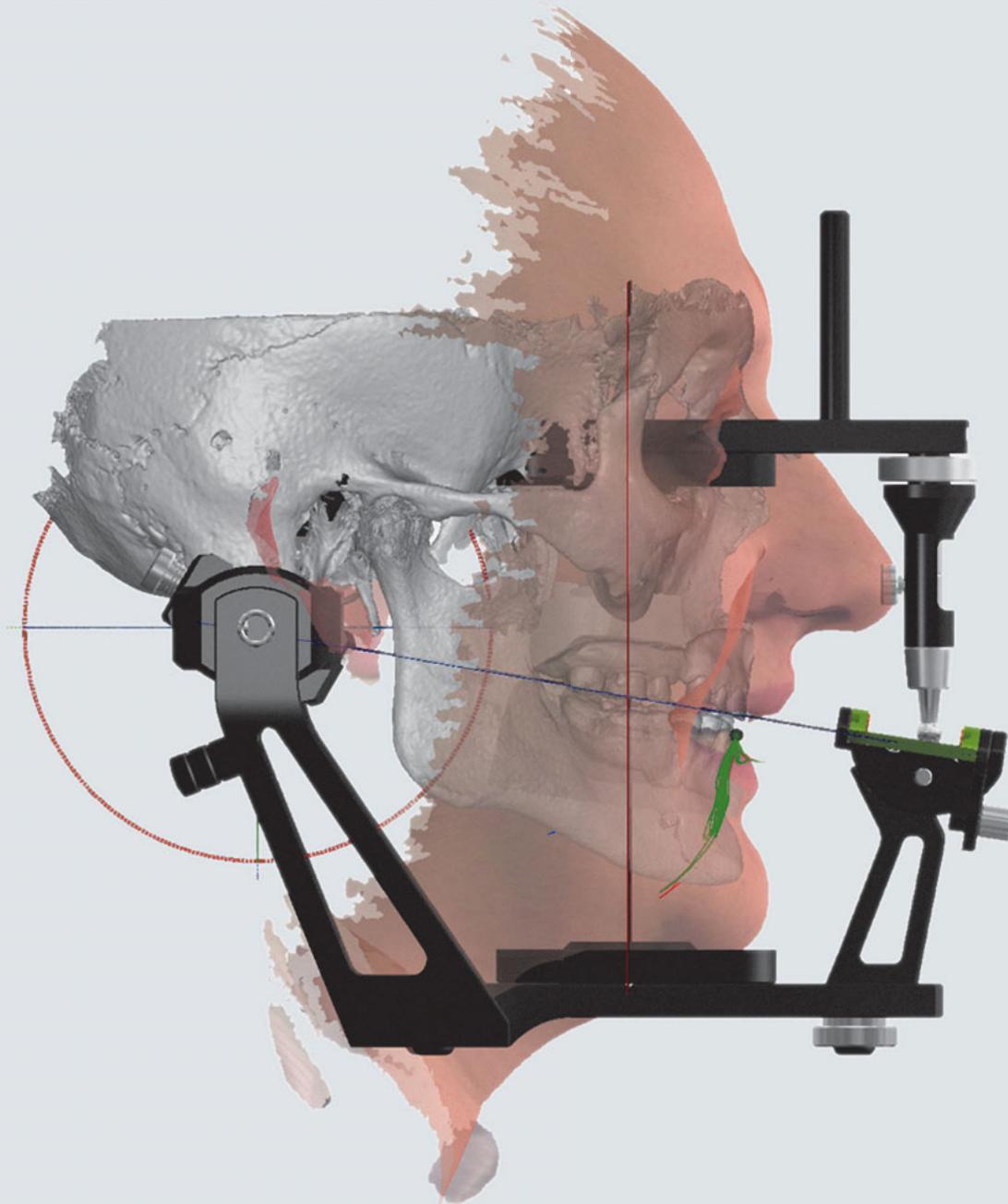


Synchronisierung der Modelle vom Patienten in den Artikulator

Okklusionsebene und Kieferrelation – Analyse und Transfer der Informationen

UDO PLASTER



Einleitung

Grundlage für ein funktionierendes stomatognathes System ist ein aufeinander abgestimmtes Wechselspiel aller patientenspezifischen Komponenten des Kausystems. Das harmonische Zusammenspiel des komplexen Regelkreises sorgt für den gesunden Kauapparat. Grundsätzlich muss auch der Zahntechniker beim Herstellen von Zahnersatz bedenken, dass das Kauorgan kein autonomes System ist, sondern eingebettet in einem kybernetischen Regelkreis arbeitet³. Somit sind bei der Planung, respektive Herstellung eines Zahnersatzes, zusätzlich zu Zähnen, Ober- und Unterkiefer sowie Parodontium auch die Muskulatur, die Kiefergelenke, die dentale Historie und ganzkörperliche skelettale Parameter einzubeziehen. Für das prothetische Arbeitsteam, bestehend aus Zahnarzt, Zahntechniker und ggf. Spezialisten angrenzender Fachbereiche (z. B. Physiotherapeuten), bedeutet dies, relevante Informationen nicht nur auf den dentalen Bereich zu beschränken.

Die vorgestellte Systematik basiert auf einem authentischen Konzept: dem Patienten. Die Individualität und Variabilität eines jeden Menschen setzt einem starren Konzept klare Grenzen. Jeder Pa-

tient hat mit seiner individuellen Situation sowie seiner dentalen Historie spezifische Voraussetzungen, die berücksichtigt werden sollten. Wie bei einem Kompass geben die individuellen Gegebenheiten den Weg vor. Um dies zu ermitteln, erhebt häufig zusätzlich zum Zahnarzt und ggf. dem Physiotherapeuten der Zahntechniker die für ihn relevanten Informationen. Hierbei beruht die zahntechnische Analyse immer auf einer engen Absprache mit dem Zahnarzt. Wird im Labor das diagnostische Wax-up gefertigt und am Patienten getestet, spricht man von der zahntechnischen Analyse bzw. „physischen Diagnostik“. Diese zahntechnische Beurteilung der Situation hat nichts mit einer medizinischen Diagnostik gemein, die ausschließlich dem Zahnarzt obliegt. Bei der zahntechnischen Analyse handelt sich um Arbeitsschritte, die ergänzend zur zahnärztlichen Diagnostik vorgenommen werden können. Ziel ist es, einen Zahnersatz zu erstellen, der sich in allen Aspekten in die Mundsituation einfügt.

Einerseits sollte hierfür das Oberkiefermodell in patientenbestimmter Position – in allen Dimensionen stimmig (True Vertical, TrV, und True Horizontal, TrH; Abb. 1) – in den Artikulator gesetzt werden. Andererseits ist das Unterkie-

Zusammenfassung

Funktionelle und zugleich ästhetische Lösungen sind in der prothetisch-restaurativen Zahnmedizin eine tagtägliche Herausforderung. Ein Grund dafür ist, dass die Modellsituation im Artikulator die klinische Situation am Patienten nur annähernd wiedergibt. Im Fokus des Artikels steht die realistische Übertragung der Modelle in den Artikulator. Vorgestellt wird der Werdegang der funktionsanalytischen Methode mit dem PlaneSystem. Beschrieben werden die Notwendigkeit, aus welcher die Systematik entstanden ist, sowie die einzelnen Entwicklungsstufen. Anschließend wird das Potenzial dargestellt, das die Methode dem prothetischen Arbeitsteam bietet.

Indizes

Funktionsanalyse, Okklusionsebene, Artikulator, Zentrik, PlaneFinder



Abb. 1 Plumb Line: Darstellung der vertikalen und horizontalen Nulllinien True Vertical (TrV) und True Horizontal (TrH).

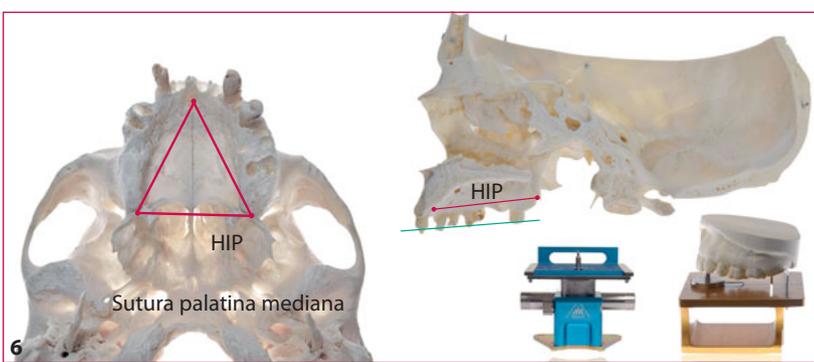
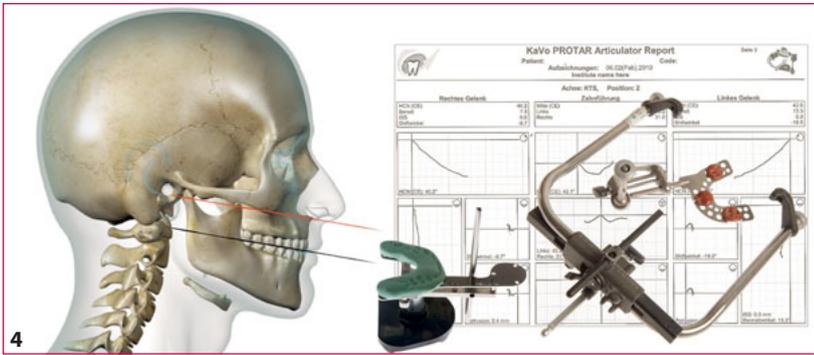


Abb. 4 Im Jahr 2010: Arcus Digma 1 Transferposition mit Artikulator-Report⁵.
Abb. 5 Ästhetikbogen aus dem System Arcus Digma. Es wurden verschiedene Tests vorgenommen, um die Oberkieferposition – ohne Bezug zur Frankfurter Ebene oder Camperschen Ebene – zu übertragen. **Abb. 6** HIP-Ebene nach Cooperman. Drei stabile Punkte im Oberkiefer dienen als Referenz. Nach wie vor handelt es sich jedoch nur um EINE Ebene in einem dreidimensionalen Raum.

noch immer nicht möglich. Zusammen mit dem Entwickler des Arcus Digma 1 und 2, Hans-Walter Lang, wurde die Systematik diskutiert und insbesondere der Versatz bzw. die Asymmetrien der beiden Gesichtshälften, die unweigerlich bei fast jedem Patienten auftreten, explizit thematisiert.

