei der Lagebestimmung des Unterkiefers obliegt der Registriertechnik hohe Aufmerksamkeit. Die Herausforderung liegt darin, eine „funktionelle ‚Mitte‘ zu finden, die mit einem positiven Bissgefühl (Wohlfühlposition) einhergeht und die zugleich im medizinischen Sinne strukturerhaltend, rehabilitierend und präventiv wirken kann“⁹. Es wird von der sogenannten Most comfortable position (MCP) gesprochen⁷. Das Unterkiefermodell soll so in den Artikulator überführt werden, dass eine Manipulation des Stützstiftes nicht nötig ist. Ziel ist es, die Vektoren bei der Bewegung der Modelle im Artikulator den In-vivo-Bewegungen anzugleichen. Dies geschieht durch das Vermessen der kondylären Grenzbewegungen. In Studien ist dargelegt, dass der

habituelle vertikale Bewegungsvektor näher an den Verlauf der Okklusalebene gekoppelt ist als an die Zuordnung der Zahnreihen zu den Gelenkkondylen und deren retralen Grenzbewegungen (um die terminale Scharnierachse). Ogawa et al. zeigten in mehreren Studien, dass die nicht manipulierte Schließbewegung in der Sagittalen einen mittleren Winkel von 86,4° zur Kauebene aufweist^{21–23}. Der von Ogawa gefundene Auftreffwinkel der Schließbewegung zur Okklusalebene zeigt, dass der Mensch bei aufrechter Körperhaltung (unmanipuliert) den Unterkiefer in der Vertikalen nicht in einer isolierten Rotation um die terminale Scharnierachse bewegt²⁶. Auch Lauritzen war sich dessen bewusst, als er darauf hinwies, dass eine isolierte Rotation vom Patienten entweder eingeübt oder vom Zahnarzt manipuliert werden müsse¹¹. Der translatorische Bereich befindet sich in der Region des Mastoides; dies deckt sich mit den Aussagen von Ogawa et al.^{22–23}. Und während der analoge Artikulator von seiner Mechanik limitiert wird, ergibt sich in der virtuellen Welt ein nahezu „grenzfreier“ Raum, um die Bewegungen des Unterkiefers in allen Dimensionen nachzubilden. Allerdings muss die verwendete Software diese Möglichkeiten auch bieten. Der zum PlaneSystem gehörende Artikulator (PS 1, Fa. Zirkonzahn) ermöglicht eine Registriertechnik, bei der keine exogene Manipulation stattfindet. Im virtuellen Raum wird der Unter- zum Oberkiefer als Einheit im Raum positioniert, sodass die tatsächlichen Bewegungen möglich werden. Die Situation aus dem analogen Artikulator wird über Hilfsmittel in die virtuelle Welt überführt. Über die Software lassen sich verschiedene Scans, Ebenen und sämtliche Komponenten einblenden, miteinander kombinieren und aus verschiedenen Blickwinkeln anzeigen.

Patientenfall

Anhand eines Patientenfalles wird das Abgreifen der patientenspezifischen Informationen für das Herstellen einer implantatprothetischen Restauration

- auf analogem Weg (beispielsweise Kopfhaltung, Gesichtsproportionen, physiognomische Landkarte, Modellanalyse, Modellorientierung, Bewegungsaufzeichnung, Gelenkmechanik, Unterkieferposition in physiologischer, unmanipulierter Zentrik) und
- im digitalen Vorgehen (DVT, Gesichtsscan, 3-D-Analyse, Fotodokumentation) dargestellt.

Durch eine Fusion der gesammelten Informationen erfolgt die Integration in den digitalen Workflow. Bei der Umsetzung der implantatprothetischen Rekonstruktion ermöglicht der Wechsel zwi-

schen digitaler Welt und realer Situation eine verlustfreie Übertragung der Daten in den definitiven Zahnersatz.

Ausgangssituation, Planung und implantologische Therapie

Die intraorale Situation beim Patienten erforderte die Extraktion aller Zähne im Ober- sowie der Molaren im Unterkiefer (Abb. 7 bis 9). Für die Planung der Implantatpositionen wurden in der Planungssoftware die Referenzkugeln referenziert (Vorgehen nach Prof. Att), um das Matching zwischen „Digital imaging and communications in medicine“ (DICOM)-Datensatz und Zahnersatz noch präziser werden zu lassen¹. Um den Patienten wie von ihm gewünscht mit einer festsitzenden Prothetik rehabilitieren zu können, erhielt er im Oberkiefer acht

und im Unterkiefer fünf Implantate (SI-Cace, Fa. SIC invent, Göttingen). Die beiden endständigen Implantate im Ober- sowie alle Implantate im Unterkiefer heilten gedeckt ein, während im Oberkiefer eine alio loco gefertigte Interimsversorgung von 14 bis 24 eingegliedert wurde (Abb. 10).

Analoge Datenerfassung für die prothetische Therapie

Die metallverstärkte Interimsversorgung erfolgte am Tag der Implantation (Sofortbelastung). Der zahntechnische Autor des Artikels lernte den Patienten erst mit Provisorium (Einheilphase) kennen. Nach der Einheil- und Osseointegrationsphase stand das Sammeln der Informationen für die Herstellung des Zahnersatzes im Fokus. Mit dem

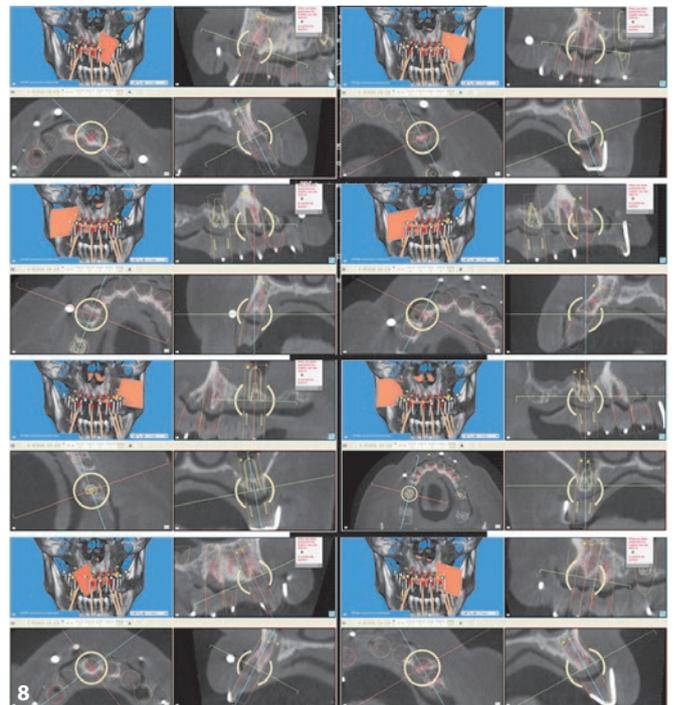
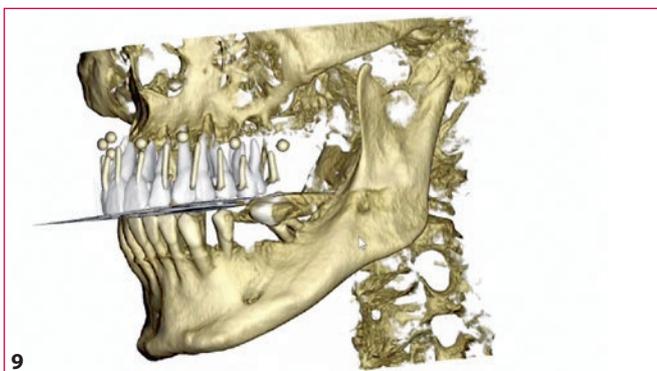
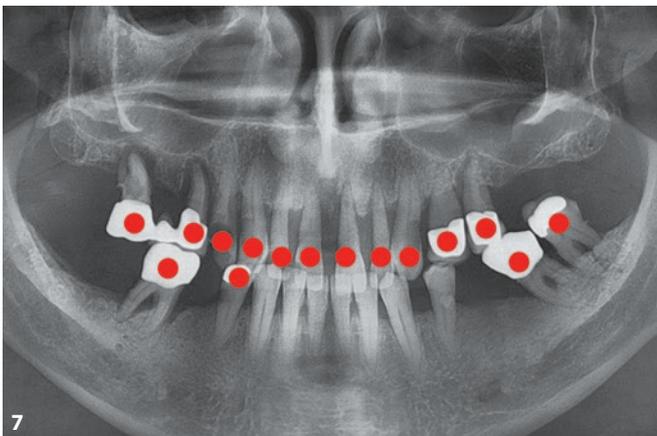


Abb. 7 Radiologische Ausgangssituation. Die zu extrahierenden Zähne sind rot markiert. **Abb. 8 und 9** Planung der Implantatpositionen in der Software sowie die Situation in dreidimensionaler Ansicht (s. Animation mithilfe des QR-Codes).

