

Neuausrichtung des Kausystems – Analyse historischer Fehlentwicklungen

# Funktionslehre auf dem Prüfstand, Teil 8b

Die zentrale Aufgabe unseres Kiefergelenks beschrieb Ztm. Achilles Iatropoulos in Teil 8a der Artikelserie. Im folgenden Teil dokumentiert der Autor die Tücken bildgebender Verfahren im Hinblick auf die Vermessung des Kiefergelenkes. Hierbei beleuchtet er auch die Strecken, die ein Kondylus unter Zahnkontakt tatsächlich zurücklegt.

#### Autor:

Ztm. Achilles Iatropoulos, Leverkusen

#### Indizes:

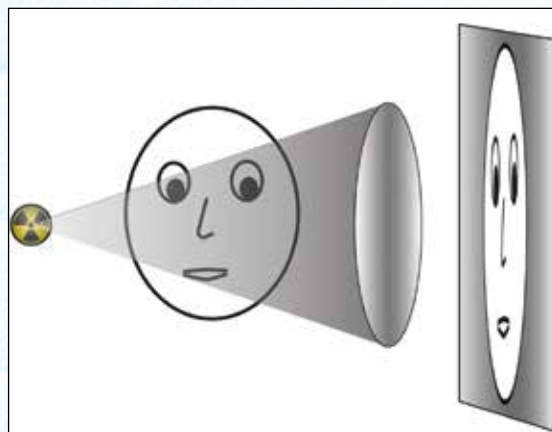
Anatomie des Kiefergelenks  
Bildgebende Verfahren  
Größen- und Streckenverhältnisse

Kaum eine andere Region im stomatognathen System steht so im Fokus wie das Kiefergelenk. Bis heute ist das einzigartige Bewegungsmuster des Kondylarsystems nicht endgültig entschlüsselt. Dieser Bewegungsablauf ist so kompliziert, dass er bisher weder mit den besten mechanischen Arbeitsgeräten noch mit computergestützten „virtuellen Artikulatoren“ patientenkonform nachzuempfinden ist. Um den Zustand eines Kiefergelenks im individuellen Patientenfall bestimmen zu können, werden neben den bekannten elektronischen Kiefergelenk-Registrierungsverfahren zur Diagnose auch verschiedenartige bildgebende Verfahren hinzugezogen. Meist sind das Röntgentechnologien, mit deren Hilfe ein Kiefergelenk durchleuchtet, aber auch die anatomischen Gegebenheiten vermessen werden können. Um eine aussagekräftige und umfassende Diagnose am Kiefergelenk

erstellen zu können, führt heutzutage kein Weg an den bildgebenden Verfahren vorbei.

#### Bildgebende Verfahren

Zu diesen Verfahren gehören neben dem herkömmlichen kleinen Röntgenbild auch das Fernröntgen, das Panoramaröntgen (OPG-Orthopantomographie), die Computertomographie (CT), die digitale Volumentomographie (DVT) und – ohne Röntgenstrahlen – die Magnetresonanztomographie (MRT, Kernspin). Jede dieser bildgebenden Technologien hat Vorteile, aber auch Nachteile. Insbesondere die Vermessung der Aufnahmen offenbart die Tücken der optischen Wiedergabe. Messfehler entstehen im kleinen, sehr wichtigen Bereich unter einem Millimeter (zum Beispiel: Ausmessen des Gelenkspaltes) ebenso wie bei der Vermessung großvolumiger Aufnahmen (DVT) mit 3D-Sichtfeldern von bis zu 240x190mm. Bei einer manuellen Einstellung und Ausrichtung der Röntgenquelle ist zu berücksichtigen, in welchem Winkel der Röntgenstrahl auf das Objekt trifft, welche Entfernung die Röntgenquelle zum Aufnahmebereich hat und wie weit entfernt der Röntgenfilm bzw. Detektor vom Aufnahmeziel ist. Umgekehrt ist die exakte manuelle Platzierung des

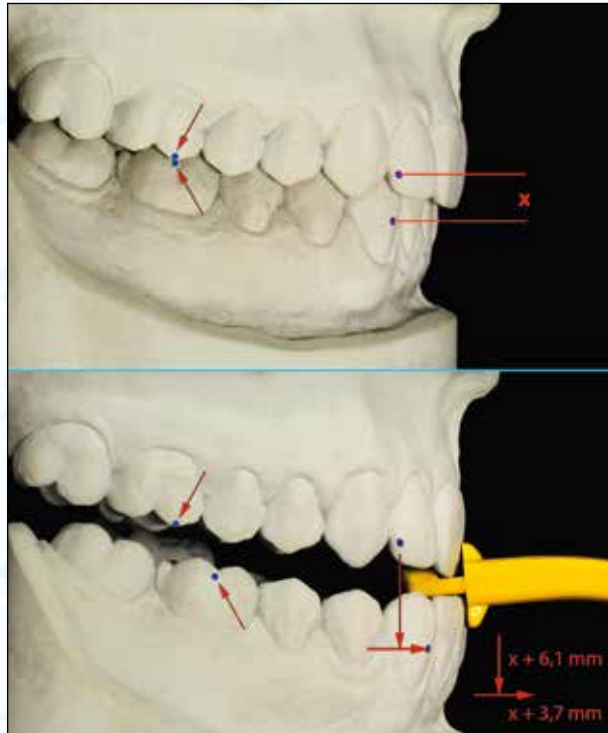


► Abb. 107  
Kegelstrahlprojektion mit verzerrter Abbildung am Detektor/Röntgenfilm



Kopfes zum Aufnahmebereich in allen Systemen das entscheidende Kriterium. Systembedingt ist bei Röntengeräten mit Kegelstrahlprojektion (Zentralprojektion) mit größeren Messfehlern zu rechnen (Abb. 107).