Im Ergebnis dieser Auseinandersetzung gelangte der Autor zu den Arbeiten von Rainer Schöttl, der mit dem HIP-Mount eine neue Systematik zum Übertragen der Modelle in den Artikulator entwickelt hatte¹¹. Die HIP-Ebene wurde 1955 von Harry Cooperman validiert. Er untersuchte mehr als 10.000

Schädel und fand drei stabile Punkte im Oberkiefer, die eine Ebene definierten: die beiden Gruben hinter den maxillären Tubern (Hamuli) und einen Punkt nahe der inzisalen Papille (Hamular In-cisive Papilla = HIP) (Abb. 6). Darauf basierend entstand der HIP-Mount. Als Referenz dienen keine Scharnierachse und Bezugsebene. Vielmehr werden die Mitten und Ebenen am Patienten abgegriffen. So entsteht eine Modellsituation im Artikulator, bei der die Mitte zugleich die Schädelmitte darstellt und die Tischebene die Okklusalebene definiert¹¹. Der Bezug wird zur Camper-schen Ebene sowie zur Bipupillarlinie gesucht. Mit dem HeadLine-Gerät werden Gesichtsmitte und Bipupillarlinie evaluiert¹². Alle Informationen wurden damals über einen Fotostatus auf die Modellsituation (mimische Bilddoku-mentation) übertragen¹⁰. Die Systematik von Schöttl basiert auf der Campe-rebene, die den Zugang zur Okklusio-nsebene gewährt. Die Campersche Ebene ist durch die beiden Traguspunkte rechts und links am Ohr und durch die Spina nasalis anterior definiert, waagrecht bzw. parallel zur Stand- oder Sitz-fläche des Patienten¹⁶.

Von HIP-Mount zum PlaneFinder

Aus den HIP-Punkten ergibt sich eine stabile Ebene. Aber wie ist diese Ebene im Schädel positioniert? Erneut ist auf natürliche Asymmetrien zu verweisen. Beispielsweise kann der linke Hamular in seiner Höhe von der rechten Seite abweichen. Das Vorgehen stellte nun zwar eine präzisere Möglichkeit dar, das Oberkiefermodell bzgl. der Mitte und der Ansteuerungspunkte (Gelenkboxen) in den Artikulator zu positionieren. Aber die Interpretation der asymmetrischen Gesichtshälften war noch immer nicht gewährleistet.



Es wurde ein Durchschnitt gebildet. Frankfurter Horizontale, Campersche Ebene oder Ästhetikebene – es ist immer nur eine Ebene und dies gewährleistet keine Modellpositionierung im dreidimensionalen Raum, wie z. B. in der digitalen Welt. Beim Headline-System gehörte das Kreuz der Bipupillarlinie zum festen Bestandteil (Abb. 7a).

Doch die Bipupillarlinie ist nicht reproduzierbar und stellt keine objektive Referenz dar, sondern basiert vielmehr auf einer Interpretation. In der Folge wurde die Bipupillarlinie weniger beachtet. Um eine Nullebene zu definieren, benötigt man eine Referenz. Wird diese Referenz über Hilfsmittel mit der Hand eingestellt, beeinflussen die Erfahrung bzw. das subjektive Empfinden (keine stabile Referenz) des Untersuchers sowie die Ruhelage des Patienten während des Referenzierens das Ergebnis (Abb. 7b und c).

Daraus resultierte die Erkenntnis, dass sowohl der Patient als auch die Nullebene einer stabilen Positionierung bedürfen. In der Folge wurde eine stabile Nulllinie erzeugt, in dem man das Vermessungssystem auf ein Stativ positionierte und den Patienten vor einem Spiegel (Natural Head Position, NHP^{1,8}) platzierte (Abb. 8). So entsteht eine reproduzierbare Ansicht.

NHP als Referenz

Die NHP wird ohne exogenen Einfluss ermittelt. Sie ist die vom Patienten wahrgenommene Ebene, die er selbst vor dem Spiegel bestimmt (Abb. 9). Ziel der Überlegungen war es, ein Vorgehen zu etablieren, das frei von einer subjektiven Interpretation und dem Streben nach einer idealisierten Situation ist. Mit dem Übertragungssystem sollte sich die Position des Oberkiefers frei von exogenen Einflüssen bestimmen lassen können.

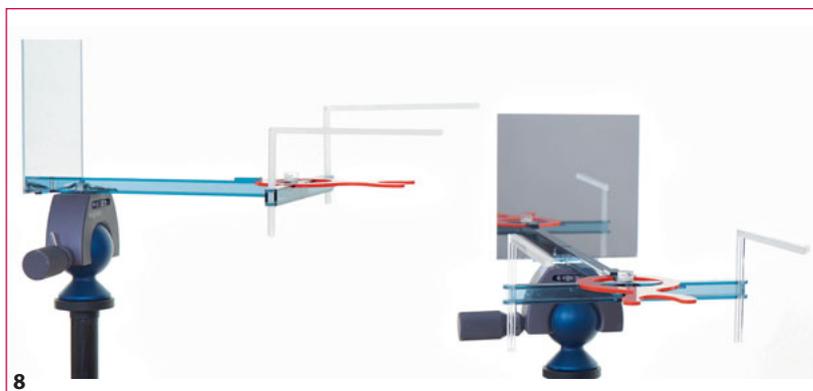
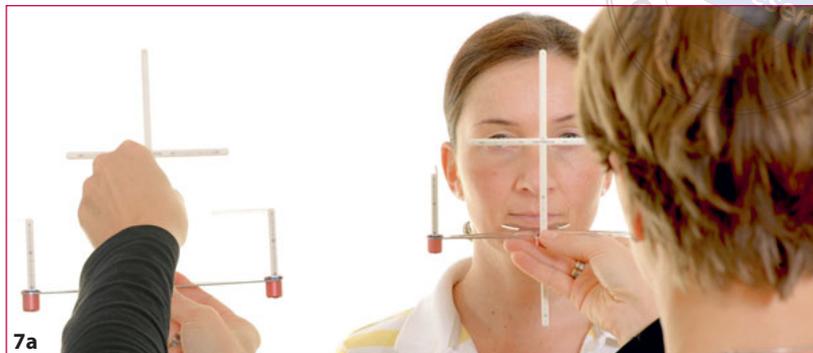


Abb. 7 a HeadLines nach Schöttl. Bezugsebene ist die Bipupillarlinie (Asymmetrie!). **b und c** Zwei Variablen beeinflussen das Ergebnis maßgeblich. Die Positionierung der Hand ist ebenso wenig reproduzierbar wie die Ruhelage des Patienten während der Referenzierung. Benötigt wird eine stabile Nulllinie. **Abb. 8** Prototyp PlaneFinder. Ein Stativ dient als feste Referenz. Alle Variablen werden eliminiert, indem das Vermessungssystem auf einem Stativ (an Wasserwaage ausgerichtet) positioniert wird.



Das Stativ in der Nullposition und die NHP ergeben zwei bzw. drei zuverlässig stabile Punkte. Mit diesen Parametern kann die NHP als zuverlässige Referenz fixiert werden. Erstmals lassen sich damit patientenspezifische Abweichungen in ihren räumlichen Richtungen reproduzierbar erfassen.

Die Neigung der Okklusionsebene – bei asymmetrischen Gesichtshälften (Abb. 10) – wird mit beidseitig am Plane-Finder angebrachten Okklusionswinkeln vermessen. Dabei wird die Neigung der rechten sowie der linken Gesichtshälfte als Winkel zwischen der Nullebene und der Ala-Tragus-Linie dargestellt. Diese Verbindungslinien vom Ala nasi zum Tragus verlaufen weitestgehend parallel zur Funktionsebene (Okklusionsebene). Das Vorgehen hat nichts mit dem Head-Line-System zu tun (Versuch einer Nullebene) und ist nicht mit einem Gesichtsbogen zu vergleichen, denn hier wird immer etwas interpretiert und somit idealisiert. Mit einer Bezugsebene lassen sich rechte und linke Gesichtshälfte nicht getrennt analysieren.

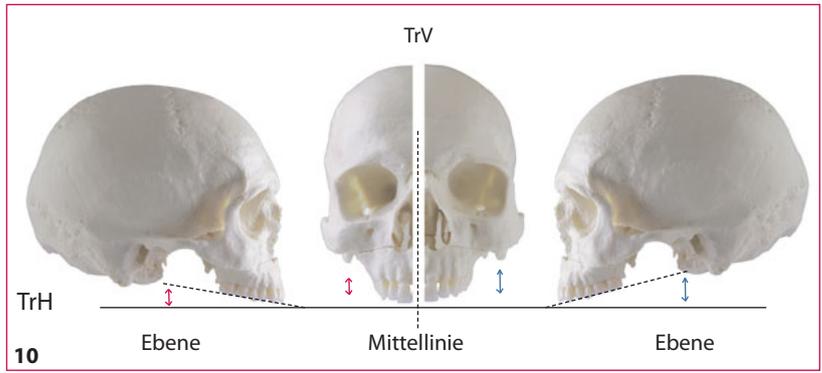


Abb. 9 Patientenbezügliches Abgreifen der schädelbezughlichen Position des Oberkiefers mit dem PlaneFinder in der NHT (ohne exogenen Einfluss). **Abb. 10** Verdeutlichung der Asymmetrien am Gesichtsschädel. Rechts und links werden getrennt dargestellt betrachtet.