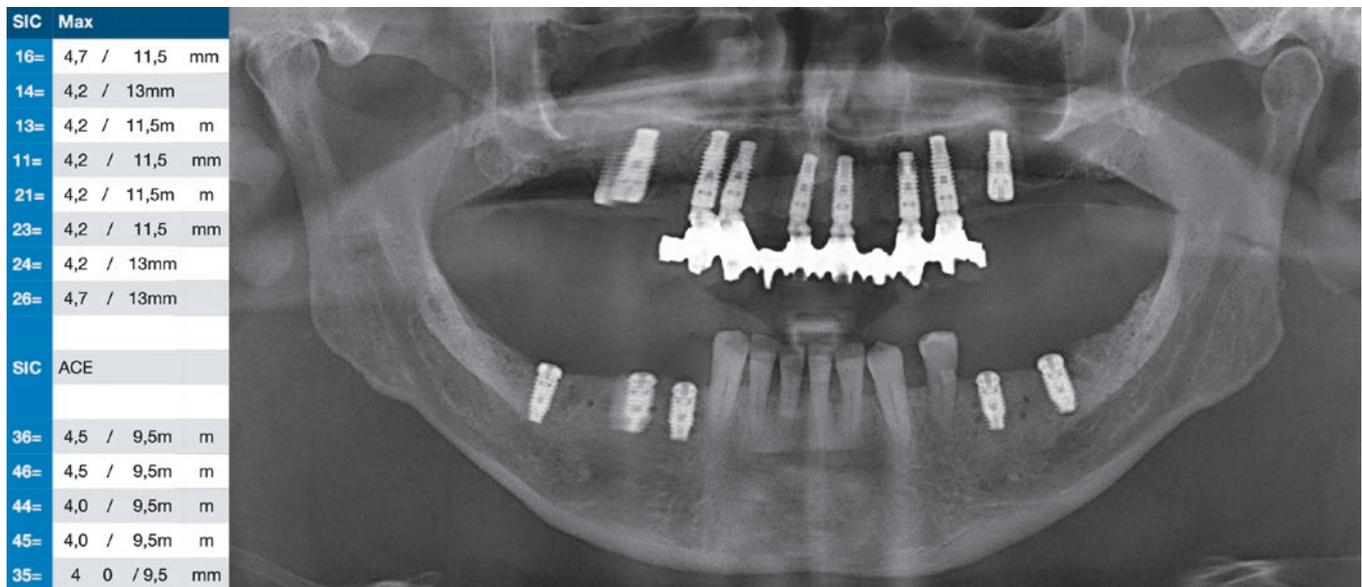


Abb. 10 Röntgenkontrollbild nach Insertion der Implantate.

- Registrieren der Kopfhaltung (NHP),
- dem Erfassen der Gesichtsproportionen,
- der Modellanalyse sowie der Modellorientierung im Artikulator,
- der Analyse patientenindividueller Bewegungsdaten,
- dem Einstellen der Gelenkmechanik,
- dem Darstellen der Unterkieferposition in einer physiologischen, unmanipulierten Zentrik und deren Umsetzung im Artikulator

können Restaurationen weitestgehend exakt an der natürlichen Okklusionsebene ausgerichtet werden. Entsprechend diesem Workflow sollte zunächst ein Langzeitprovisorium für die therapeutische Phase – Prototyp für den definitiven Zahnersatz – angefertigt werden.

Bei einer so komplexen Ausgangssituation ist es wichtig, umfassende Informationen über den Patienten zu erhalten. Bei einer die klinische Diagnostik ergänzenden zahntechnischen Analyse steht das Sammeln von Informationen im Fokus, beispielsweise

- dentale Historie,
- Gesichts-, Modellanalyse, Analyse des vorhandenen Zahnersatzes,
- Sprechmotorik, extraorale Foto- und Video-Dokumentation,
- Gesichtsscan-Dokumentation (Face-scan),
- patientenbestimmte Lage des Oberkiefers (PlaneFinder),
- wahrnehmungsphysiologisch bestimmte Mitte, Höhe und horizontale Positionierung des Unterkiefers zum Schädel,
- referenzierte Übertragung dieser Informationen in einen dreidimensionalen Artikulator.

Die erhobenen Daten geben die notwendigen Informationen wieder, beispielsweise

- patientenspezifische Lage und Stellung des Oberkiefers im Schädel,
- kieferseitig rechts und links abweichende Okklusionsebenen in räumlich korrekter Zuordnung,
- Positionierung des Unterkiefers zum Oberkiefer,

- Gesichtsphysiognomie, Schädelmitte (Midline),
- mögliche Asymmetrien,
- Verhältnis von Zahnbreite zu Zahnlänge.

Physiognomische Landkarte: Aufteilung der Räume

Ausgangspunkt waren informationsreiche Situationsmodelle sowie das Ermitteln der anatomischen Orientierungspunkte (Landmarks) am Gesicht des Patienten²⁵. Als primäre Orientierung für das Positionieren des Oberkiefermodells diente die Schädelmitte als Schnittpunkt beider Gesichtshälften. Zudem wurde auf beiden Seiten das Kauzentrum ermittelt¹³⁻¹⁵. Dies entspricht dem Bereich, an dem die Zähne am stärksten belastet werden (Region des oberen Sechlers oder Os zygomaticum). Orientierungspunkte wurden am Gesicht (Facial landmarks) und am Modell (Cranial landmarks) detektiert und dienten einerseits dem Aufteilen der Dimensionen und andererseits als Vorlage für die Auswertung der Porträtfotos (Abb. 11a bis c und 12).

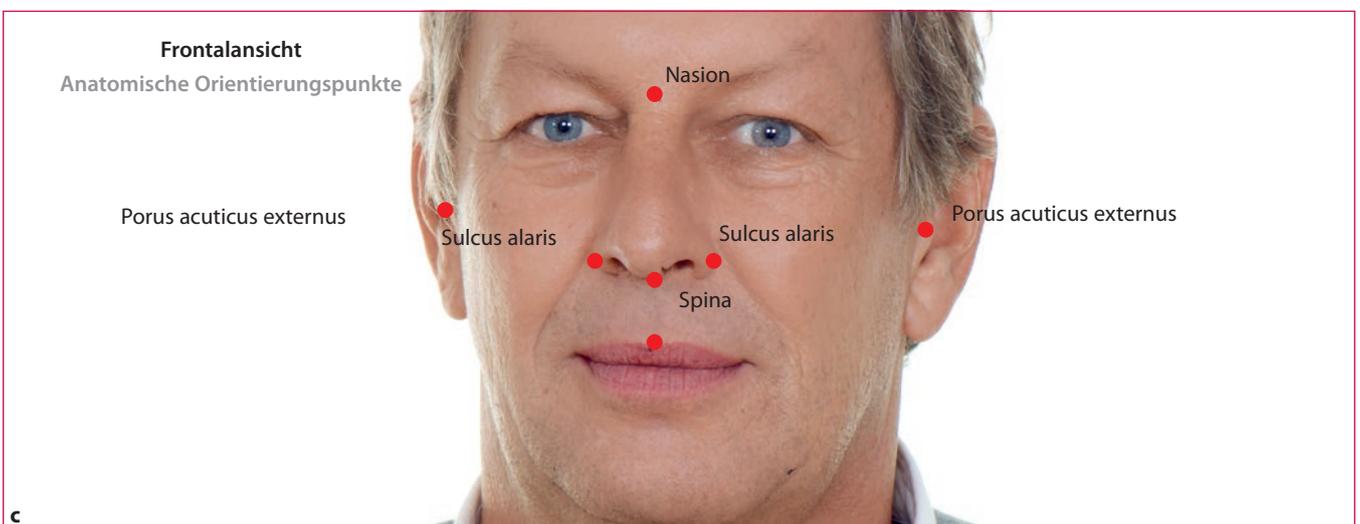
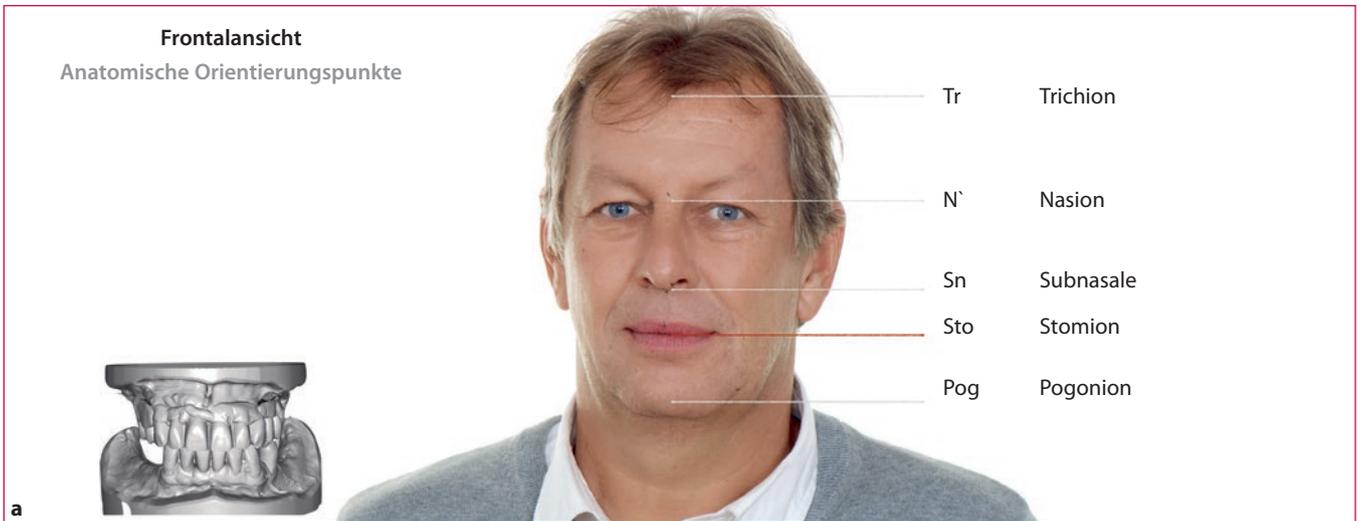


Abb. 11a bis c Am Gesicht des Patienten wurden als Orientierung intraorale Bezugspunkte für die skelettale Mitte definiert: u. a. Nasion (N), Subnasale (Sn), Stomion (Sto), Pogonion (Pog) und die Suture palatina mediana. Zudem wurden der Porus acuticus externus und der Sulcus alaris zur Definition der Ala-Tragus-Linie bestimmt.