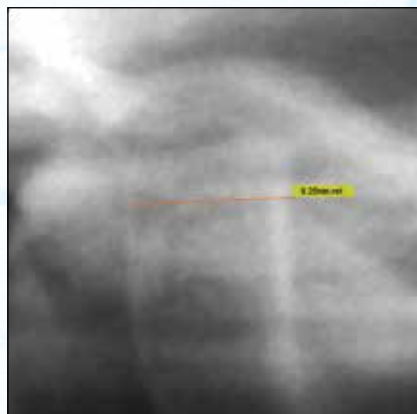
Hierbei entstehen je nach Einstellung und Platzierung von Röntgenquelle, Objekt und Detektor signifikante Projektionsfehler, beispielsweise durch Verzerrungen und Parallaxefehler. Das Ausmessen solcher Aufnahmen bedarf immer einer manuellen oder rechnergestützten Messwertkorrektur. Bei Panorama-Röntgenaufnahmen (zum Beispiel OPG-2D, DVT-3D) bewegen sich Röntgenquelle und Detektor in ausgeklügelten Bahnen um den Kopf des Patienten herum. Jeder Hersteller verwendet dabei seine individuelle Bewegungsgeometrie, sei es rund, elliptisch oder nach Reuleaux – bei allen Systemen müssen jedoch physikalische und optische Fehler der Verfahren von der Software über komplizierte mathematische Gleichungen und Algorithmen beseitigt werden. Diese Korrekturen bewegen sich – je nach Konfiguration eines Gerätesystems – immerhin in Größenordnungen von zirka 15 bis 25 Prozent in Bezug auf die tatsächliche Proportion des Kieferbereichs beim Patienten. Die auf dem Bildschirm oder im Ausdruck gezeigte Aufnahme wird in der Projektion nicht identisch bzw. maßstabsgetreu zum Original wiedergegeben. Wenn es darauf ankommt, sollte die Exaktheit der Messergebnisse zur Sicherheit mit individuellen, präzisen Messkörpern an exzentrischen Positionen (beispielswei-



se Kondylarbereich) im Aufnahmefeld der Geräte kontrolliert werden.

### Röntgen am Patienten

Starken Einfluss auf die Qualität der Aufnahmen haben die Bewegungen des Patienten während der Aufnahme. Je nach Panoramaröntgensystem und internem Programm beträgt die Aufnahmezeit zwischen 7 und 75 Sekunden. Dabei muss die exakt mittige und ruhiggestellte Positionierung des Kopfes während der gesamten Aufnahmezeit gewährleistet sein. Bewegungsartefakte und Doppelkonturen entstehen dann,

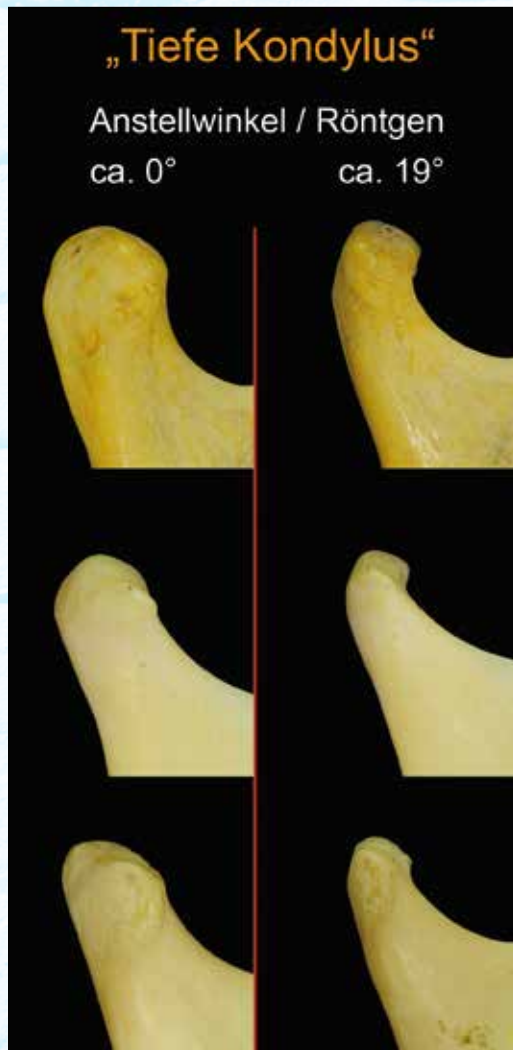


◀ **Abb. 108** Aufbissstütze und Einbissfixierung bei DVT und Panorama-Röntengeräten

▲ **Abb. 109** Oben: Messeinheit bei geschlossenen Zahnreihen. Overbite 4mm, Overjet 2mm. Unten: erheblicher Vorschub und Bissperre durch Fixierung mittels Einbissstütze.

◀ **Abb. 110** Problematisch: Am Röntgenbild gemessene Kondylus-Tiefe mit Messwert von 9,25mm – ohne Kenntnis des Interkondylarwinkels (Durchschnittswert aus dieser Dissertation: 10,62mm).