Im Jahr 2011 kam es dann zur Zusammenarbeit mit dem auf CAD/CAM-gestützte Fertigungsprozesse spezialisierten Unternehmen Zirkonzahn. Nach eingehenden Überlegungen wurde beschlossen, eine Software bzw. ein funktionsanalytisches System zu entwickeln, bei dem Asymmetrien des Gesichts Berücksichtigung finden. Entstanden ist das PlaneSystem.
 Wilfried Tratter hat als Software-Entwickler maßgeblich mitgewirkt. Eine durchdachte Systematik sollte ermög-

lichen, die rechte sowie linke Gesichtshälfte getrennt voneinander interpretieren zu können. Referenzpunkte/-linien werden nicht am Schädel definiert, sondern im dreidimensionalen Raum auf Basis zweier zuverlässiger Nulllinien.
 Als vertikale Referenzlinie ist die TV (True Vertical) definiert, die durch das Nasion verläuft. Die horizontale Referenzlinie (True Horizontal, TH) verläuft im rechten Winkel – reproduzierbar zur TV – durch den Tragus (Gleichgewichtsorgan) in patientenbestimmter Position^{1,8}. Die



Position des Schädels hinter den beiden Nulllinien wird mittels Analyse des Patienten im PlaneFinder ermittelt. Unbeeinflusst von der skelettalen Klasse und möglichen Asymmetrien des Gesichtsschädels können über die NHP die dreidimensionale Lage des Oberkiefers erfasst und die Neigung der Okklusionsebene winkelgenau zur referenzierbaren Nullebene angegeben werden⁹. Das System

wurde sowohl für die analoge als auch die digitale Anwendung entwickelt.

Um die Position des Oberkiefers aus der virtuellen Welt in die analoge Welt übertragen zu können, gibt es den Jaw Positioner (Abb. 12). Anhand der vorliegenden digitalen Daten wird der Jaw-Positioner individuell gefräst und ermöglicht, die digitale Position exakt in den realen Artikulator zu transferieren.

Praktische Vorgehensweise

Ausgangspunkt sind Situationsmodelle sowie anatomische Landmarken am Patienten, immer im Bewusstsein, dass der Schädel in allen Positionen asymmetrisch ist und ohne exogenen Einfluss am Patienten gearbeitet wird. Als primäre Orientierung für das Positionieren des Oberkiefermodells dient die Schädelmitte

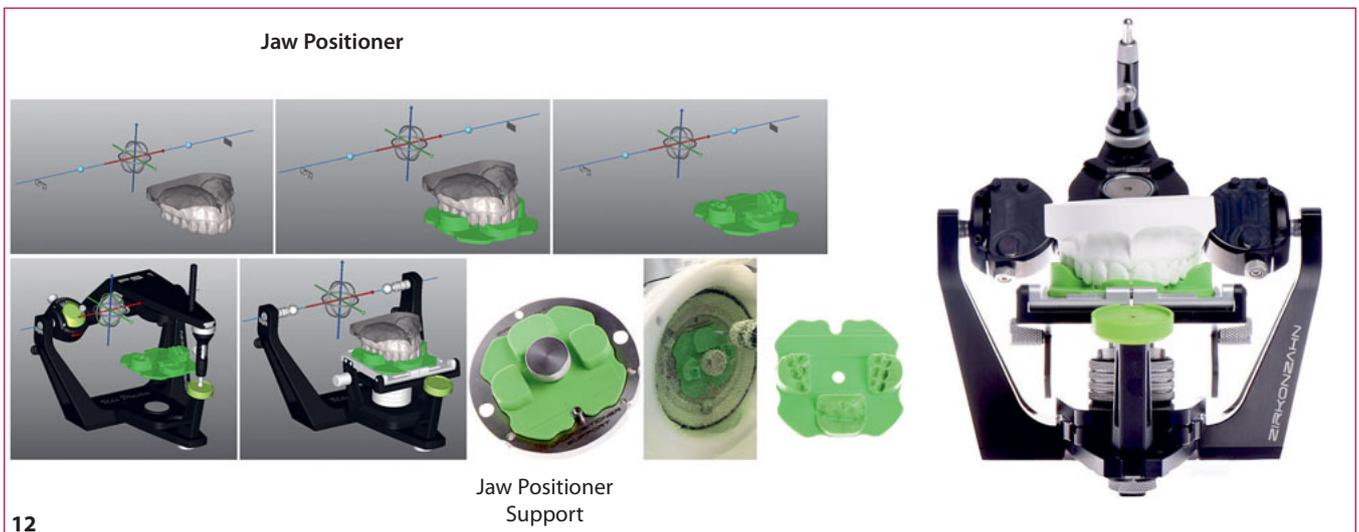
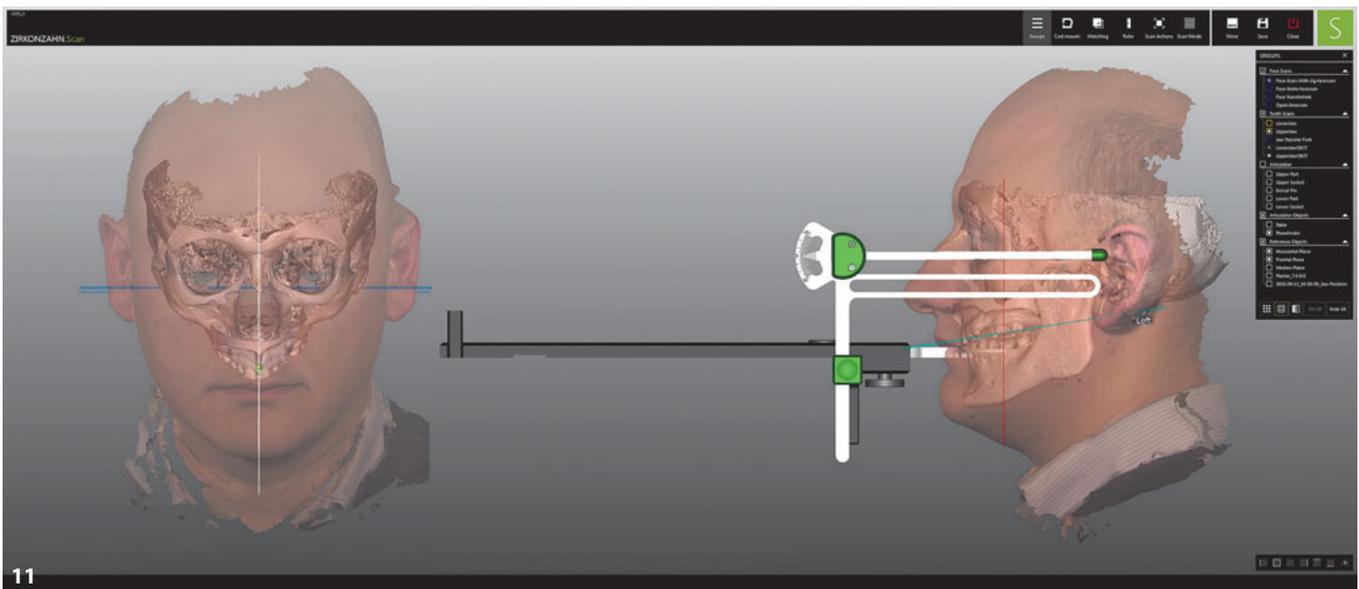


Abb. 11 DICOM-Datensatz mit Modellen und FaceScan sind in die Software transferiert. Das Jochbein stimmt mit der Position des oberen Sechlers überein (rote Linie). Die Okklusionsebene harmonisiert mit dem Mastoid (blaue Linie). **Abb. 12** Übertragen der digitalen Position des Oberkiefermodells in den physischen Artikulator mit dem individuell gefrästen Jaw Positionierer.

als Schnittpunkt beider Gesichtshälften (Abb. 13). Zudem wird auf beiden Seiten das Kauzentrum – Region des oberen Sechсers – ermittelt. Dies entspricht dem Bereich, an dem die Zähne am stärksten belastet werden (Os zygomaticum). Erneut sind die Asymmetrien zwischen linker und rechter Schädelhälfte zu beachten.

Bei einer starken Differenz wird ein Mittelwert gebildet. Des Weiteren wird die funktionelle Bewegungsachse als Kombination zwischen Rotations- und Translationsbewegung der Kiefergelenke eruiert. Dies entspricht der Region des Mastoid, wobei ebenfalls Abweichungen zwischen linker und rechter Gesichtshälfte auftreten können (Abb. 14 und 15). Die Referenz des Sechсers im orofazialen System und die Abhängigkeit zum Wachstum wurden in kieferorthopädischen Studien, etwa von van der Linden, dargestellt (Abb. 16 und 17)¹³⁻¹⁵.