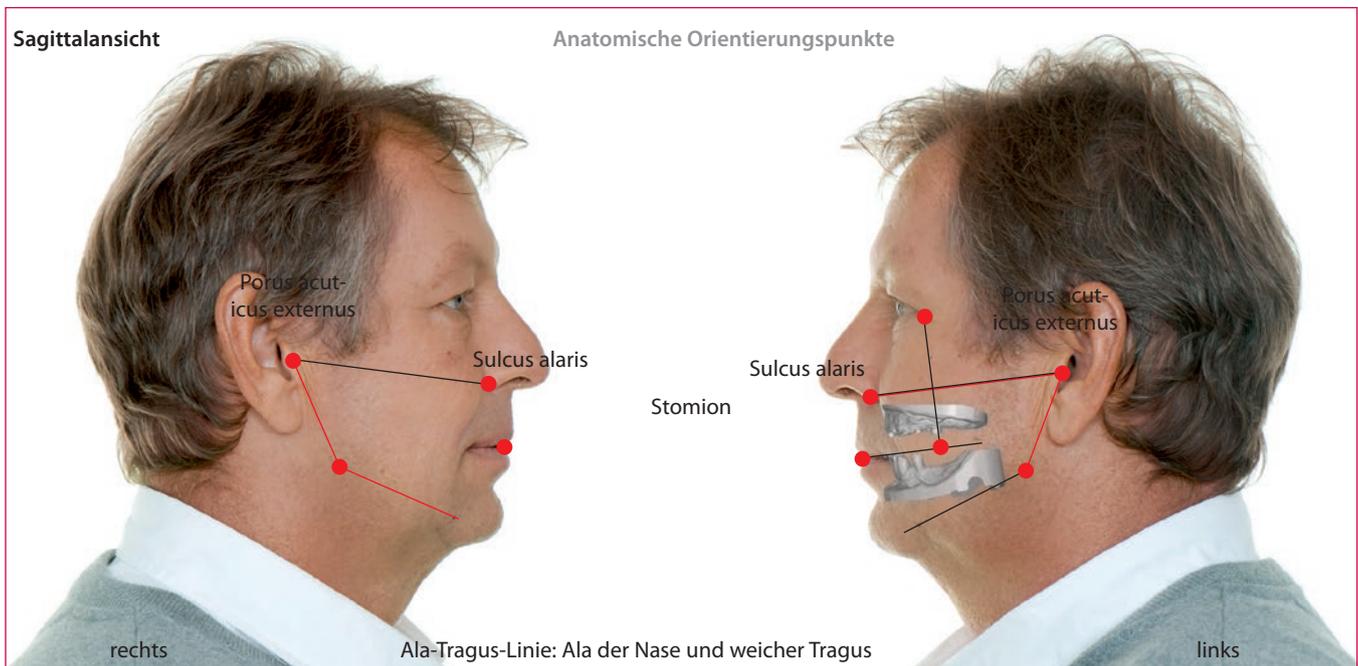


Abb. 12 Für die Profilanalyse wurde das Profilfoto des Patienten mit den digitalisierten Modellen in der Software zusammengeführt und die Situationsmodelle (ohne Zahnersatz) eingeblendet. Hinweis: Um ein Profilbild in korrekter Höhe (vertikale Dimension) zu erhalten, sollte im Vorfeld die Höhe bestimmt und ein Jig hergestellt werden (Höhe 2), um basierend darauf die Fotos anzufertigen. Alternativ kann man den Patienten die Buchstaben „m“ oder „i“ summen lassen (ohne Okklusionskontakt). Allerdings fehlt hier die definierte Höhe.

Bestimmen der Vertikaldimension

Die vertikale Dimension im Artikulator über den Stützstift zu manipulieren, ist nicht der Weg, den das Autorenteam geht; eine solche Manipulation kann zu Verfälschungen führen. Vielmehr wird über die physische Diagnostik die Höhe im Mund definiert und getestet (Abb. 13 und 14). Vor dem Festlegen der Unterkieferposition diente ein Wasserkissen (Aqualizer) zur Deprogrammierung (Abb. 15). Die erforderliche Kissenhöhe ergibt sich aus dem Sprechabstand. Danach wurde anhand eines individuell erarbeiteten Jig die Unterkieferposition – ohne exogene Manipulation – registriert. Der Jig wurde physisch, beispielsweise hinsichtlich des Sprechabstandes, der Mitte und Höhe, mit dem Patienten erarbeitet (Abb. 16). Die Vorgehensweise lässt sich wie folgt kurz beschreiben:

- Höhe 1: Im Molarenbereich beißt der Patient auf das Aqualizer-Kissen. Im Frontzahnbereich hat er Kontakt auf dem Jig (höchster Punkt an der Unterkiefermitte). Im Oberkiefer hat der Jig Kontakt im Bereich der Verlängerung der skelettalen Mitte zum Schädel. Da in dieser Position die Sprechmotorik nicht getestet worden ist, entspricht dies in der Regel nicht dem MCP des Patienten.
- Höhe 2: Daher wird anhand der Sprechmotorik der Jig erneut bearbeitet. Mit Okklusionsfolie werden Kollisionen der Zähne mit dem Jig identifiziert und weggeschliffen. Schrittweise wird die definitive Höhe 2 erarbeitet.

Mit dem erarbeiteten Jig erfolgte die Registrierung bei NHP²⁴. Beim Einspritzen der Registriermasse biss der Patient nicht

zusammen, sondern war in der wahrnehmungsphysiologisch bestimmten Mitte stabil positioniert. Zuerst wurde das Registriermaterial zwischen den Zahnreihen in Regio 13 auf 23 eingespritzt. Um Verschiebungen beispielsweise durch Abhalten der Wangen zu vermeiden, ist das Material im Molarenbereich erst nach dem Aushärten im Frontzahngebiet eingespritzt worden (Abb. 17).

Ermitteln der NHP

Das Ermitteln der NHP für die dreidimensionale Zuordnung der Modelle im Artikulator erfolgte im PlaneFinder vom Patienten selbst (Abb. 18a und b). Automatisch nimmt ein Patient die NHP ein, sobald er sich stehend im Spiegel in die Augen sieht. Die Körperhaltung wird ausbalanciert. Die Sichtachse liegt parallel zum Horizont. Ausgehend von der Lip-

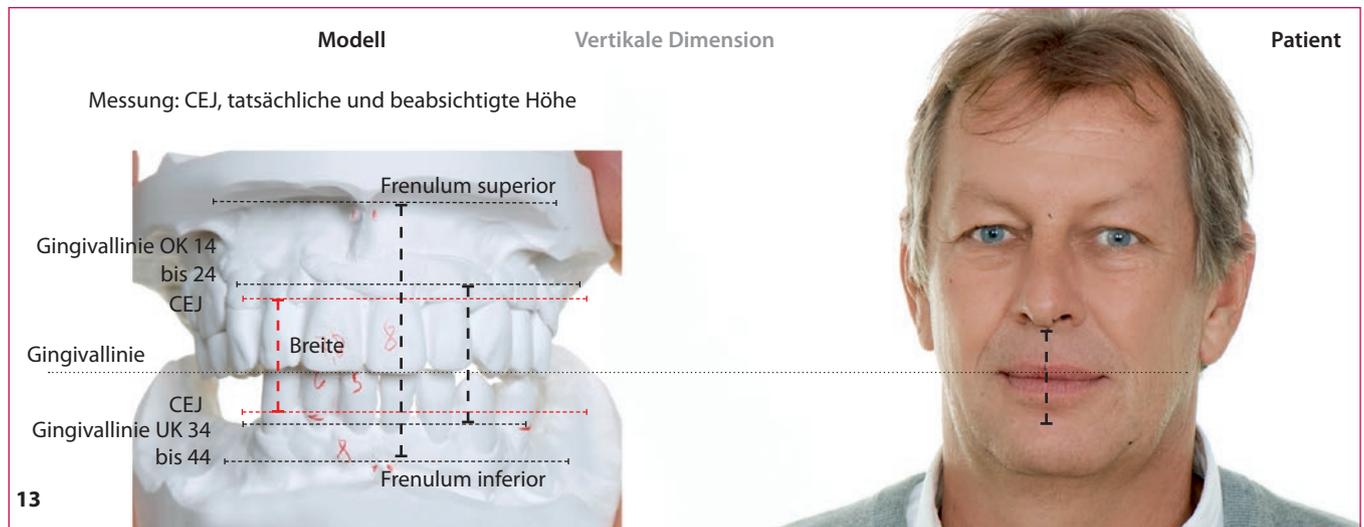


Abb. 13 Modellanalyse und Porträtbild mit aufgeteilten Dimensionen. Die Schmelz-Zement-Grenze („Cemento-enamel junction“, CEJ) dient als Referenz am Modell, die in Bezug zum Gesicht gebracht werden kann. Da in diesem Fall nur der Unterkiefer natürlich bezahnt war, erfolgte die Messung auch am Frenulum inferior und Frenulum superior. **Abb. 14** Abweichungen bei der Stellung des Unterkiefers zur Schädelmitte. Der Unterkiefer ist nach links verschoben, auch Endposition genannt. **Abb. 15** Deprogrammierung mit Aqualizer. Für den unbezahnten Molarenbereich im Unterkiefer wurde zuvor ein Registrierschlüssel (Support) gefertigt. Mit dem Einsetzen des Aqualizers nimmt der Patient eine komfortable, beschwerdefreie Position ein und korrigiert die Höhe selbstständig. **Abb. 16** Gegenüberstellung der Situation mit und ohne Jig sowie Aqualizer. Der Unterkiefer hat sich mittig ausgerichtet (Höhe 2). In dieser Position befindet sich der Patient in der „Most comfortable position“ (MCP), auch Startposition genannt.