Quelle:  
J. Wiebe, Inaugural-Diss. 2009, RFWU Bonn, S. 28, Abb. 14



▲ **Abb. 111** Kondylustiefe in Abhängigkeit vom Anstellwinkel beim Röntgen

wenn Patienten aufgrund ihres Alters und Gesundheitszustandes im Gerät nicht völlig ruhig bleiben können, sondern sich während der Aufnahme bewegen. Bereits die Atemtätigkeit des Patienten kann dabei schon zu Bildfehlern führen. Zusätzlich können Unschärfen und Artefakte durch Metalle im Mund, wie beispielsweise Amalgamfüllungen, Wurzelstifte, Metalllegierungen des Zahnersatzes, aber auch durch Zirkonoxidversorgungen entstehen (Zöller/Neugebauer, Digitale Volumentomographie, Quintessenz-Verlag 2013). Besonders tückisch sind Fehler, die nicht sofort auffallen: Aus praktischen Gründen wird dem Patienten routinemäßig – stehend oder sitzend im Panorama-Röntgengerät – eine ganz bestimmte Kopfhaltung mittels einer inzisalen Aufbisshalterung zugewiesen (Abb. 108).

Die Aufbisshalterung ist hier von zentraler Bedeutung. Sie hat die Aufgabe, den

Kopf ruhig zu halten, die exakte Position im Gerät zu sichern und die Zahnreihen so weit auseinander zu halten, dass bei der späteren Aufnahmeanalyse die freie Sicht zwischen den Zahnreihen nicht durch die Okklusion verdeckt wird.

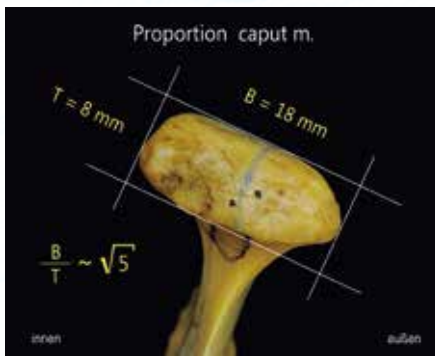
Schwierigkeiten bei der Fixierung entstehen bei Patienten mit frontal offenem Biss, tiefem Deckbiss sowie bei stark reduziertem Zahnbestand. Insbesondere bei totalem Zahnverlust ist die Fixierung des Kopfes eine große Herausforderung. Hierbei fern jeder Relation interokklusal oder kondylar aussagekräftiges Bildmaterial zu erhalten, ist schwierig. Je nach Art des Problems werden spezielle Kopffixaturen am Gerät (Kinnaufklammer, Stirnstütze, Ohrkanalhalterung usw.) angebracht, um eine ruhiggestellte Positionierung des Kopfes exakt im Mittelpunkt des Gerätes zu gewährleisten.

Das eigentliche Problem der Aufbisshalterungen für bezahnte Patienten ist die inzisale Einbissstelle selbst. Sie ist dort zirka zwei Millimeter dick und sperrt die Bisslage über die Inzisalkanten der Frontzähne um diesen Betrag!

Eine Sperrung von zwei Millimetern inzisal scheint nicht viel zu sein, aber im Gesamtbild gesehen, sind die Auswirkungen enorm. Bereits bei normal verzahnten Patienten mit typischem Verhältnis von Overbite zu Overjet (OK-Frontzähne: Verhältnis Überbiss zu Vorbiss zirka 2:1) ist die tatsächliche Sperrung der Seitenzahnreihen erheblich (Abb. 109). Insbesondere bei Deck- und Tiefbissituationen wird dadurch unbemerkt ein überraschend großer Interokklusalabstand erzeugt. Gravierend ist das für die prächirurgische Planung in der Implantologie. Gerade zur Beurteilung der Platzverhältnisse im Molarenbereich können Aufnahmen mit Einbissstütze zur Fehlinterpretation des zur Verfügung stehenden interokklusalen Platzangebotes führen. In natura ist dann häufig nicht der Platz zum Antagonisten gegeben, der laut Röntgenaufnahme vorhanden sein sollte.

### Aufnahmen des Kondylarbereichs

Das Vermessen eines Kiefergelenkes anhand von Röntgenaufnahmen ist eine



◀ Abb. 112 Formel und Proportionen am natürlichen Kondylus

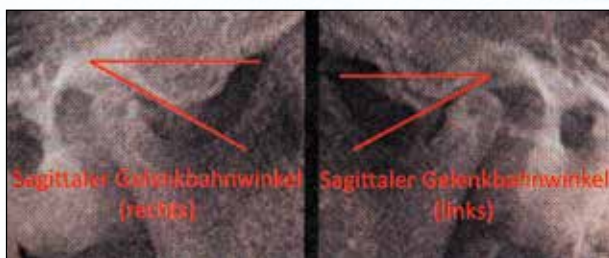
◀ Abb. 113 Die Interpretation der Tiefe eines Kondylus ist abhängig vom (unbekannten) Interkondylarwinkel und vom Strahlengang der Röntgenquelle

sehr schwierige und problembehaftete Angelegenheit. Eine anvisierte Kondyle beispielsweise steht immer sehr exzentrisch im Aufnahme­feld des Panoramaröntgengerätes und damit auch ver­hältnismäßig weit entfernt vom Detektor. Zudem sind die Fixierung des Kopfes und die Ausrichtung des Unterkiefers mittig im Gerät und zum Oberkiefer entscheidend, wenn eine Aussage über die Kondylenzentrik, den Gelenkspalt oder den Allgemeinzustand eines Kiefergelenkes getroffen werden soll. Denn es gilt zu berücksichtigen, dass man zwar zwei miteinander verbundene Kiefergelenke hat, diese aber durchaus unterschiedliche Befunde (zum Beispiel differente Zentrik) aufweisen können. Hier ist eine exzellente Vorplanung nötig. Ist man sich dessen nicht bewusst und verwendet beispiels-

weise die inzisale Aufbisshalterung, kann das zu falschen Rückschlüssen bei der Diagnose führen. Denn durch eine inzisale Biss­sperr­e im Millimeterbereich kommt es hier in Addition mit dem Christensenschen Phänomen zu einer deutlich protrusiv-ventralen Verlagerung der Kondylen!