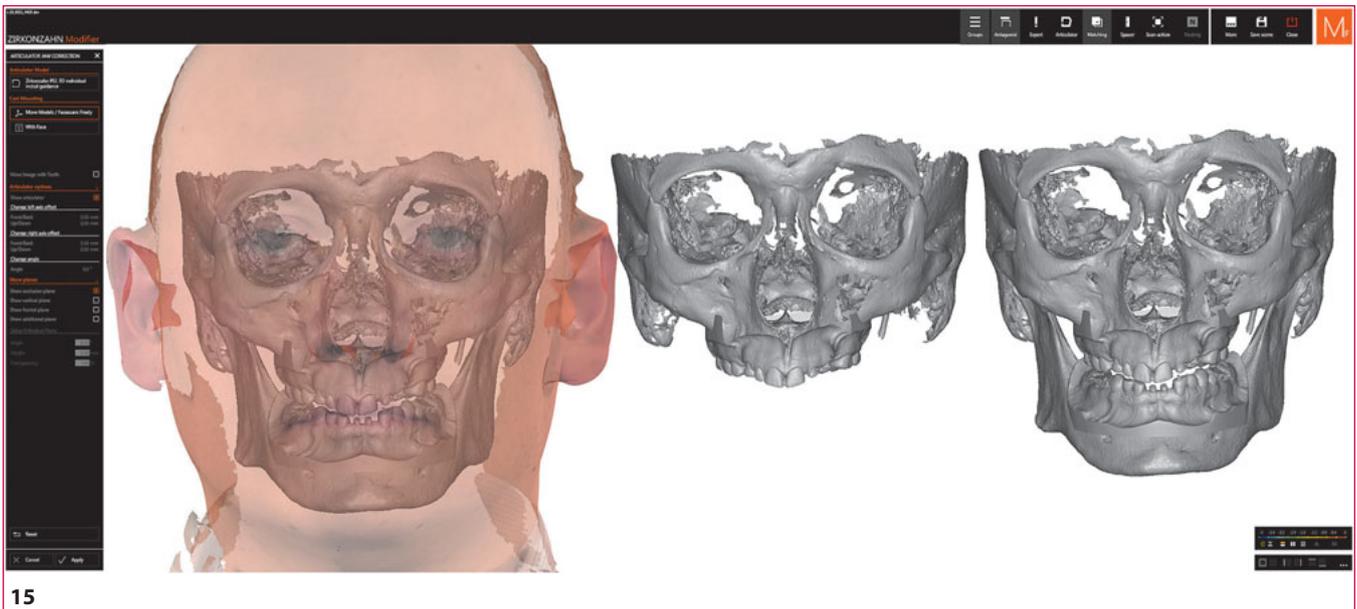
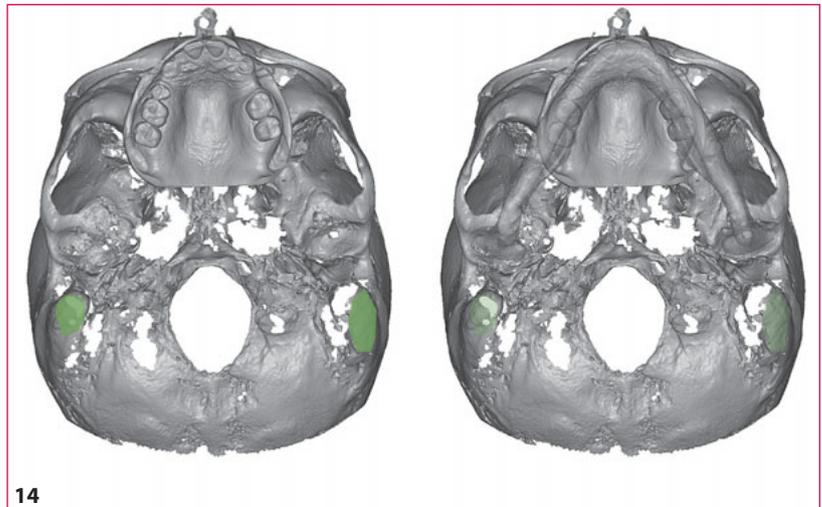
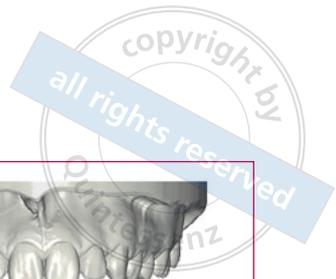
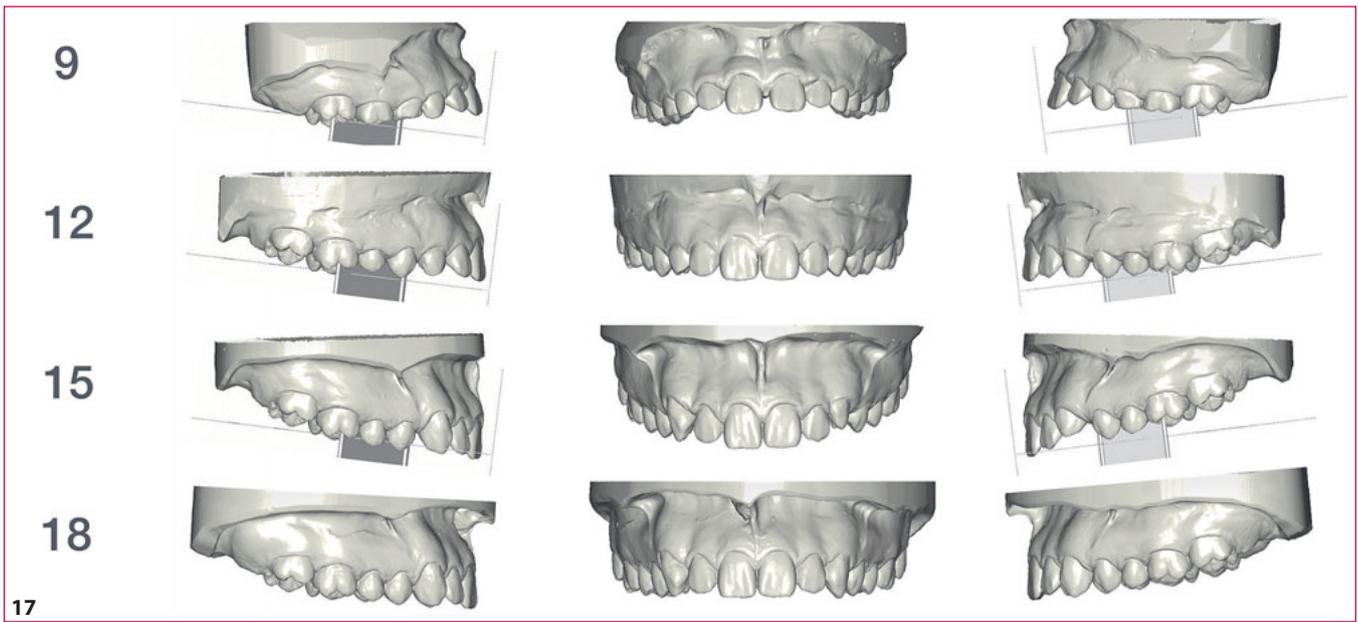


Abb. 13 Darstellung der anatomischen Landmarken sowie der Schädelmitte. Das Bild unterstreicht die Asymmetrie der Gesichtshälften. **Abb. 14** Patient mit Nicht-Anlagen (keine KFO-Behandlung). Darstellung der Asymmetrien am Schädel. Der grün markierte Bereich des Mastoid verdeutlicht die Unterschiede zwischen rechts und links. **Abb. 15** Ansicht von frontal. Die rechte Schädelhälfte ist tiefer als die linke. Der eingblendete Schädel (FaceScanner) konkretisiert nochmals die Asymmetrie.



16



17

Abb. 16 und 17 Korrelation des Sechsters mit dem Kieferwachstum^{10,12,16}. Die digitalisierten Modelle dieses Patienten im Alter von 9, 12, 15 und 18 Jahren sind entsprechend der Schädelmitte sowie des Sechsters montiert. Vom Sechser aus ist der Kiefer nach posterior und anterior gewachsen (ohne exogenen Einfluss) – beidseitig verschieden.

Artikulator

Der zu verwendende Artikulator – der PS1 (Zirkonzahn) – ist nicht wie die meisten anderen Systeme achsbezogen, sondern vollzieht in der analogen Welt translatorische Dreh- und Gleitbewegungen zur individuellen Okklusionsebene (Abb. 18 und 19). In der virtuellen Welt ist es möglich, mit der tatsächlichen Bewegung des

Patienten zu arbeiten (real movement). Auch der kurze Stützstift des PS1 unterscheidet sich deutlich von anderen Systemen. Es gibt eine fest definierte Position am Ober- und Unterteil des Artikulators. Diese ist im Gegensatz zur Stützstifthöhe nicht veränderbar. Der Stützstift auf Nullposition bildet das Stomion (Lippenschlusslinie) als Startpunkt der Funktionsebene ab. Der Endpunkt liegt

im Bereich des Mastoids. Mithilfe der Sechser-Position (Kauzentrum) kann die Funktionsebene für die rechte und linke Seite exakt dargestellt werden. Je nach Wachstumstyp ist die Ebene nach dorsal oder nach ventral geneigt (Abb. 20).

Der Artikulator kann mit Führungselementen (Frontzahnführungsteller, mechanische Gelenkboxen) bestückt werden. Der Frontzahnführungsteller be-

findet sich in Höhe und Inklination der natürlichen Frontzähne. Mit einem individuellen Frontzahnführungsteller kann die Situation erfasst und archiviert werden. Da sich der Stift immer an derselben Position befindet, wird mit dem gleichen Ausgangspunkt gearbeitet. Die Situation kann z. B. eingescannt und in die virtuelle Welt übertragen werden. Wird die Position des Unterkiefers nicht manipuliert erfasst, kann der Stützzstift moderat angehoben oder abgesenkt werden, ohne die okklusalen Gegebenheiten zu verändern.