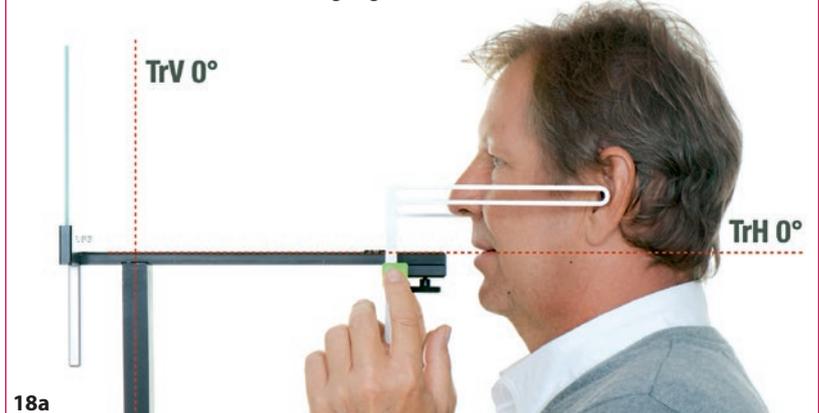
penschlusslinie wurde nun seitlich am Gesicht eine horizontale Linie validiert, die Null-Grad-Ebene (TrH). Mit den Frontzähnen stützte sich der Patient am Registrat (Bite tray) ab; die Position wurde mit Registriermaterial fixiert. Die horizontale Fläche am Kommunikationsinstrument für den Transfer zwischen analoger und digitaler Welt (PlanePositioner, Fa. Zirkonzahn) war die Null-Grad-Ebene für das Oberkiefermodell. Um das Modell in sagittaler Ebene im Artikulator positionieren zu können, wurden bei der Modellanalyse das Kauzentrum und die skeletale Mitte referenziert. Das Oberkiefermodell ist in den Artikulator gesetzt und das Modell des Unterkiefers gemäß der Bissregistrierung artikuliert worden (Abb. 19).

Datenfusion

Als wichtiges Kommunikationselement zwischen analoger und digitaler Welt fungiert der PlanePositioner, mit dem

- das Zusammenführen der Daten in der analogen Welt,
- der Datenexport in die digitale Welt und
- das Referenzieren der Daten möglich werden.

Schritt 1: Referenzierte Übertragung vom Oberkiefer



Schritt 1: Referenzierte Übertragung von Ala-Tragus

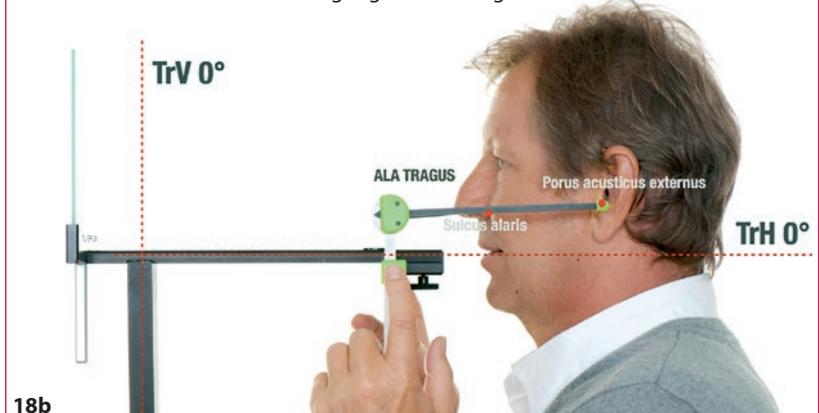
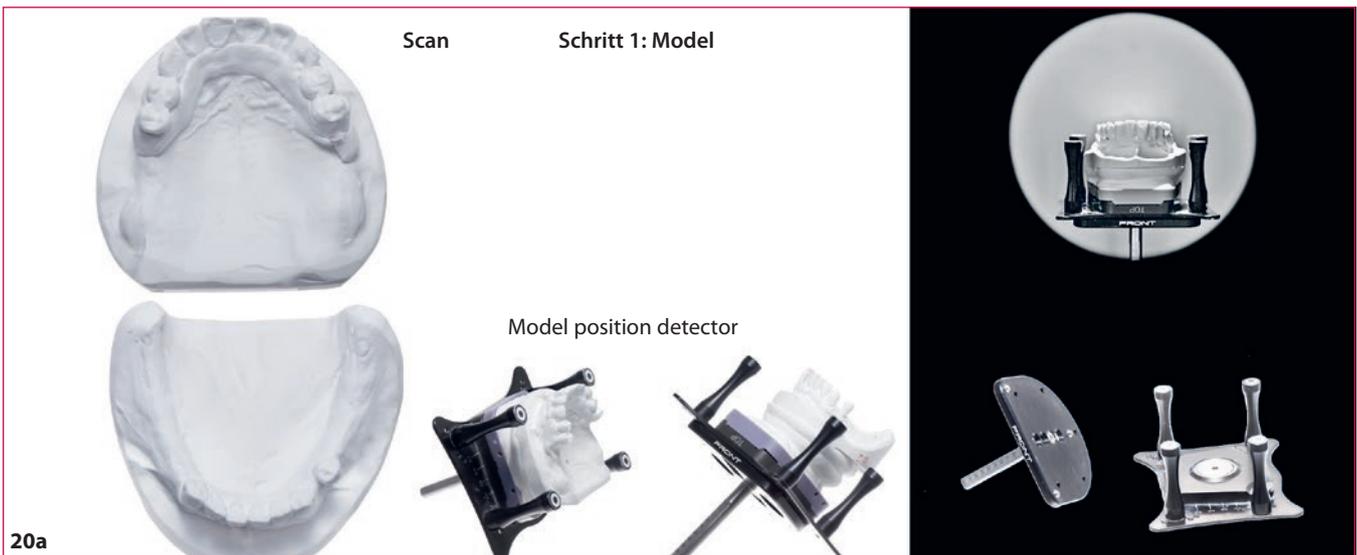


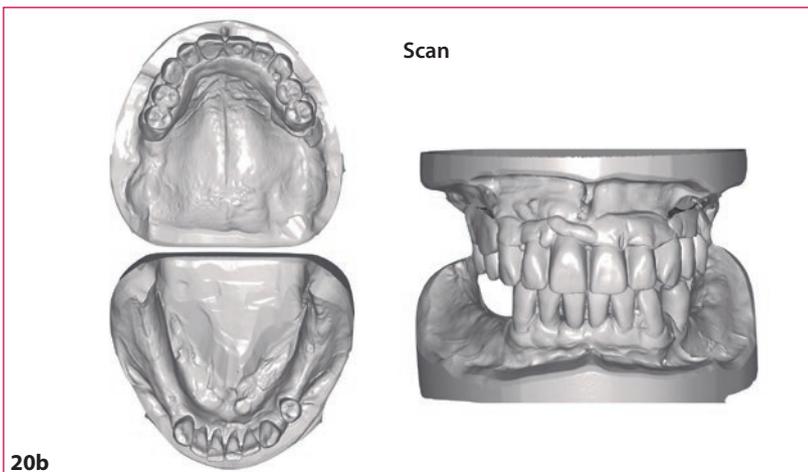
Abb. 17 Nach der Deprogrammierung und dem Festlegen der Höhe wird die Situation mit Frontzahn-Jig in zwei Etappen registriert: erst im Frontzahnggebiet, dann im Molarenbereich. **Abb. 18a und b** Ermitteln der natürlichen Kopfhaltung („Natural head position“, NHP) im PlaneFinder (stehende Position). Referenz sind zwei im dreidimensionalen Raum definierte Nulllinien („True vertical“, TrV; „True horizontal“, TrH). Die Situation wird registriert und auf dem Registrat (Bite tray) verschlüsselt



19



20a



20b

Abb. 19 Mit dem Bite tray in verschlüsselter Position wird das Oberkiefermodell in korrekter dreidimensionaler Darstellung in den Artikulator gebracht und entsprechend der Bissregistrierung mit Jig das Unterkiefermodell artikuliert. Der Stützstift ist auf 0 eingestellt und wird nicht mehr manipuliert. **Abb. 20a und b** Übertragen der analogen Informationen in die digitale Welt. Digitalisierung des Oberkiefermodells mit dem „Model position detector“ und des Unterkiefermodells im Laborscanner.

Mittels Bite tray und PlanePositioner wurde das Oberkiefermodell räumlich lagegenau und unter Berücksichtigung eventueller Asymmetrien in den analogen Artikulator eingestellt. Die Position des Modells im Artikulator stellte die Null-Grad-Ebene dar, die am Patienten ermittelt worden ist. Mit dem PlanePositioner besteht nun die Möglichkeit, die Neigung der Ala-Tragus-Ebene einzustellen und zudem die Daten in die digitale Welt bzw. den virtuellen Artikulator zu übertragen (Abb. 20a und b).

Arbeiten in der digitalen Welt

Über die Software lassen sich verschiedenste Scans, Ebenen und Komponenten einblenden, kombinieren und aus unterschiedlichen Blickwinkeln anzeigen sowie virtuelle Simulationen vornehmen. In der 3-D-Darstellung können patientenspezifische, realitätsnahe Messungen erfolgen und Daten erfasst, hinterlegt sowie reproduziert werden. Anhand der horizontalen und vertikalen Bezugsebenen werden die individuellen Unterkieferbewegungen mit der räumlichen Position des Oberkiefers zueinander in Beziehung gesetzt und in der Software sowie am analogen Artikulator in jeder

Phase der Behandlung reproduziert. Alle Schritte, die im Verlauf der therapeutischen Phase vorgenommen werden, lassen sich aufgrund der definierten Position des Oberkiefers zu jedem Zeitpunkt miteinander vergleichen. Um die Position des Oberkiefers aus der virtuellen Welt in die analoge Welt übertragen zu können, gibt es den JawPositioner (Fa. Zirkonzahn), der anhand der digitalen Daten individuell gefräst wird.