Ein weiteres Kriterium ist die natürliche Schrägstellung der Kondylen (Abb. 110 bis 113). Denn die Kondylen stehen in einem zunächst nicht bekannten Winkel zur Transversalen des Schädels – selbst bei demselben Patienten variiert dieser Winkel von Seite zu Seite. Das hat zur Folge, dass man bei der Vermessung eines Kondylus mittels Röntgen zu falschen Rückschlüssen über seine allgemeine Größe und speziell seiner sagittalen Tiefe kommen kann. Entscheidend ist – dreidimensional gesehen – wie der

Anstellwinkel des Röntgenkopfes zur Region des Kiefergelenkes ausgerichtet ist. Da man den individuellen Interkondylarwinkel vorab nicht kennt, ist eine

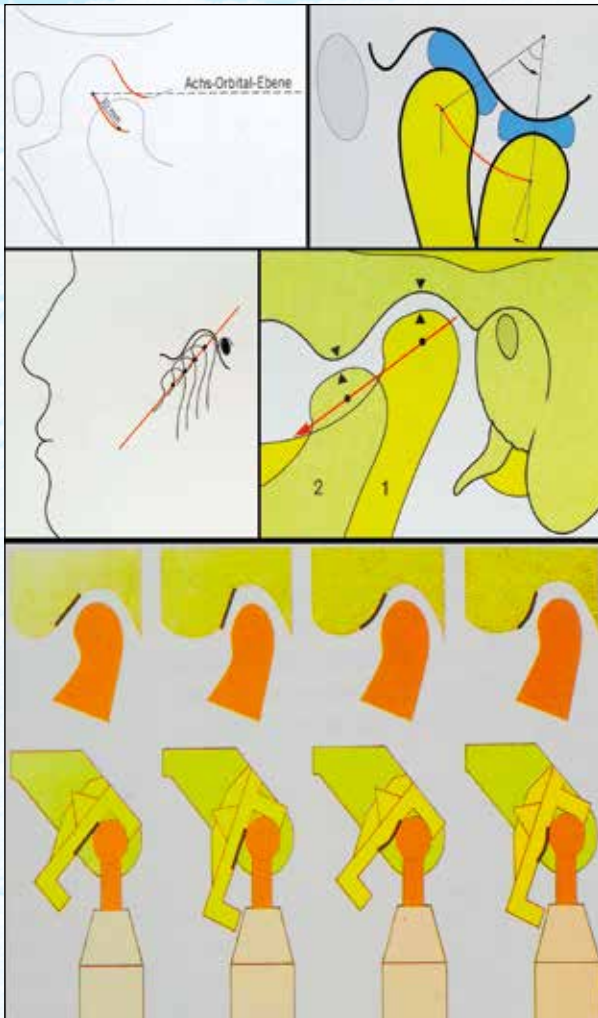


▲ Abb. 114 Röntgenaufnahme: Zur Bestimmung einer Gelenkbahn­neigung nicht geeignet, denn die Gelenkbahn­rinne ist verdeckt und Bezugsebene, Schädel­neigung und Projektionswinkel sind nicht definiert

Quelle:  
A. Baltzer, Die Zahnarzt-Woche, DZW 46/2013, Abb.5

► Abb. 115 Im Vordergrund befindet sich das Gelenkhöckerchen und dahinter die flacher verlaufende Gelenkbahn­rinne





◀ **Abb. 116 Gelenkbahnneigung:** Der Verlauf darf nicht über die Außenkontur des Gelenkhöckers ermittelt werden. Nur das erste Drittel des Weges (zirka 4 bis 5mm in der Mediotrusion) der Gleitbewegung aus der Fossa ist für okklusale Rekonstruktionen maßgeblich.

Quelle:

1. W. Boisserée, W. Schupp, Krianiomandibuläres und Muskuloskelettales System, Quintessenz-Verlag 2012, S. 211, Abb. 15 bis 135
2. A. Bumann/ U. Lotzmann, Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien, Thieme 2000, S. 249, Abb. 692
3. G. Hanel, Funktionsphysiologisch orientierte Praxis, Quintessenz-Bibliothek 1984, S. 28, Abb. 25
4. G. Hanel, Funktionsphysiologisch orientierte Praxis, Quintessenz-Bibliothek 1984, S. 256, Abb. 379
5. R. Suckert, Okklusionskonzepte, Verlag Neuer Merkur 1992, S. 131, Abb. 33

▲ **Abb. 117** Der Pfeil markiert die tiefste Stelle des Gelenkhöckerchens außen am Knochen. Maßgeblich ist aber der Mittelbereich der Gelenkbahnrinne (rot = Masseter-Ursprung).