Übertragen der NHP

Das Ermitteln der NHP und damit die dreidimensionale Zuordnung der Modelle erfolgt vom Patienten selbst. Er nimmt die NHP automatisch ein, sobald er sich aufrechtstehend im Spiegel des PlaneFinder in die Augen sieht (Abb. 21). Die Körperhaltung wird ausbalanciert. Die Sichtachse liegt parallel zum Horizont. Ausgehend von der Lippenschlusslinie wird seitlich am Gesicht eine horizontale Linie festgelegt, die Null-Grad-

Ebene (Abb. 22). Der Patient stützt die Frontzähne am Bite Tray ab. Diese Position wird mit Registriermaterial fixiert. Die horizontale Fläche am PlanePositioner ist nun die Null-Grad-Ebene für das Oberkiefermodell (Abb. 23).

Um das Modell in sagittaler Ebene korrekt zu positionieren, werden im Vorfeld das Kauzentrum und die skelettale Mitte referenziert. Für die skelettale Mitte wird die Sutura palatina mediana am Gipsmodell markiert. Das Kauzentrum

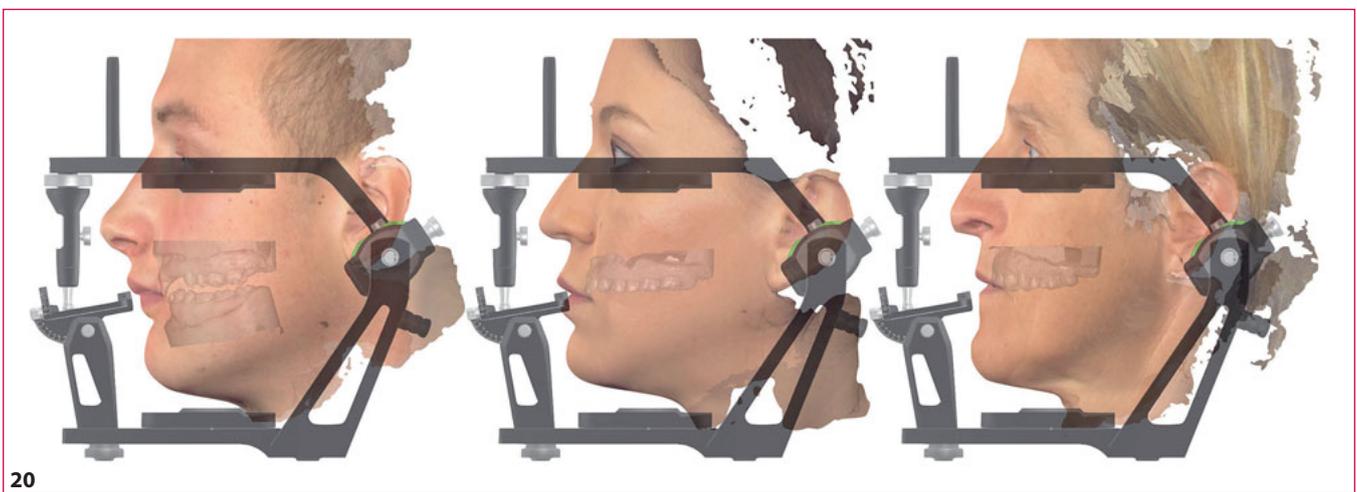
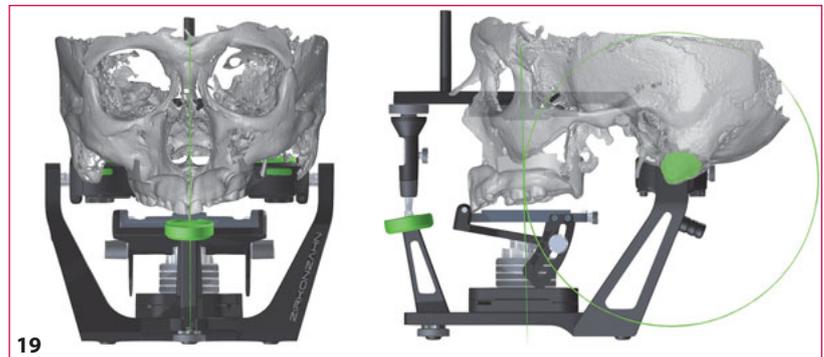
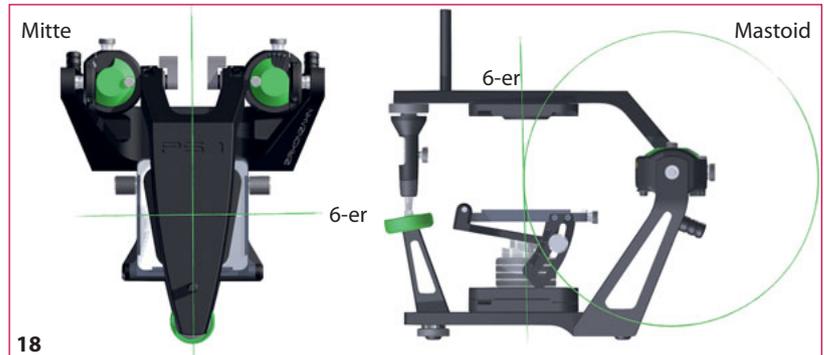


Abb. 18 Der Artikulator PS1. **Abb. 19** Diese Darstellung visualisiert, dass die rechte Schädelhälfte tiefer liegt als die linke. Der Bereich des Mastoids ist am Schädel grün markiert. **Abb. 20** Drei skelettal unterschiedliche Patiententypen. Der Sechser befindet sich im Kauzentrum und der Mastoid in einem Bereich, der als Kombination zwischen Rotations- und Translationsbewegung der Kiefergelenke bestimmt worden ist. Durch unterschiedliche Faktoren (Wachstum, Nichtanlage, Zahnverlust etc.) ist die Inklination der Okklusionsebene individuell.

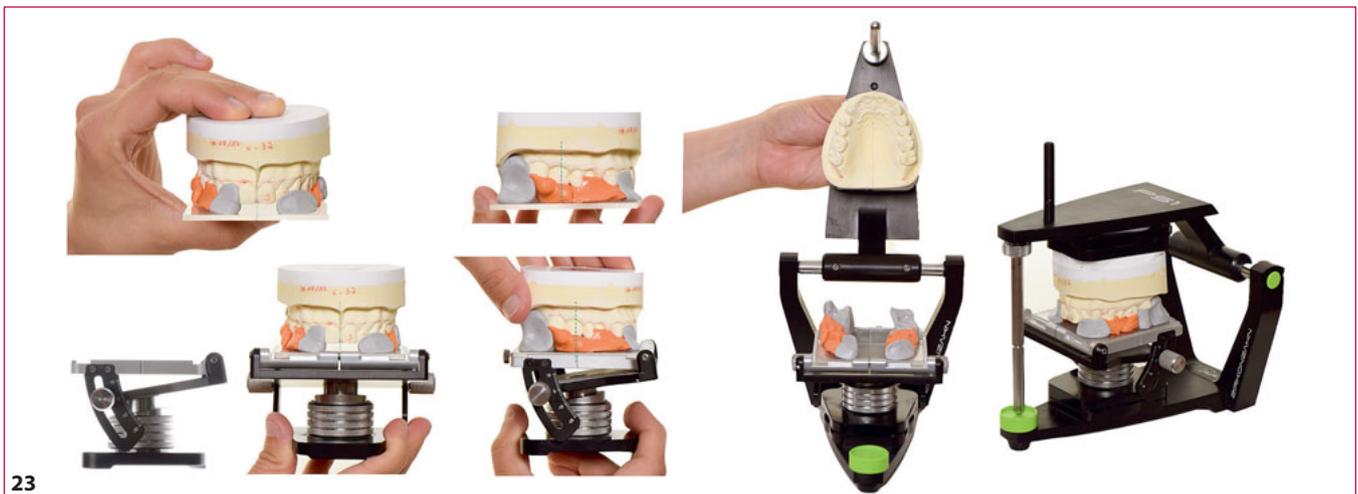
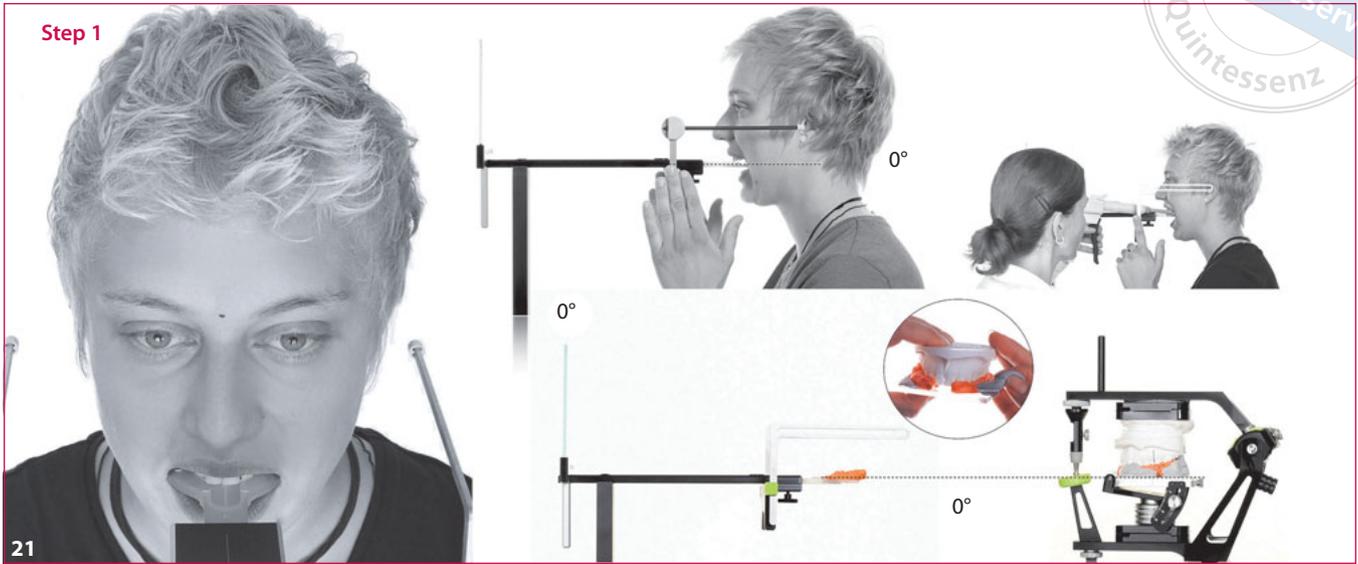