Wechsel zwischen analogen und digitalen Welten

Der Gesichtsscan erfolgt mit einem Gesichtsscanner (FaceHunter, Fa. Zirkon-

zahn), der auf der Streifenlichttechnologie basiert. Dies ermöglicht eine dimensionsgetreue Abbildung mit hoher Präzision. Der Scan wurde mit dem Jig und den am Gesicht angezeichneten Landmarks vorgenommen, sodass das Bild mit der Situation der Modelle im Artikulator gleichgeschaltet ist (Abb. 21). Das Überlagern des digitalisierten Modells mit den Aufnahmen des Facescans ermöglichte es, die Gesichtsphysiognomie des Patienten bei der Analyse zu berücksichtigen und die gewonnenen Daten zu validieren (Abb. 22 bis 26). Für eine digitale Aufstellung (Set-up) erfolgte die Überabformung mit Implantatabformpos-



Abb. 21 Gesichtsscan mit Streifenlichtscanner. Zuvor werden am Gesicht die anatomischen Orientierungspunkte (Landmarks) angezeichnet (s. Animation mithilfe des QR-Codes). **Abb. 22** Import der Daten des Gesichtsscans und der Modelle in die Software und Einblenden der Modelldaten. Die Daten sind hier noch nicht zusammengeführt (Matching).

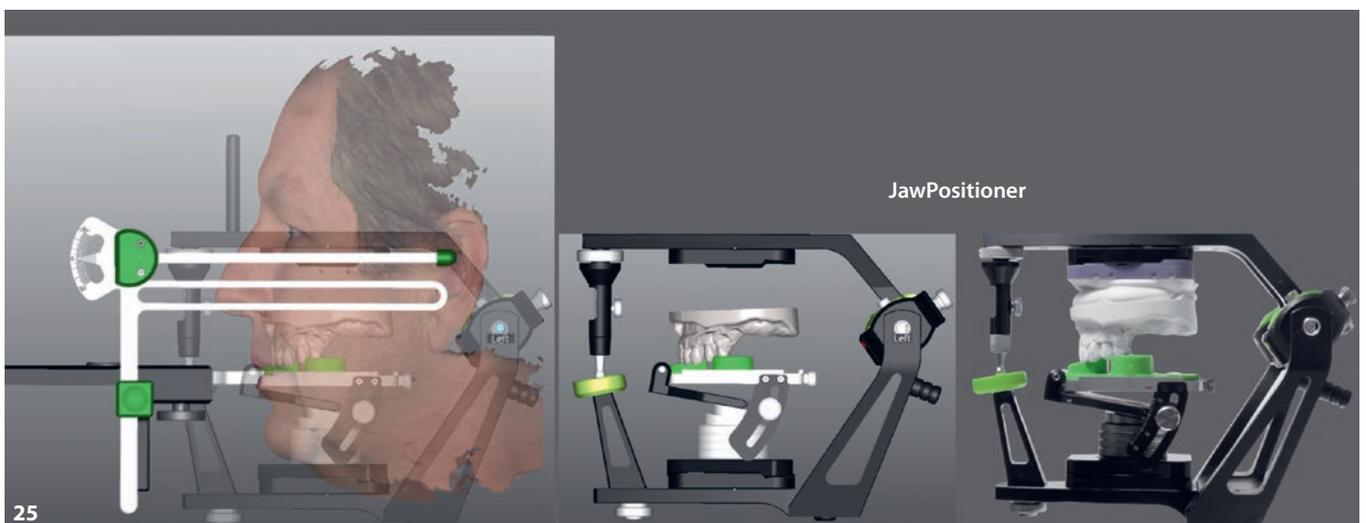
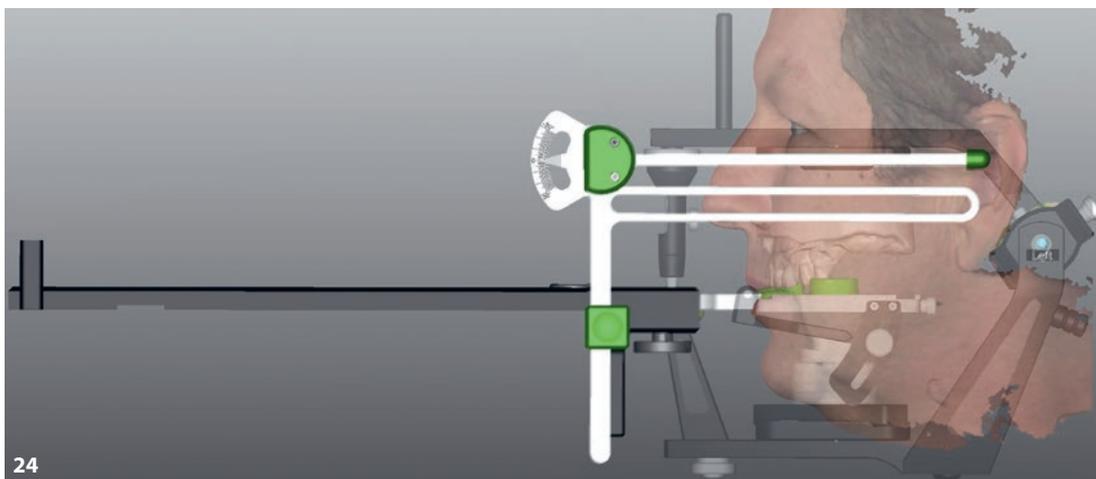
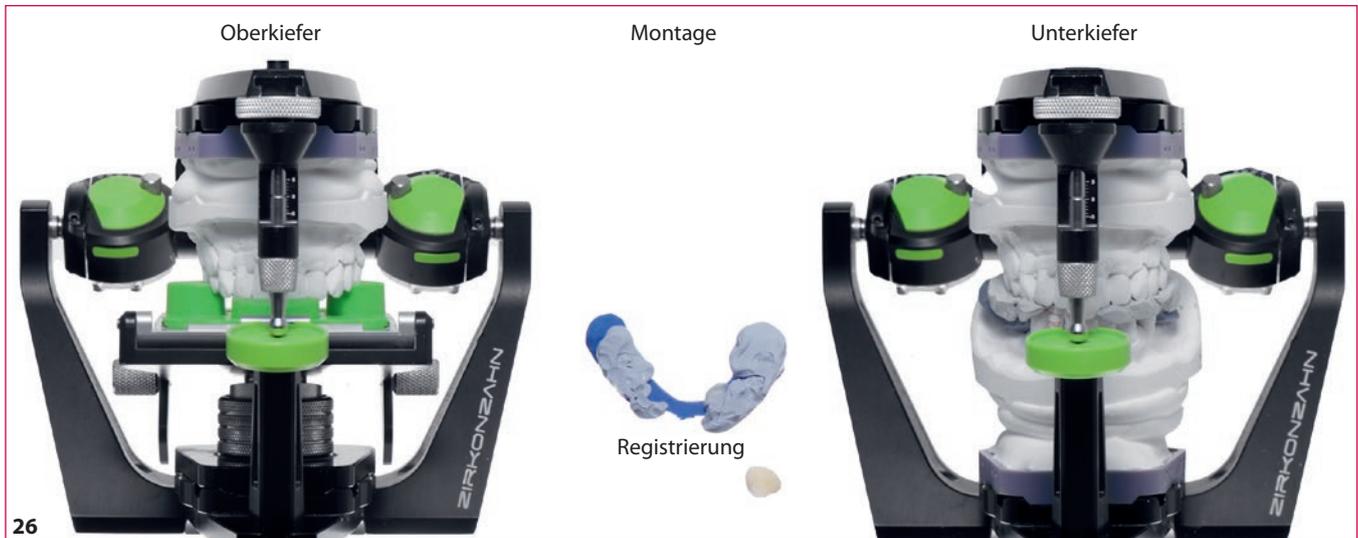


Abb. 23 Fusion der Daten (Modelle, Oberkieferposition, Gesichtsscan) über eine Transfergabel. **Abb. 24** Das Modell des Oberkiefers wird in zuvor ermittelter Position (PlaneFinder) in den Artikulator übertragen. **Abb. 25** Überblick zu den Mess-, Positionierungs- und Transfermitteln von digital zu analog.



ten (Abb. 27). Das Meistermodell wurde erstellt und über die Gingivaformer mit dem JawPositioner digital transferiert (Abb. 28 und 29).

Erarbeiten der prothetischen Restauration

Das schrittweise Erarbeiten der prothetischen Restauration basierte auf einem Fünfstufenprotokoll:

1. Prototyp 1 (Mock-up),
2. Prototyp 2 (Langzeitprovisorien),
3. Unterkiefer: Restauration im Molarenbereich (Vollkeramik) und Wax-up im Frontzahnbereich,
4. Oberkiefer: Restaurationen (Vollkeramik, Zirkonoxid-Gerüst),
5. Unterkiefer: Frontzahnrestaurationen (Vollkeramik).