ausagekräftige Beurteilung und Vermessung des Kondylus anhand eines einzigen Röntgenbildes nicht möglich (Abb. 110 und 114). Am skelettalen Kiefer gemessen beträgt der durchschnittliche Interkondylarwinkel zur Medianebene zirka 19 Grad je Kondylus (Abb. 112 und 113). Ein Kondylus hat eine durchschnittliche Breite von zirka 1,8 Zentimetern und eine Tiefe von zirka 0,8 Zentimetern. Die Formel, die das Verhältnis zwischen realer Kondylusbreite zu realer sagittaler Tiefe beschreibt, lautet: Kondylus-Breite geteilt durch Wurzel 5 (1,8 Zentimeter geteilt durch 2,2361 ist 0,8 Zentimeter). Die tatsächliche Tiefe eines Kondylus von zirka 8 Millimetern kann sich durch eine 90°-Winkelstellung des Röntgenkopfes zur Medianebene auf Werte deutlich über 10 Millimeter aufweiten. Der Messfehler liegt bei 25 bis 30 Prozent im Vergleich zur Originalgröße (Abb. 113).

Fraglich ist daher, ob das Vermessen des Kondylarbereiches mit Hilfe mancher Röntgenverfahren überhaupt sinnvoll ist.

Hinzu kommt, dass vorgelagerte Strukturen den Innenbereich des Kiefergelenkes verdecken. Ausgerechnet bei der Vermessung der Gelenkbahnneigung trägt das Röntgenbild (Abb. 114 bis 118). Es stellt ausschließlich den äußeren Bereich des knöchernen Fortsatzes am tuberculum articulare und der Fossa dar. Die eigentliche Gelenkbahnrinne liegt jedoch dahinter (Abb. 115, 117 und 118)! Zur Bestimmung des Gelenkbahnneigungswinkels kann meiner Meinung nach ein Röntgenbild nicht herangezogen werden. Der sichtbare knöcherne Bereich ist Teil des Außenrandes der Gelenkpfanne und dieser zeigt immer einen steileren Winkel an als die maßgebliche Konfiguration der Gelenkbahnrinne selbst (Abb. 118).

**Das korrekte Erfassen, die Darstellung und das kephalometrische Vermessen des Kondylarbereiches am Patienten stellt die größte Herausforderung bildgebender Verfahren dar.**

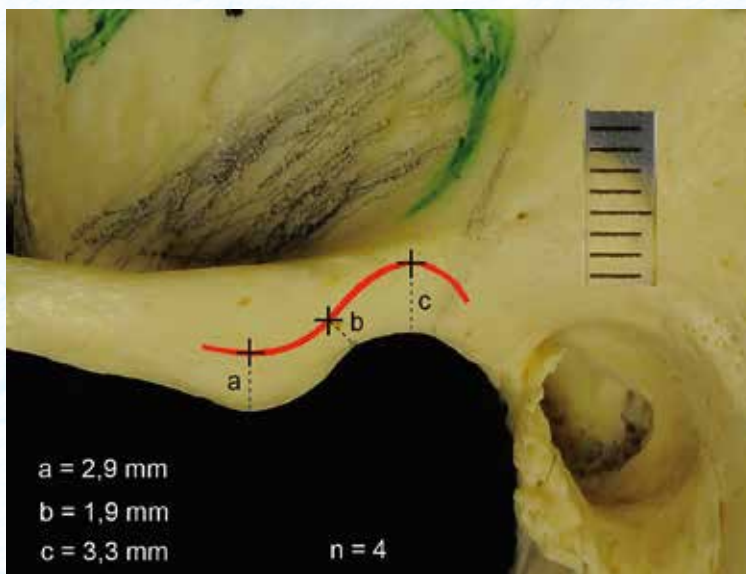
### Kondylus, Kaufläche und Funktion

Diese Vorbetrachtungen skizzieren bereits die Schwierigkeiten bei der Auswertung bildgebender Verfahren und die Schwächen in der Aussagekraft. In einem weiteren Schritt stellt sich nun die Frage, ob die Bewegung des Kondylus gleichzusetzen ist mit dem Bewegungsablauf eines antagonistischen Höckers auf einer Kaufläche. Ein Ziel dieser Artikelserie ist, zu vermitteln, dass in weiten Teilen der Funktionslehre das korrekte Maß von zurückgelegtem Weg in Zeiteinheit – und beides im dreidimensionalen Raumgefüge – oftmals nicht berücksichtigt wird. Dies gilt insbesondere für die in Zeichnungen und Grafiken (unbeabsichtigt) fehldimensioniert dargestellten Größen- und Streckenverhältnisse anatomischer Strukturen.

Exemplarisch sind hier der okklusale Kompass und seine Projektion auf einen Kondylus zu nennen. Die Abbildungen zeigen zwar primär die Bewegungsrichtungen des Kondylus an, implizieren dem Betrachter aber durch die Größe des okklusalen Kompasses gleichzeitig auch ein Maß für die kondylare Bewegung. Doch im gezeigten Beispiel stimmt das Größenverhältnis zwischen Kondylus und eingezeichnetem okklusalem Kompass nicht (Abb. 119 und 120 A).