Abb. 21 Die analoge Übertragung der Geometrie auf den PlanePositioner. **Abb. 22** Die analoge Vermessung der Geometrien. **Abb. 23** Das Montieren des Oberkiefermodells in den Artikulator.

wird als ein Bereich im Oberkiefer definiert, der bei natürlicher Bezahnung in Regio des Sechsters zu finden ist. Für die Positionierung des Modells im PS1-Artikulator skizziert man die tiefste Stelle der Hauptfissur des Sechsters. Zu beachten ist, dass sich die Position des oberen Sechsters durch exogene (z. B. kieferorthopädische Maßnahmen, Zahnverlust, chirurgische Eingriffe) und nichtexogene Faktoren (z. B. Nichtanlage, Amelogenesis imperfecta) verändern kann (Abb. 24). Daher ist die dentale Historie wichtiger Bestandteil der zahntechnischen Analyse. Fehlt der Sechser, dient das Os zygomaticum als Landmarke.

PlanePositioner

Der PlanePositioner ist ein wichtiges Kommunikationselement:

- zum Zusammenführen der Daten in der analogen Welt
- zum Datenexport für die digitale Welt
- zum Referenzieren

Um das Kauzentrum zu ermitteln, wird die transparente Platte des PlanePositioners zum wichtigen Instrument. Sie wird auf das Oberkiefermodell gelegt und an der skelettalen Mitte sowie am oberen ersten Molar ausgerichtet. Mit einer Schieblehre kann der Abstand zwischen dem Referenzpunkt am Sechser sowie dem Os palatinum geprüft werden. Hinweis: Die Verlängerungslinie vom Kauzentrum auf den Modellsockel liegt senkrecht zur skelettalen Mitte.

Das Registriermaterial wird vom Bite Tray entfernt, zurechtgeschnitten und auf das Modell aufgesetzt. Nun kann das Oberkiefermodell zusammen mit dem Registriermaterial auf die transparente Platte gelegt und eine Linie des Achsenkreuzes nach der skelettalen Mitte ausgerichtet werden.

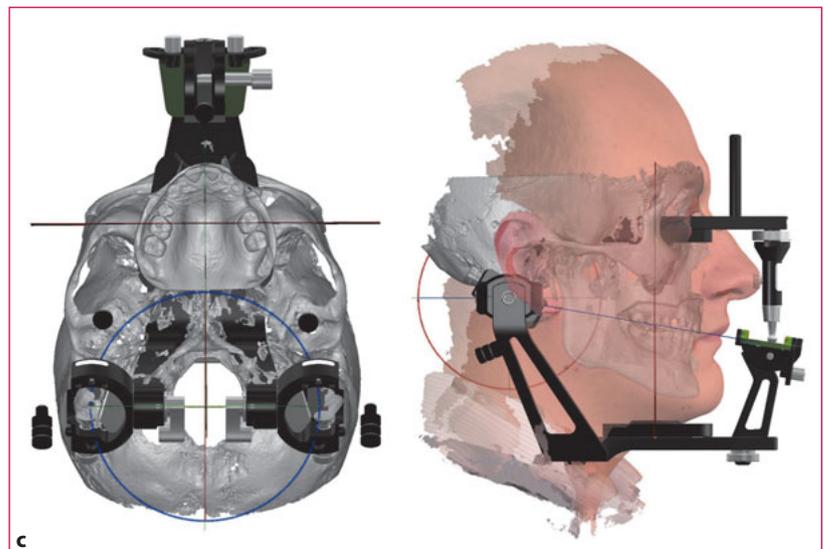
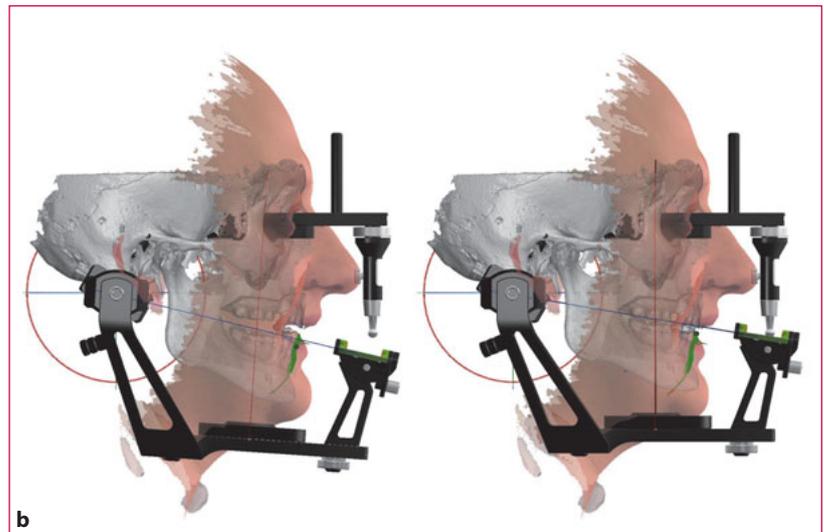
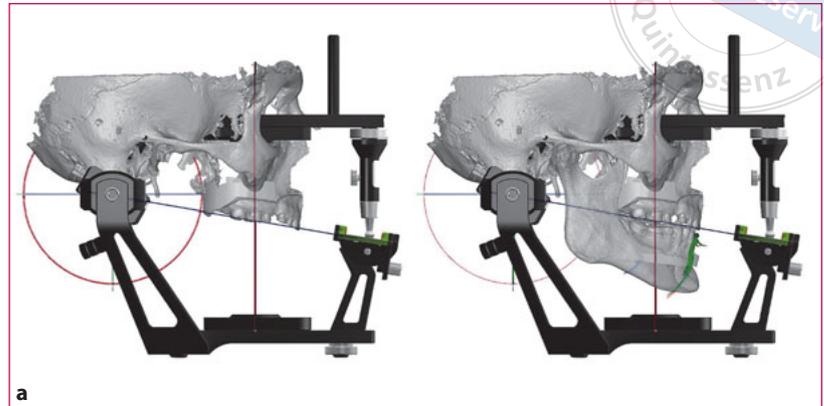


Abb. 24 a Patientenfall Nicht-Anlage. Dargestellt sind der Drehpunkt und die Schließbewegung (Unterkiefer). b Öffnungs- und Schließbewegung am Patienten. c Ansicht von okklusal. Die dentale Mitte ist leicht nach rechts gedreht, die Sechser stehen nicht auf gleicher Höhe und Jochbogen sowie Kiefergelenk sind nicht auf gleicher Position.



Die zweite Linie richtet sich nach dem Kauzentrum (Verlängerungslinie am Modellsockel). In dieser Position wird das Modell mit Knetsilikon fixiert und in die entsprechende Vorrichtung des PlanePositioners gesetzt (s. Abb. 23). Die Position des Modells im PS1-Artikulator stellt die Null-Grad-Ebene dar, die am Patienten ermittelt worden ist. Mit dem PlanePositioner hat der Zahntechniker die Möglichkeit, die Neigung der Ala-Tragus-Ebene einzustellen und zudem die Daten in die digitale Welt zu übertragen.

Bei Nichtveränderung der Führungsflächen (z. B. Einzelkronen, kleinere Restaurationen) kann analog eine mittelwertige Einstellung der Gelenkbahnneigung, der Immediate Sideshift und des Bennett-Winkels gewählt werden. Da direkt mit der Okklusionsebene gearbeitet wird, erscheint es so, als würde, wie bei der sogenannten Handokklusion, das

Modellpaar ohne Artikulator zueinander geführt werden.

Zuordnung des Unterkiefermodells zum Oberkiefermodell

Mit dem Übertragen des Oberkiefermodells in den Artikulator auf Basis des PlaneSystems stehen dem prothetischen Team nun sehr viel mehr Informationen für die Gestaltung einer regelrechten Okklusionsebene zur Verfügung, z. B. Zahnlänge, -neigung oder Inklination der Zahnhöcker.

Was nach wie vor ein Problem darstellte, war die korrekte Zuordnung des Unterkiefermodells sowie das Ermitteln der Vertikaldimension der Okklusionsebene (VDO). In der Regel ist der Zahntechniker nur selten darüber informiert, mit welcher Technik das „Bissregistrat“ am Patienten erstellt worden ist

(Abb. 26). Zudem ist – bzw. war – bei vielen Arbeitsgruppen der Denkansatz etabliert, dass ein zu hohes Registrat eine Veränderung des Stützstiftes im Artikulator bedingt. Dieses Vorgehen musste infrage gestellt werden. Bei einer dreidimensionalen Analyse fällt auf, dass sich Übertragungsfehler um die Modellquerachse auf den Schließwinkel auswirken. Gleichzeitig stimmt die Ausrichtung der Kauebene und der einzelnen Zahnachsen nicht, was zu Artefakten bei der Simulation der Horizontalbewegungen im Artikulator führt.