Prototyp 1 und 2

Unter Berücksichtigung der leicht unterschiedlich geneigten Okklusionsebenen und Höhe erfolgte die digitale Aufstellung anhand der räumlich lagerichtig positionierten Modelle (Abb. 30a bis c). Die digitale Aufstellung konnte über den JawPositioner in den analogen Ar-

tikulator transferiert und so der CAD/CAM-gefertigte Prototyp 1 in den analogen Artikulator übertragen werden. Bei einer physischen Einprobe wurden u. a. Sprechabstand und -dynamik getestet. Zurück in der digitalen Welt konnte in wenigen Schritten das Langzeitprovisorium CAD/CAM-gestützt aus Polymethylmethacrylat (PMMA) gefertigt werden (Prototyp 2, Abb. 31 bis 33). Dies diente in den kommenden Monaten als therapeutische Versorgung. Hierbei geht es nicht darum, dass sich der Patient an die neue Restauration anpasst. Das Ziel ist gerade umgekehrt. Nicht der Patient soll sich an die Zähne gewöhnen, son-

dern das auf beschriebenen Weg hergestellte Provisorium (wahrnehmungsphysiologisch bestimmte Mitte, Höhe und horizontale Positionierung des Unterkiefers zum Schädel) muss entsprechend adaptieren. Mit der Höhe 2 (vgl. Abb. 16) und der beschriebene Registriertechnik wird ein Bereich definiert, in dem der Prototyp oder eine Schiene hergestellt werden kann. Die Position des Unterkiefers zum Schädel ist definiert; die Sprechmotorik funktioniert. Dies ist eine Art Momentaufnahme. Solange der Patient in der ermittelten Position jedoch noch keine Kaubewegungen vorgenommen hat bzw. keine Be-



Abb. 26 Digital oder analog: Das Überführen des Modells in den Artikulator kann auf beiden Wegen erfolgen: digital = JawPositioner, analog = Registrierschlüssel.

Abb. 27 Verschraubte Implantatpfosten für die Überabformung.

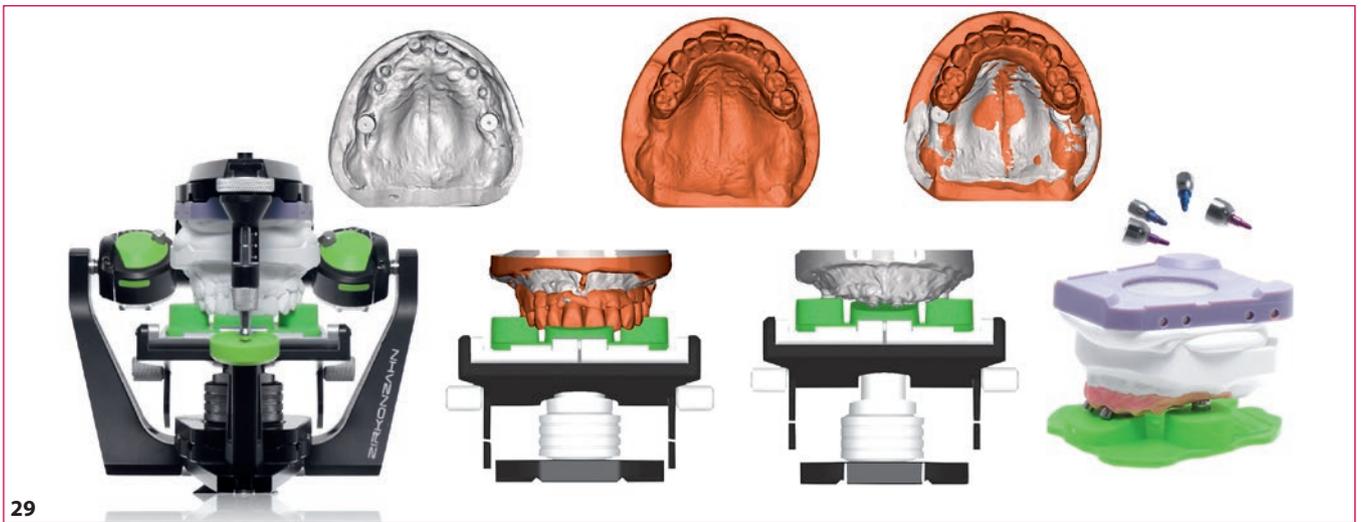
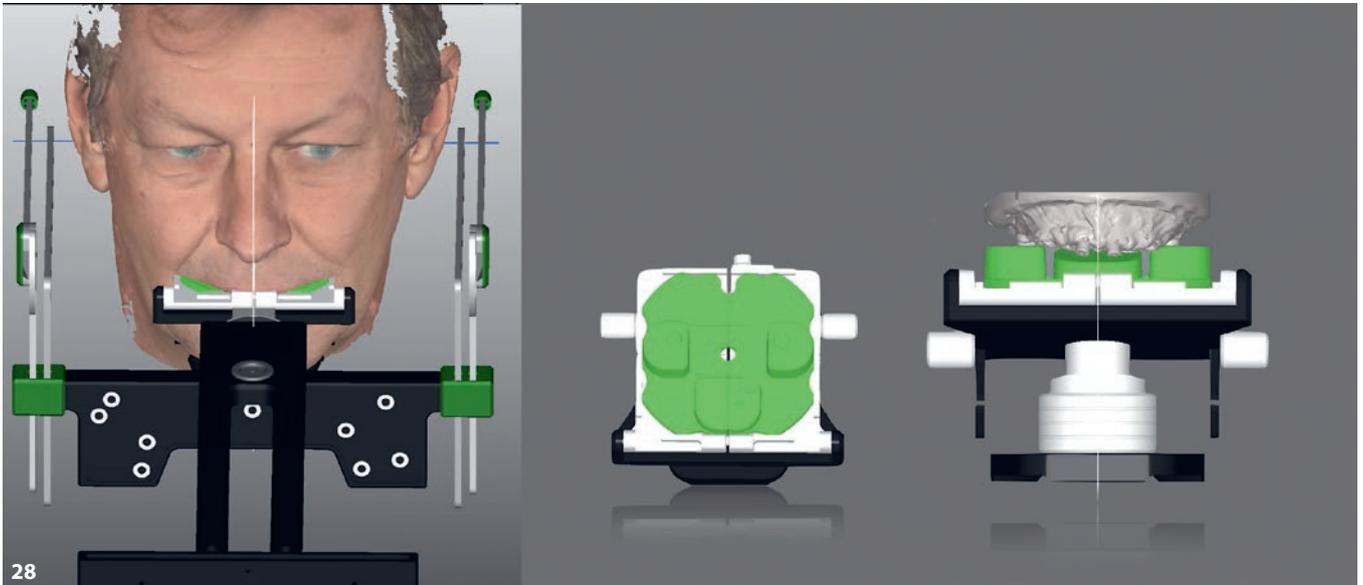


Abb. 28 Nach dem Herstellen und Digitalisieren (Modellscanner) des Meistermodells werden die Daten mit dem vorhandenen Datensatz fusioniert. **Abb. 29** Überführen der Oberkieferposition in die digitale Welt mit individuell gefrästem JawPositioner. Mithilfe dieser Platte kann jederzeit zwischen der analogen und digitalen Welt gewechselt werden.

lastung erfolgt ist, ist keine Sicherheit geboten. Für das Validieren der ermittelten Position bedarf es eines „Langzeittests“. Der physischen Diagnostik folgt daher die Langzeittestung mittels Prototyp 2 (Langzeitprovisorium). Der Prototyp wird zum Therapeutikum, auf dem sich ein physiologisches Kaumuster abzeichnet.

Definitive Restaurationen

Das, was im Artikulator erstellt wird, verursacht beim Patienten im Mund ein Bewegungsmuster²⁹. Das therapeutische Langzeitprovisorium nimmt das physiologische Kaumuster auf, welches so in die definitive Restauration überführt werden kann. Die Tragedauer ist individuell verschieden, da jeder Patient anders re-

agiert. Während der Tragezeit ergab sich auch in diesem Fall ein typisches Funktionsmuster. Dies zeichnete sich auf dem Prototyp 2 ab und konnte ohne Umwege in die virtuelle Welt übertragen werden. Die „Kopie“ war die Vorlage für die definitive Restauration. Das Langzeitprovisorium wurde mit physiologischem Kaumuster gescannt und die Daten für das



Abb. 30a bis c Digitale Aufstellung im Oberkiefer für Prototyp 1 (Set-up). Limitationsfrei kann das virtuelle Modell bzw. der Gesichtsscan in allen Ebenen rotiert und verschiedenste Bewegungen können imitiert werden. Es erfolgen eine virtuelle Einprobe im Mund des Patienten und eine Feinkorrektur (s. Animation mithilfe der QR-Codes).

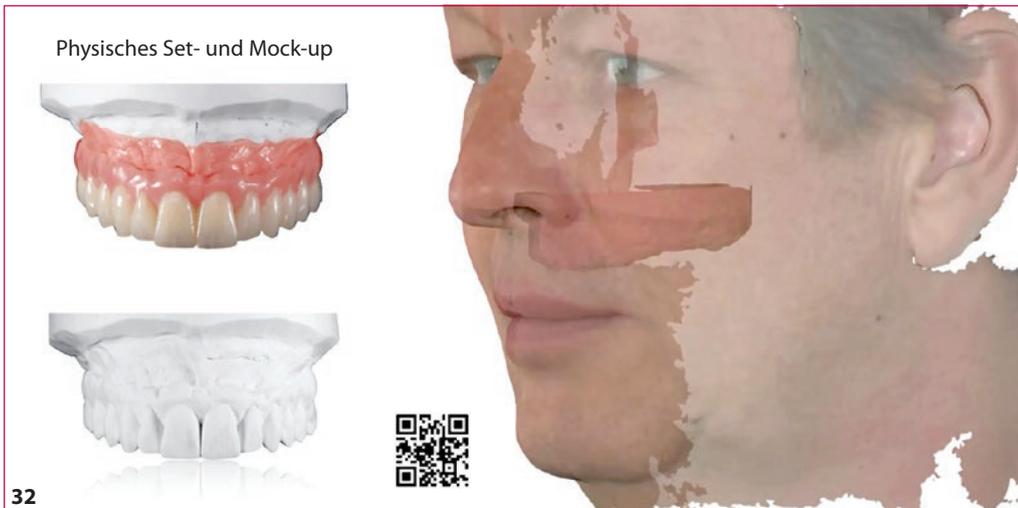


Abb. 31 Der digitalen Einprobe folgen die physische Einprobe im Mund des Patienten und das Modifizieren des Set-up. Prototyp 1 wurde zum Duplikat für den Prototyp 2. **Abb. 32** Gefräster Prototyp 1. Zähne mit Wurzeln geben den Verlauf der Gingiva wieder, sodass händisch die rote Ästhetik in Wachs – mit optimalem Übergang zum Zahn – modelliert werden kann (s. Animation mithilfe des QR-Codes). **Abb. 33** Für den Prototyp 2 (Langzeitprovisorium) ist das modifizierte Set-up CAD/CAM-gestützt aus Polymethylmethacrylat (PMMA) gefräst worden und wird im Mund verschraubt.