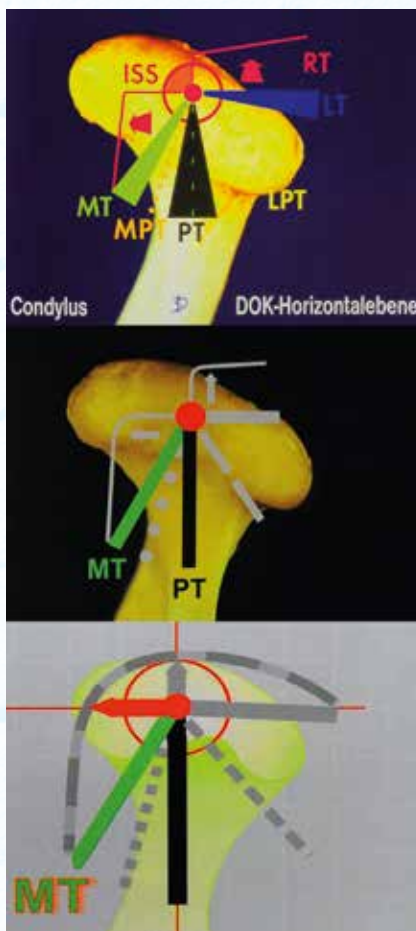
Tatsächlich sind die unter Seitenzahnkontakt ablaufenden kondylaren Bewegungen deutlich kürzer, als es die Aufnahmen zeigen (Abb. 121). Es muss gewährleistet sein, dass zurückgelegte Wege an verschiedenen Orten authentisch wiedergegeben werden. Das ist maßgeblich für die Rückschlüsse, die man aus der Abhängigkeit von Kiefergelenk zur Okklusion zieht – und umgekehrt.

Das Problem entsteht, da die zweidimensionale Beschreibung und Wiedergabe, wie bei Zeichnungen und Schab-



lonen, den gravierenden Nachteil hat, dass Bewegungen in die Höhe oder die Tiefe nur als Punkt oder verkürzte Strecke wiedergegeben werden können – es fehlt hier die dritte Dimension. So befinden sich die Kondylen im sto-

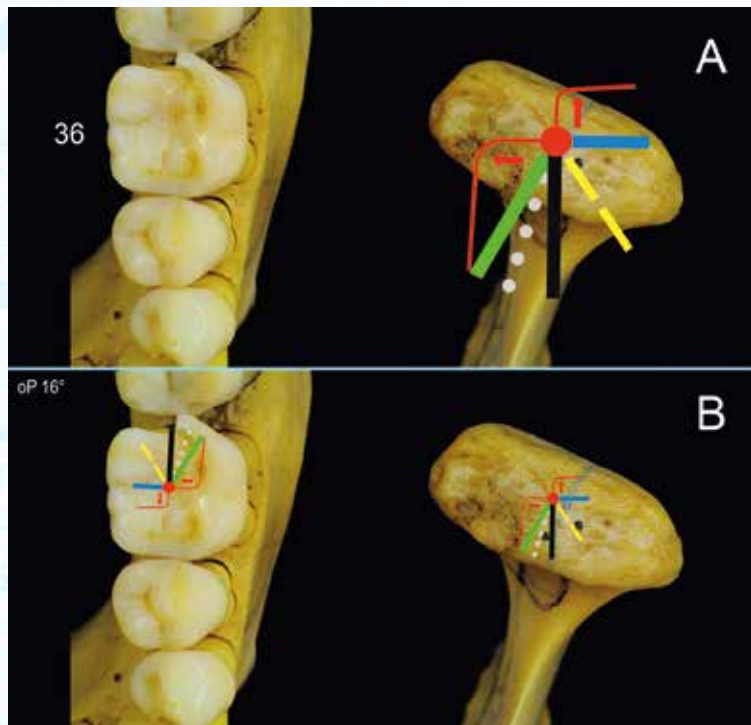
▲ **Abb. 118** Die Neigung des Gelenkhöckerchens ist nicht kongruent zum Verlauf der Gelenkbahnrinne. Die Stärke eines Diskus liegt in seiner Mittenregion (pars intermedia) bei zirka 0,5 bis 1,0 Millimeter.



◀ **Abb. 119** Projektionsfehler: Die Größe des hier platzierten okklusalen Kompasses verleitet zu Rückschlüssen auf das Ausmaß der kondylaren Bewegung

- Quelle:
1. Schulz/ Winzen, Basiswissen zur Datenübertragung, TW-Media 2004, S. 133, Abb. 62
  2. Schulz/ Winzen, Basiswissen zur Datenübertragung, TW-Media 2004, S. 90, Abb. 118
  3. D. Schulz, Bensheimer Rekonstruktion

► **Abb. 120 Inkongruentes Größenverhältnis: (A) Verkleinerung des okklusalen Kompasses auf ein realistisches Maß (B).**