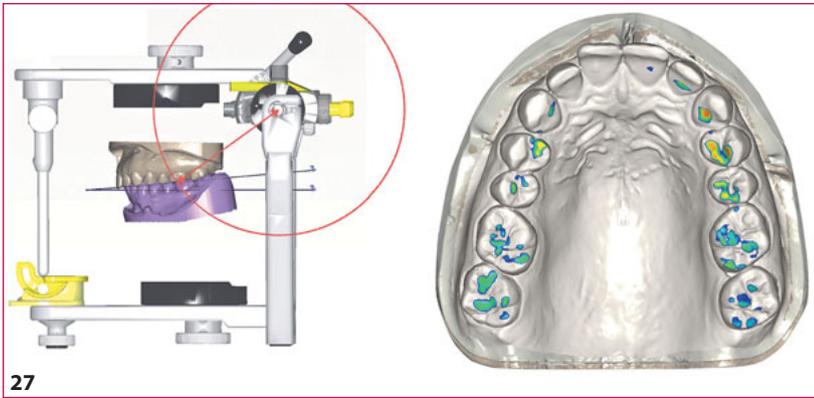
Zusätzlich zum Registrat ist die Präzision der Modelle ein wesentlicher Faktor für ein erfolgreiches Ergebnis. Insgesamt bedarf es immer zweier korrekter Modelle, die alle notwendigen Informationen abbilden. Nötig ist auch ein unmanipuliertes sowie ungesperrtes „Bissregistrat“. Der Stützstift sollte unangetastet bleiben, denn ein Absenken oder Erhöhen führt zu Artefakten bei der Simulation sowie der Position des Unterkiefers zum Schädel.

Die „Scharnierachse“ als Limitation in der analogen Welt

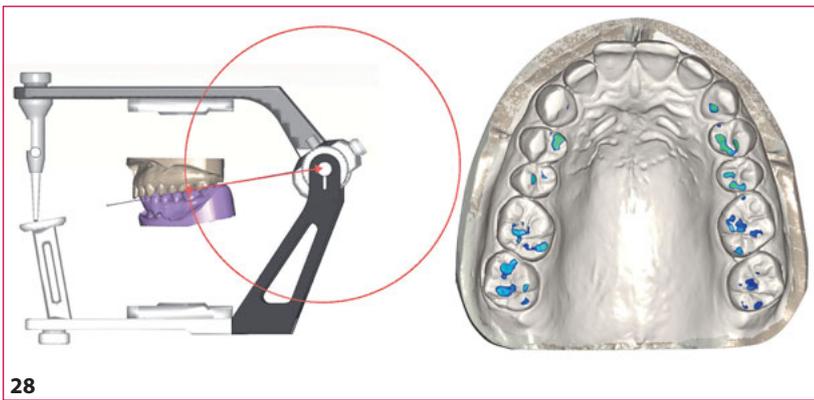
Die Registriertechnik (manipuliert, wenig manipuliert, stark manipuliert, ohne Manipulation) bei der Erfassung der Kieferrelation ist ein wesentlicher Aspekt bei der Übertragung der Modelle in den Artikulator. Ziel ist, die Vektoren bei der Bewegung der Modelle im Artikulator den In-vivo-Bewegungen anzugleichen. Dies geschieht z. B. durch das Vermessen der kondylären Grenzbewegungen. In Studien wurde 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 retraler Grenzbewegung (um die terminale Scharnierachse). Ogawa et al. zeigt



Abb. 25 Darstellung von PlanePositioner und Artikulator. **Abb. 26** Darstellung der vielen verschiedenen Bissregistrate. Oft weiß der Zahntechniker nicht, nach welcher Technik im Mund registriert worden ist.



27



28

Abb. 27 und 28 2014: Die digitalen Technologien ermöglichten nun Tests, die in der analogen Welt nicht möglich sind. Die Modellpaare wurden ohne Registrat (Stützstift 0) zusammengeführt. Getestet wurde, wie sich die Durchdringungen bei einem Schimstock-Protokoll je nach Lage des Modellpaares im Artikulator verändern. Darstellung der Position, Höhe, Abstand und Neigung in Abhängigkeit vom Schließwinkel beim SAM-Artikulator (oben) und beim PS1-Artikulator (unten).

ten in mehreren Studien, dass die nicht manipulierte Schließbewegung in der Sagittalen einen mittleren Winkel von 86,4 Grad zur Kauebene aufweist, unabhängig davon, wie diese zur Frankfurter Horizontalen bzw. zur Achsen-Orbita-Ebene liegt⁴⁻⁷. Bei 60 Probanden war die maximale Abweichung von diesem Wert geringer als sechs Grad. Somit ist der Vektor, mit dem der Kiefer geschlossen wird, relativ konstant – jedoch nur im Hinblick zur Okklusalebene und nicht im Verhältnis zur Frankfurter Horizontalen. Daraus lässt sich schließen, dass es die eine unveränderliche Scharnierachse beim Menschen nicht gibt. Demnach

können in einem Artikulator, der sich nur um die eine Scharnierachse bewegt, viele Aspekte funktionell nicht korrekt umgesetzt werden. Im Ergebnis müssen häufig okklusale Fehlkontakte der Restaurationen im Mund angepasst werden. Dies war unbefriedigend für den Autor und führte zu weiteren Überlegungen.

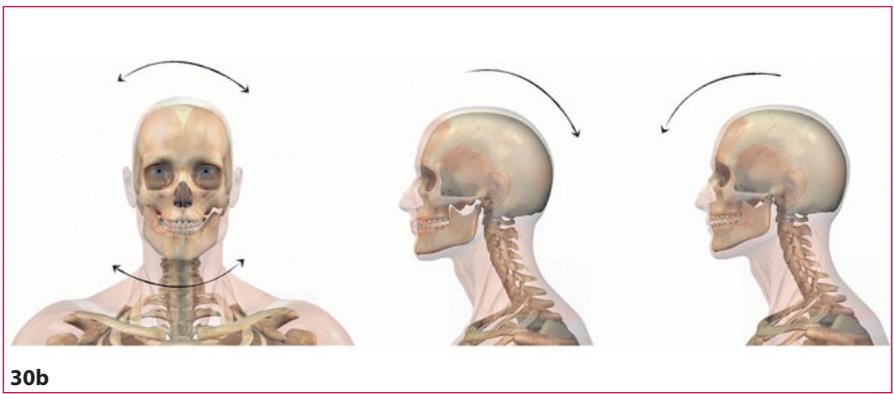
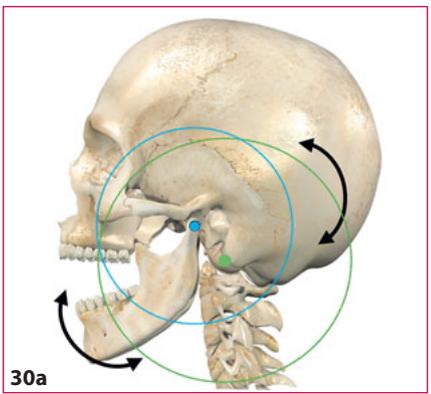
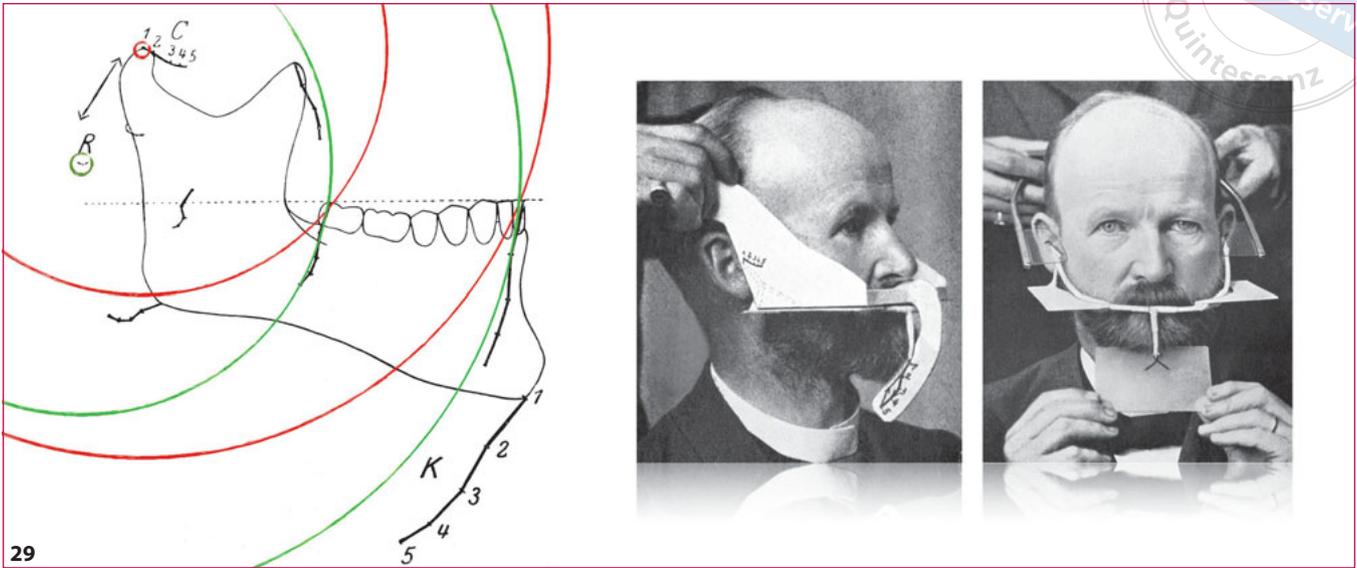
Die meisten Artikulatoren sind rein achsorientiert. Sollte die Situation im Artikulator gehoben oder abgesenkt werden, ohne das habituelle Bewegungsmuster nach retral oder anterior zu verlassen, mussten die Modelle der Drehachse des Artikulators so zugeordnet werden, dass der am Patienten er-

mittelte mittlere Vektor zur Kauebene in der Sagittalen erzeugt wird¹². Adäquat zur Registriertechnik des Unterkiefers wird das Modellpaar so zugeordnet, dass es in etwa dieser Geometrie entspricht (Abb. 27 und 28). Es ist also fast unverzichtbar, dass der Zahntechniker die Information zur Registriertechnik erhält. Eine Veränderung der vertikalen Dimension im Artikulator führt sonst immer zu Verfälschungen.