Herstellen der definitiven Arbeit übernommen. Diese Option ist ein großer Vorteil der Arbeit mit digitalen Technologien; es ist auf vergleichsweise einfachem Weg möglich, das physiologische Kaumuster auf die finale Restauration zu übertragen.

Für die Implantate im Molarenbereich des Unterkiefers wurden vollkeramische Restaurationen auf individuellen Zirkonoxidabuments gefertigt und im Mund verschraubt (Abb. 34). Im nächsten Therapieschritt stand die Realisierung der Oberkieferrestauration im Fokus. Form und Funktion waren durch das Langzeitprovisorium vorgegeben und konnten über die CAD/CAM-Technologie auf das Gerüst übertragen werden. Gefertigt wurde ein Zirkonoxidgerüst, dessen funktionelle Bereiche monolithisch gestaltet worden sind. Die ästhetisch sichtbaren Anteile wurden in Form einer Dünnschichtverblendung mit Keramik finalisiert (Abb. 35). Das Einsetzen der vollkeramischen Implantatbrücke im Oberkiefer gestaltete sich nach einem überlegten Workflow (Abb. 36 bis 38a und

b). Vier Abutments bzw. Aufbauten wurden im Labor in die Brücke eingearbeitet. Die vier anderen Aufbauten sollten in der Praxis intraoral verklebt werden. Mittels individuellen Kunststoffschlüssels wurde die Spannungs- und Bewegungsfreiheit getestet und erst danach die intraorale Verklebung der Brücke im Mund vorgenommen. Im letzten Schritt der prothetischen Phase wurden keramische Restaurationen für die unteren Frontzähne gefertigt und im Mund verklebt (Abb. 39a und b).

Diskussion

Mit der Restauration konnte eine Harmonie zwischen Funktion, Phonetik und Ästhetik gefunden und dem Patienten seine ursprüngliche „okklusale Heimat“¹⁰ zurückgegeben werden (Abb. 40a und b bis 42). Dies gelingt umso besser, je mehr patientenindividuelle Informationen bekannt sind. Ergänzend zur zahnärztlichen Diagnostik bildet daher die zahntechnische Analyse mit ihren referenzierbaren erfassten intra- und extraoralen Bezü-

gen, ihrer analogen und digitalen Auswertung und der daraus folgenden Herstellungsphasen des Zahnersatzes eine wichtige Grundlage²⁵.

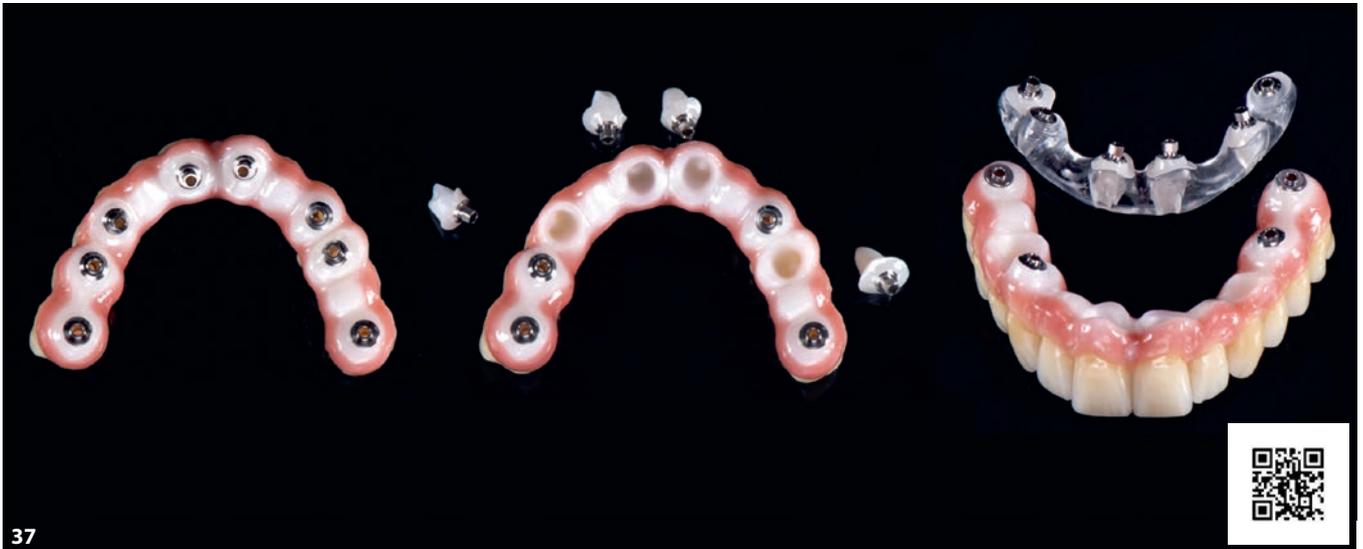
Während bei der Referenzierung des Oberkiefers im Schädel bei vielen Vorgehensweisen nur eine Ebene als Referenz dient (Durchschnittswerte), lässt sich mit der NHP die Position des Oberkiefers im Schädel anhand der zwanglosen natürlichen Kopfhaltung in allen drei Dimensionen (frontal, sagittal, transversal) ermitteln²⁵. Die NHP wurde von *Moorrees* und *Kean* definiert¹⁹ und bereits damals auf deren hohe Reproduzierbarkeit hingewiesen. Bestätigt worden ist diese u. a. durch die Arbeiten von *Cooke* und *Wei*, *Lundström* et al., *Peng* et al. und *Leitão* et al.^{4,12,16,17,19}. Ermittelt wird die NHP ohne exogenen Einfluss. Der Patient nimmt die NHP automatisch ein, sobald er sich aufrechtstehend im Spiegel des PlaneFinders in die Augen sieht. Unbeeinflusst von der skelettalen Klasse und möglichen Asymmetrien des Gesichtsschädels können über die NHP die dreidimensionale Lage des Oberkiefers erfasst und die



Abb. 34 Vollkeramische Restaurationen für den unteren Molarenbereich auf dem Modell.



Abb. 35a und b Herstellungsstufen der Oberkieferrestauration mit Gingivamodell für die Beachtung einer hygienegerechten Gerüstgestaltung. Implantatbrücke aus Zirkonoxid mit Dünnschichtverblendung der ästhetischen Anteile. **Abb. 36** Implantatbrücke zum Einsetzen im Mund vorbereitet.



37



38a



38b



39a



39b

Abb. 37 Implantatbrücke mit Abutments und Abutment-Schiene aus transparentem Kunststoff als Eingliederungshilfe bzw. zur exakten Dosierung der Zementmenge und für das Überprüfung der Passung der Primärteile (s. Animation mithilfe des QR-Codes).

Abb. 38a und b Vorbereitung für die intraorale Verklebung der Brücke. Die Zementmenge ist exakt dosiert, sodass das Risiko potenzieller Zementreste im Bereich der periimplantären Weichgewebe minimiert ist (s. Animation mithilfe des QR-Codes.) **Abb. 39a und b** Adhäsive Eingliederung der keramischen Frontzahnrestaurationen im Unterkiefer.

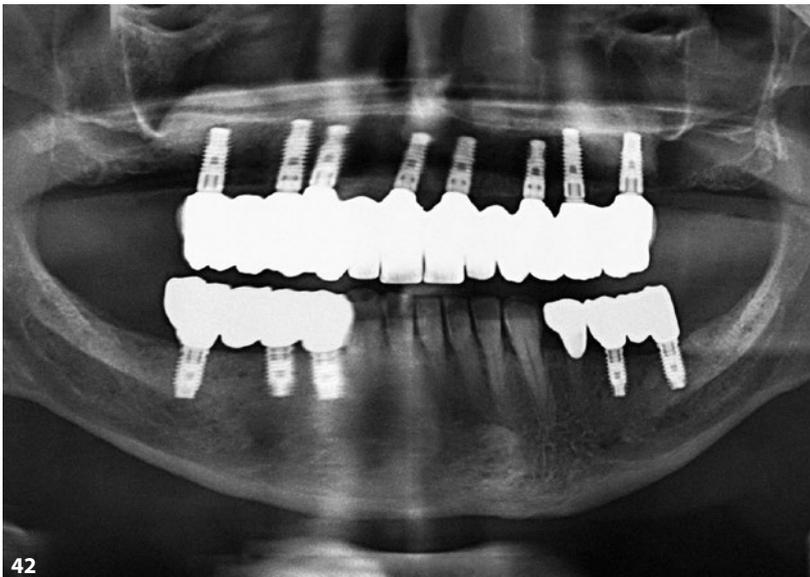


Abb. 40a und b Vorher-nachher-Vergleich. **Abb. 41a und b** Mit der Restauration konnte eine Harmonie zwischen Funktion, Phonetik und Ästhetik gefunden und dem Patienten seine ursprüngliche „okklusale Heimat“¹⁰ zurückgegeben werden. **Abb. 42** Abschließendes Röntgenkontrollbild nach der Eingliederung aller Restaurationen.

Neigung der Okklusionsebene winkelgenau zur referenzierbaren Nullebene angegeben werden. Das System wurde sowohl für die analoge als auch die digitale Anwendung entwickelt. Die Informationen können verlustfrei von analog zu digital und andersherum transferiert und somit mechanische Grenzen (klassischer Artikulator) überwunden werden.