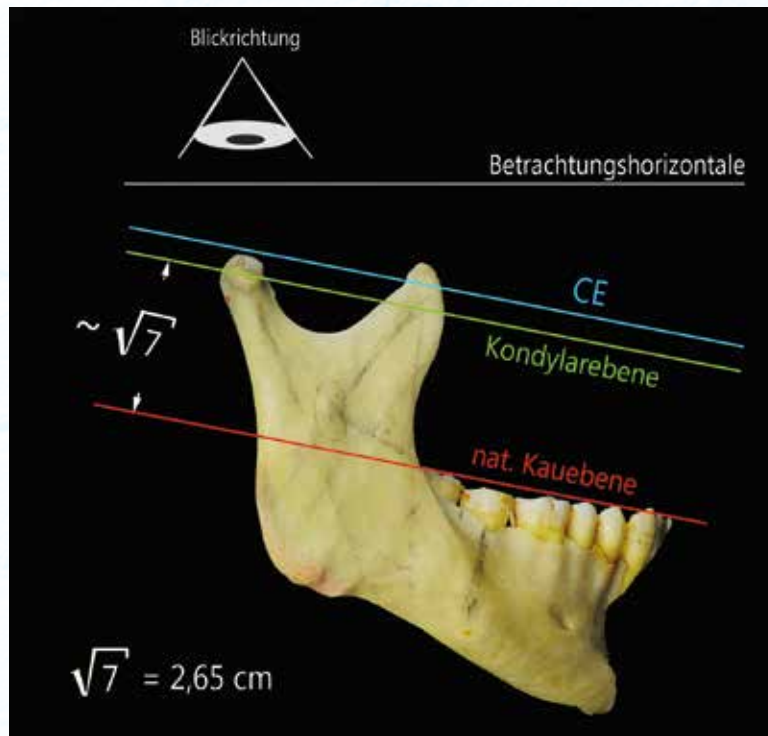


◀ **Abb. 121 Mediotrusion, Protrusion: Tatsächliche Strecke, die der balanceseitige Kondylus unter Seitenzahnkontakt zurücklegt. Ein Teil der Strecke geht durch das initiale Abgleiten des Kondylus auf seinem steilen Weg nach unten verloren.**

matognathes System auf einer anderen Projektionsebene als die Kauebene (Abb. 122). Der Abstand beider Ebenen zueinander beträgt im Mittel 2,65cm, das entspricht Wurzel 7. Zusätzlich läuft die neuro-muskulär gesteuerte Kaubewegung unter Okklusion nicht linear ab, sondern sie beschreibt Radien und Kurvaturen mit unterschiedlichen Hebeln im dreidimensionalen Raumgefüge. Bei der üblichen zweidimensional-zeichnerischen Wiedergabe geht die vertikale Dimension verloren; sie kann dort nur zum Teil oder gar nicht eingezeichnet werden. Die Betrachtung der Abb. 122 und 123 verdeutlicht diesen Zusammenhang. In der Realität legt der balanceseitige Kondylus während der finalen Kaubewegung (Erstkontakt lateral regio Dreier bzw. Vierer) unter Zahnkontakt den längsten Weg zurück. Das sind in der Mediotrusion (grün) zirka fünf Millime-

ter nach unten-vorn (Abb. 121 und 124). Diese gehören zur initialen, sehr steilwinkligen Gelenkbahnneigung ( $iGW: >50^\circ$ ) und entsprechen damit ziemlich genau dem ersten Drittel der maximal möglichen Ausgleitbewegung eines Kondylus von zirka 1,5 Zentimetern bei unphysiologisch ausgeführter Protrusion (zum Beispiel bei elektronischen Registrierverfahren). Ich möchte hier noch einmal darauf hinweisen, dass sich alle unter Seitenzahnkontakt ablaufenden Bewegungen des Kondylus weitgehend im Innenbereich der Fossa abspielen. Sehr aufschlussreich in diesem Zusammenhang ist eine Videosequenz auf Youtube (TMJ and Disc Pathology/ Normal TMJ/ TMJ Treatment by Dentist/ Milton et al.): Hier wird an einem Humanpräparat des Kondylarbereichs **per Hand** die UK-Bewegung nachempfunden, um die Funktion und Parafunktion

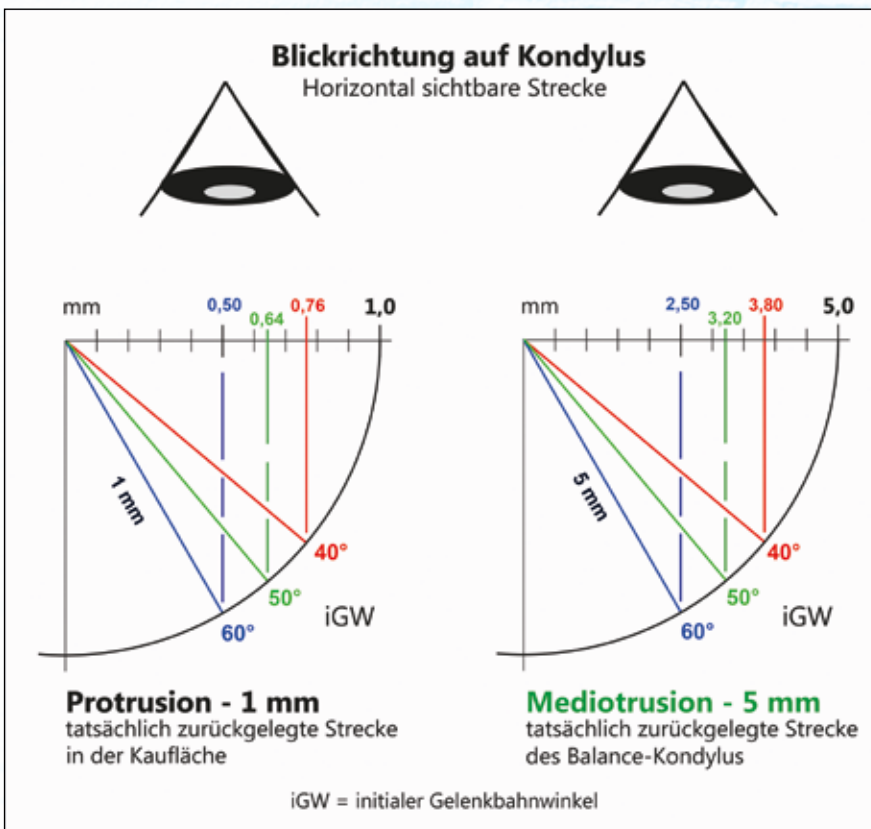
► **Abb. 122**  
**Blickrichtung und**  
**Bewegungsmechanik:**  
**Bei natürlicher Rotations-**  
**und Drehachse im nahen**  
**Bereich des Kondylus**  
**zeichnen sich auf den**  
**Ebenen unterschiedliche**  
**Wegstrecken ab.**



des Diskus zu veranschaulichen. Die Sequenzen bestätigen im Kern die bisherigen Aussagen dieser Artikelserie: steile initiale Gelenkbahn, sehr kurze Wege des Kondylus unter okklusaler Funktion.