Übertragung in die virtuelle Welt

Bisher standen die analogen Schritte im Fokus. Mit der Digitalisierung können nun Grenzen in der Darstellung bzw. Übertragung der analogen Position überschritten werden. Im Zuge der Entwicklung des analogen und digitalen Vorgehens mit dem PlaneSystem wurde klar, dass es im virtuellen Raum keine Limitationen der Achsen gibt. Diese Tatsache sollte zielführend genutzt werden.

Der von Ogawa gefundene Auftreffwinkel der Schließbewegung zur Okklusalebene zeigt, dass der Mensch bei aufrechter Körperhaltung (ungeführt) den Unterkiefer in der Vertikalen nicht in einer isolierten Rotation um die terminale Scharnierachse bewegt. Selbst Lauritzen war sich dessen bewusst, als er darauf hinwies, dass eine solche isolierte Rotation vom Patienten entweder eingeübt oder vom Zahnarzt manipuliert werden müsse². Gysi hat schon vor mehr als 100 Jahren dargelegt, dass der Mensch seinen Unterkiefer zwischen der interkuspidalen Position und der Ruheschweben nicht um eine kondyläre Achse bewegt. Vielmehr sei das Bewegungszentrum in der Region des Mastoids zu suchen (Abb. 29). Diese und weitere Ausführungen lassen darauf schließen, dass bei der ungeführten Unterkieferbewegung mit aufrechter Körperhaltung von einer Kombination aus Rotation und Translation



auszugehen ist (Abb. 30a und b). Eine isolierte Bewegung im unteren Gelenkspalt ist nicht zu erwarten. Eine Übung, die dies verdeutlicht, ist das Essen eines Apfels, während man bei aufrechter Körperhaltung mit dem Kopf an eine Wand gelehnt steht. Beim Kauen stößt der gesamte Kopf an die Wand. Der Unterkiefer bewegt sich demnach nicht isoliert. Der translatorische Bereich befindet sich in der Region vom Mastoid. Dies deckt sich mit den Aussagen von Ogawa et al.^{6,7} (Abb. 31). Und während der analoge Artikulator in Form der Mechanik eine große Limitation aufweist, ergibt sich in der virtuellen Welt ein nahezu „grenzfreier“ Raum in allen drei Dimensionen.

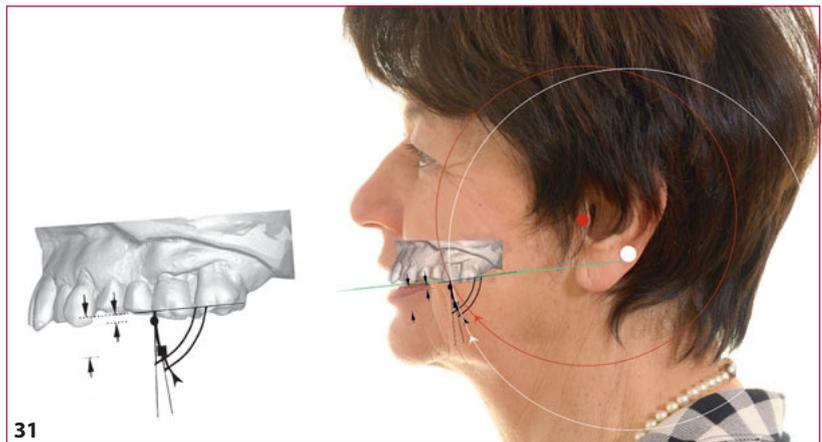


Abb. 29 Historische Betrachtung von A. Gysi. Der Dreh-Translatorische Bereich befindet sich in der Region „R“. Je nach geometrischem Modell entstehen unterschiedlichen Bewegungsradien (aus Gysi: Zahnärztliche Prothetik, 3. Aufl. 1929).

Abb. 30 a Der Ausgleich der Vertikaldimension bedingt das Wissen um Körperstatik bzw. Kopfhaltung. **b** Links: Rotation und Translation bei Öffnungs- und Schließbewegung. Mitte: Im Seitenzahnbereich fehlt vertikale Höhe. Rechts: wenig Platz im Seitenzahngebiet. **Abb. 31** Drehachse: manipulierte Variante (roter Kreis) und nicht manipulierte Variante (weißer Kreis). Laut Ogawa et al.⁵ zeigt die Neigung der Okklusions-ebene Variationen, die von -10,2 bis +14,5 Grad reichen.



Der Artikulator PS 1 ermöglicht eine Registriertechnik, bei der keinerlei Manipulation stattfindet. Eine Spezifikation ist, dass Asymmetrien der Gesichtshälften festgehalten werden. Um die unterschiedlichen Winkel der Okklusionsebenen darstellen zu können, hat der zugehörige PlanePositioner eine längs geteilte Auflagefläche⁹. Die Situation aus dem analogen Artikulator kann exakt in die virtuelle Welt überführt werden. Über die Software lassen sich die verschiedenen Scans, Ebenen und sämtliche Komponenten einblenden, miteinander kombinieren und aus verschiedenen Blickwinkeln anzeigen.

Therapeutische Übergangsphase

Sind alle Parameter ermittelt, wird die Situation im Mund des Patienten getestet. Hierbei sind nicht nur die VDO relevant, sondern auch die Taktilität der Zunge und insbesondere das taktile Vermögen der Zungenspitze zu den oberen mittleren Schneidezähnen. Diese Region nimmt einen Unterschied von nur 3 µm wahr. Daher sollte diesem Raum in der therapeutischen Übergangsphase viel Beachtung geschenkt werden.

Das taktile Fühlen des Patienten hat einen hohen Einfluss. Im Arbeitsteam des Autors wird vor dem Registrieren des Unterkiefers zum Oberkiefer überprüft, ob bzw. in welchem Maße der Patient eine Anhebung oder ein Absenken der Vertikaldimension akzeptiert, sodass im Artikulator der Stützstift unangetastet bleibt. Hierfür wird am Patienten die

Höhe hinsichtlich Funktion und Ästhetik erarbeitet und beispielsweise über eine therapeutische Restauration in den Mund überführt. Der Patient fühlt und beurteilt die Situation selbst (Patient als Konzept). Zahnarzt und Zahntechniker erhalten eine konkrete Referenz für etwaige Anpassungen.

Hinweis

Der Autor ist bei der Entwicklung des PlaneSystems beteiligt gewesen. Zudem erklärt der Autor, dass abgebildete Patienten ihr Einverständnis zur Nutzung des Bild- bzw. Videomaterials im Rahmen von Fachpublikationen abgegeben haben.

Literatur

1. Cooke MS. Five-year reproducibility of natural head posture: a longitudinal study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990;97:487–494.
2. Lauritzen A. Atlas of occlusal analysis. Colorado Springs: HAH Publications, 1974.
3. Medizinische Kinesiologie, Physio-Energetik und Ganzheitliche (Zahn-)Heilkunde. VAK Verlag: Kirchzarten, 2005.
4. Ogawa T, Koyano K, Suetsugu T. Characteristics of masticatory movement in relation to inclination of occlusal plane. *J Oral Rehabil* 1997; 24:652–657.
5. Ogawa T, Koyano K, Suetsugu T. Correlation between inclination of occlusal plane and masticatory movement. *J Dent* 1998;26:105–112.
6. Ogawa T, Koyano K, Suetsugu T. The relationship between inclination of the occlusal plane and jaw closing path. *J Prosthet Dent* 1996;76: 576–580.
7. 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.

8. Peng L, Cooke MS. Fifteen-year reproducibility of natural head posture: a longitudinal study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116: 82–85.
9. Plaster, U. Analog und digital: Okklusionsebene und Kieferrelation im Artikulator reproduzierbar. *Quintessenz Zahntech* 2015;41:1446–1460.
10. Plaster U. Fotografische Übersicht der ästhetischen Analyse. Funktioneller Befundbogen nach Plaster. *Quintessenz Zahntech* 2012;38: 140–160.
11. Schöttl R. Die Kauebene von Camper bis zur Gegenwart. *MYOBYTE* 5/2013:5–11.
12. Schöttl R, Plaster U. Modellübertragung und Kommunikation zwischen Zahnarzt und Zahntechniker. *Quintessenz Zahntech* 2010;36: 528–543.
13. van der Linden FPGM. Development of the Human Dentition, ed 1. Berlin: Quintessence Publishing, 2016.
14. van der Linden FPGM. Facial Growth and Facial Orthopedics. Berlin: Quintessence Publishing, 1986.
15. van der Linden FPGM. Orthodontics With Fixed Appliances, ed 6. Berlin: Quintessence Publishing, 1997.
16. Wühr E. Form und Funktion des kranio-mandibulären Systems, 2004:4–15.

Originalbeitrag erschienen in Zeitschrift für Kranio-mandibuläre Funktion 2019;11:163–184.



Udo Plaster
Plaster Dental-Technik
Emilienstraße 1
90489 Nürnberg
E-mail: info@plasterdental.de