Mit der Fusion der Daten entsteht ein digitaler, aussagestarker Datenpool aus patientenspezifischen Informationen – ein virtueller Patient, der nicht auf Standard- und Durchschnittswerte reduziert ist. Ein großer Vorteil des vorgestellten Weges bzw. der Arbeit mit einem Facescanner ist der Verzicht auf ein Fernrönt-

genbild zur Evaluation der Höhe¹. So wird einerseits eine zusätzliche Strahlenbelastung für den Patienten ausgeschlossen. Andererseits ergeben sich Vorteile in der Visualisierung. Denn während ein Fernröntgenbild nur eine einseitige Darstellung ohne Frontalansicht ermöglicht, gibt das „Ablichten“ des Patientengesichtes (inkl. angezeichnete Landmarks) mit dem Facescanner die Situation dimensionsgenau in allen Ebenen wieder. Bei dem hier verwendeten Facescanner handelt es sich um einen sehr genauen Streifenlichtscanner, wie er beispielsweise auch für den Modellscan verwendet wird.

Verschiedene Universitäten befassen sich aktuell mit dem Thema, deren abgeschlossene Studien zum beschriebenen Konzept erwartet werden. Die klinischen Erfahrungen der Autoren bekräftigen die hohe Genauigkeit der vorgestellten Registriermethode. Weiterer großer Vorteil des Vorgehens ist die Integration der gesammelten Daten in den digitalen Workflow (virtueller Patient) und der Wechsel zwischen analogen und digitalen Welten. Grundsätzlich wünschenswert sind jedoch weitere klinische Studien, die die Genauigkeit vorhandener Registriersysteme evaluieren und gegenüberstellen. Auch weitere wissenschaftliche Untersuchungen zu den Landmarks und dem Zusammenhang der dentalen Historie sind notwendig. Derzeit sind Studien in Arbeit, deren Daten sich in der Auswertung befinden.

Fazit

Mit dem beschriebenen Vorgehen lässt sich ein individueller Zahnersatz fertigen, bei dem die natürliche Kopfhaltung sowie natürliche Asymmetrien berücksichtigt sind. Durch das Zusammenspiel von digitalen Technologien mit analogen Vorgehensweisen wird eine

reduzierte Anzahl an Einproben im Patientenmund notwendig¹. Zudem sind eine hohe Genauigkeit sowie Reproduzierbarkeit gegeben. Die Kombination von digitalen mit analogen Daten und dem Wechsel zwischen den Welten überwindet bislang bekannte Grenzen wie beispielsweise mechanische Beschränkungen und Artikulator als starres System²⁵. Durch eine Datenfusion können beispielsweise dreidimensionale Daten aus dem CT bzw. DVT mit dem Gesichtsscanner zusammengeführt werden. Die fotorealistische Wiedergabe ermöglicht die virtuelle Erarbeitung der Okklusion anhand der patientenindividuellen Physiognomie. Zusätzlich zu den Daten der Kiefergelenkbewegungen werden in die Modelliersoftware die Daten des Gesichtsscanners eingelesen und mit den 3-D-Planungsdaten zusammengeführt. Letztlich müssen die gesammelten Informationen zuverlässig und exakt verarbeitet sowie umgesetzt werden können. Hierfür bedarf es auf beiden Seiten – Zahnarzt und Zahntechniker – einer hohen Kompetenz, des Verständnisses für digitale Technologien und der Offenheit gegenüber neuen Verfahrenstechniken. Sowohl im Bereich der Zahnmedizin als auch der Zahntechnik haben sich in diesem Bereich die Arbeitsweisen verändert. Der Transfer aller Daten und die Benutzung selbiger bedarf viel Wissen sowie der Erfahrung darüber, was auf analoger Ebene (Patient, physische Diagnostik) notwendig ist, um dies auf digitaler Ebene umzusetzen. Die Perspektiven in diesem Bereich sind groß. Es scheint nur eine Frage der Zeit, dass weitere Entwicklungen wie beispielsweise ein transgingivaler Intraoralscan und verbesserte Algorithmen zur Fusion der Daten von DVT, Modellscan und Morphing dank komplexer Informationsvielfalt die Zahnersatzplanung und -fertigung revolutionieren werden. Auch in den Technologien aus

dem Bereich der künstlichen Intelligenz steckt ein hohes Potenzial.

Hinweis

Ein Autor des Artikels ist an der Entwicklung von PlaneSystem beteiligt.

Literatur

1. Att W, Witkowski S, Strub JR. Digital workflow in reconstructive dentistry. Berlin: Quintessenz, 2019.
2. Bennet, NG. A contribution to the study of the movement of the mandible. Proc R Soc Med 1908;1:79–98.
3. Cooke MS. Five-year reproducibility of natural head posture: A longitudinal study. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1990;97:487–494.
4. Cooke MS, Wei SH. The reproducibility of natural head posture: A methodical study. Am J Orthod Dentofac Orthop 1988;93:280–288.
5. Ferrario VF, Sforza V, Serrao G, Ciusa V. A direct in vivo measurement of the three-dimensional orientation of the occlusal plane and of the sagittal discrepancy of the jaws. Clin Orthod Res 2000;3:15–22.
6. Gysi A. In: Bruhn C, Kantorowicz A, Partsch C (Hrsg). Handbuch der Zahnheilkunde. Band III: Zahnärztliche Prothetik. München: Bergmann, 1926.
7. Hugger A, Kordaß B. Handbuch Instrumentelle Funktionsanalyse und funktionelle Okklusion. Berlin: Quintessenz, 2018;212.
8. Kato T. A study on the reference planes and lines for dental practice. Aichi Gakuin Daigaku Shigakkai Shi 1990;28:1–19 [Artikel auf japanisch].
9. Kordaß B. Kieferrelationsbestimmung – eine Herausforderung. Quintessenz Zahntech 2011;37:1105.
10. Kordaß B, Lotze M. Aufbiss, Zähne und Gehirn. In: Böhme H, Slominski B (Hrsg). Das Orale. Die Mundhöhle in Kulturgeschichte und Zahnmedizin. München: Wilhelm Fink, 2013:147–156.
11. Lauritzen A. Atlas of occlusal analysis. Colorado Springs: HAH Publications, 1974.
12. Leitão P, Nanda RS. Relationships of natural head position to craniofacial morphology. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2000;117(4):406–417.
13. Linden, FPGM van der. Development of the Human Dentition. Chicago: Quintessence, 2016.

14. Linden, FPGM van der. Facial growth and facial orthopedics; Quintessence Publishing Co Inc., U.S. 245 Seiten; 1986.
15. Linden, van der, Frans P. G. M.: Orthodontics With Fixed Appliances. Chicago: Quintessence, 6. Aufl. 1997.
16. Lundström A, Lundström F. Natural head position as a basis for cephalometric analysis. Am J Orthod Dentofac Orthop 1992;101:244–247.
17. Lundström A, Lundström F, Le Bret LM, Moorrees CF. Natural head position and natural head orientation: Basic considerations in cephalometric analysis and research. Eur J Orthod 1995;17(2):111–120.
18. Marquardt S, Plaster U. Functional aesthetics in implantology and reconstructive dentistry: Analysis and transfer of referenced individual patient information with the PlaneSystem. Curr Oral Health Rep 2019;6(4):1–8.
19. Moorrees CFA, Kean MR. Natural head position: A basic consideration in the interpretation of cephalometric radiographs. Am J Phys Anthropol 1958;16:213–234.
20. Ogawa T, Koyano K, Suetsugu T. Characteristics of masticatory movement in relation to inclination of occlusal plane. J Oral Rehabil 1997;24:652–657.
21. Ogawa T, Koyano K, Suetsugu T. Correlation between inclination of occlusal plane and masticatory movement. J Dent 1998;26:105–112.
22. Ogawa T, Koyano K, Suetsugu T. The relationship between inclination of the occlusal plane and jaw closing path. J Prosthet Dent 1996;76:576–780.
23. Ogawa T, Koyano K, Umemoto G. Inclination of the occlusal plane and occlusal guidance as contributing factors in mastication. J Dent 1998;26:641–647.
24. Plaster U. Schienentherapie und das System Mensch. Quintessenz Zahntech 2020;46(9):931–1043.
25. Plaster, U. Transfer of the patient's oral situation to the articulator and synchronizing the articulated models. Part 1, 2: Occlusal plane and jaw relation the analysis and transfer of information. J Craniomand Func 2019:41–52.
26. Peng L, Cooke MS. Fifteen-year reproducibility of natural head posture: A longitudinal study. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1999;116:82–85.
27. Rossaint AL. Medizinische Kinesiologie. Kirchzarten: VAK, 2002.
28. Sinobad D, Postic SD. Roentgen craniometric indicators of the position of the occlusal plane in natural and artificial dentitions. Eur J Prosthodont Restor Dent 1996;4:169–174.
29. Tamaki K, Celar AG, Beyers S, Aoki H. Reproduction of excursive tooth contact in an articulator with computerized axiography data. J Prosthet Dent 1997;78:373–378.
30. Xie J, Zhao Y, Chao Y, Luo W. A cephalometric study on determining the orientation of occlusal plane. Hua Xi Yi Ke Da Xue Xue Bao 1993;24:422–425 [Artikel auf chinesisich].



Prof. Dr. Wael Att
 Department of Prosthodontics
 School of Dental Medicine
 Tufts University
 1 Kneeland Street, Suite 220
 02111 Boston
 USA
 E-Mail: Wael.Att@tufts.edu



Udo Plaster
 Zahntechnikermeister
 Plaster Dental-Technik GbR
 Emilianstraße 1
 90489 Nürnberg