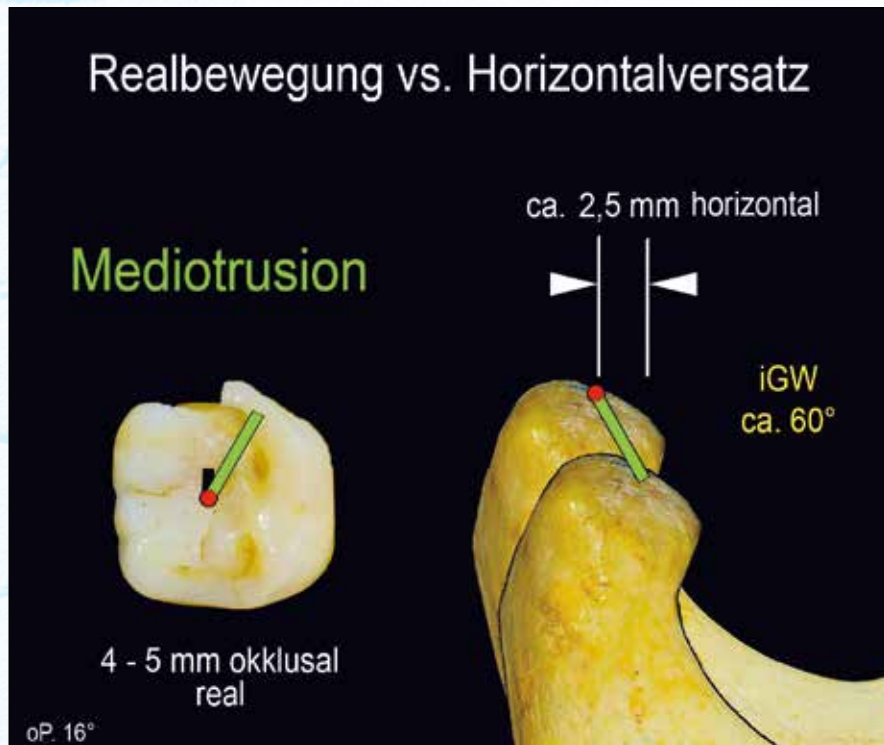
Die von mir gezeigten Herleitungen lassen bereits hier den Rückschluss zu, dass die antagonistisch zurückgelegten Wegstrecken in einer Kaufläche nicht identisch zu den Bewegungen des Kon-

dylus sein können! Denn durch die muskulär erzeugten Bewegungsradien konzentrieren sich die (imaginären) Achslagen im nahen Interkondylarbereich,



◀ **Abb. 123** Verschiedene initiale Gelenkbahnwinkel (iGW): Reduzierung des sichtbaren Weges bei 5mm Mediotrusion und 1mm Protrusion – aus der Horizontalsicht gesehen.





▲ **Abb. 124** Verschiedene Blickwinkel: Nur verkürzt sichtbare Wegstrecke des balanceseitigen Kondylus (Horizontal-sicht).

zwischen Kondylus und Nervus alveolaris. Damit werden kondylar kürzere Wege als auf den weiter entfernt liegenden Kauflächen erzeugt. Hieraus ergibt sich die Frage, welche Bewegung der bekannte „okklusale Kompass“ nun beschreibt: die antagonistische in einer Kaufläche oder doch eher die eines Kondylus?

**Kernaussage:**

Die Kondylarbewegung unterscheidet sich signifikant von den antagonistischen Bewegungsbahnen in einer Kaufläche, denn die muskulär erzeugten Bewegungsradien zentrieren ihre Achslage im nahen Interkondylarbereich.

**Kurzfasit**

Die zentrale Aufgabe des menschlichen Kiefergelenkes ist das Zurückholen und Repositionieren des Unterkiefers – mit-

tels Diskus über die Gelenkbahnrinne – aus der weiten Mundöffnung heraus, mit der Besonderheit, sich dabei „entkoppeln“ zu können.

Messwerte und Interpretationen aus bildgebenden Verfahren sind mit Bedacht zu verwenden, da die Unwägbarkeiten auch durch manuelle Bedienung und rechnerische Korrekturen signifikant sind. Die Nichtbeachtung tatsächlicher Strecken- und Größenverhältnisse hat zu Fehlinterpretationen der funktionellen Bewegungsabläufe im stomatognathen System geführt. Hier stehen nach meiner Auffassung insbesondere die Wege des Kondylus im Hinblick auf die unter Okklusalkontakt zurückgelegten Strecken im Widerspruch zur heutigen Lehrauffassung. ■

**Korrespondenzadresse:**



Ztm. Achilles Iatropoulos  
An der Schusterinsel 15  
51379 Leverkusen  
E-Mail  
info@innovadent.de