

Philipp Winterhalder, Nassim Ayoub, Stephan Möhlhenrich, Ali Modabber, Frank Hölzle

Fortschritte und Grenzen bei der Planung und Umsetzung von Dysgnathie-Operationen*

Warum Sie diesen Beitrag lesen sollten?

Die aktuellen Fortschritte der Dysgnathiechirurgie sind geprägt von Digitalisierung, neuen Materialien, minimaler Invasivität und einem individuell optimierten Behandlungsergebnis. Dieser Beitrag gibt einen Überblick zu Möglichkeiten der digitalen Operationsplanung, innovativen Behandlungsverfahren und deren Limitationen.

Einleitung: Seit der ersten Dysgnathieoperation im Jahr 1849 hat sich die Dysgnathiechirurgie stetig weiterentwickelt, als Konstante steht jedoch die enge Zusammenarbeit mit der Kieferorthopädie.

Material und Methode: Durch dreidimensionale Röntgenaufnahmen, Gesichtsscans und leistungsfähige Datenverarbeitung kann heute in Ergänzung der bisherigen Planungsdiagnostik eine computerbasierte Operationsplanung erfolgen, welche auch die resultierenden Weichgewebsveränderungen berücksichtigt. Mit diesem Verfahren können auch individualisiertes Osteosynthesematerial und Osteotomie-schablonen hergestellt werden, die in Kombination sogar eine Dysgnathieoperation ohne Verankerung der Zähne in einem Splint ermöglichen. Für die Osteotomie stellt die Piezochirurgie durch den Wirkmechanismus bedingt eine minimalinvasive Alternative zu konventionellen Verfahren dar. Als Osteosynthesematerial kann alternativ zu Titan auch resorbierbares Polymer verwendet werden.

Schlussfolgerung: Durch die moderne Kieferorthopädie und die computerunterstützte Operationsplanung ist für geeignete Fälle mit dem Surgery First-Konzept eine Dysgnathieoperation ohne vorherige kieferorthopädische Behandlung möglich. Die Auswirkungen der Dysgnathiechirurgie auf die oberen Atemwege müssen bei der Planung berücksichtigt werden. Über die Therapie von Kieferfehlstellungen hinaus, hat sich die Dysgnathiechirurgie mit der damit möglichen Atemwegsvergrößerung als Behandlungsoption bei der obstruktiven Schlafapnoe etabliert.

Schlüsselwörter: computerbasierte Operationsplanung; Vorhersage von Weichgewebsänderungen; individualisiertes Osteosynthesematerial; resorbierbares Osteosynthesematerial; surgery first; piezochirurgische Osteotomien; Auswirkungen auf die oberen Luftwege

Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer und Gesichtschirurgie des Universitätsklinikums der RWTH Aachen: Dr. Dr. Philipp Winterhalder, Dr. Dr. Nassim Ayoub, PD Dr. Dr. Ali Modabber, Univ.-Prof. Dr. Dr. Frank Hölzle

Department für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Klinik für Kieferorthopädie, Universitätsklinik Witten/Herdecke: PD Dr. Stephan Möhlhenrich

*Deutsche Version der englischen Erstveröffentlichung Winterhalder P, Ayoub N, Möhlhenrich S, Modabber A, Hölzle F: Advances and limits in planning and implementing orthognathic surgery. Dtsch Zahnärztl Z Int 2020; 2: 181–187

Zitierweise: Winterhalder P, Ayoub N, Möhlhenrich S, Modabber A, Hölzle F: Fortschritte und Grenzen bei der Planung und Umsetzung von Dysgnathie-Operationen. Dtsch Zahnärztl Z 2020; 75: 300–307

Peer-reviewed article: eingereicht: 16.03.2020, revidierte Fassung akzeptiert: 09.07.2020

DOI.org/10.3238/dzz.2020.0300-0307

Advances and limits in planning and implementing orthognathic surgery

Introduction: Orthognathic surgery has steadily developed since its establishment in 1849, and is characterized by consistent collaboration with orthodontics.

Materials and Methods: Computer-based operation planning, that also takes resulting changes in soft tissue into account, can now be carried out through three-dimensional X-ray imaging, face scans and powerful data processing. This procedure can also be used to produce individualized osteosynthesis material and osteotomy templates, which in combination even enable orthognathic surgery without the use of an occlusal wafer. Piezo surgery represents a minimally invasive alternative to conventional methods for the osteotomy. As an alternative to titanium, resorbable polymers can also be used as osteosynthesis material.

Conclusion: Due to modern orthodontics and computer-based operation planning, the surgery-first concept enables orthognathic surgery without prior orthodontic treatment for eligible cases. The effects of orthognathic surgery on the upper airway must be considered during planning. In addition to treating dysgnathia, orthognathic surgery expands the upper airway and has become established as a treatment option for obstructive sleep apnea.

Keywords: computer-based surgery planning; prediction of soft tissue changes; individualized osteosynthesis material; resorbable osteosynthesis material; surgery first; piezosurgical osteotomies; effects on the upper airways

Einleitung

Die Dysgnathiechirurgie ist seit ihren Ursprüngen von kontinuierlicher Weiterentwicklung geprägt. Um die aktuellen Fortschritte und Grenzen einzuordnen, lohnt sich ein kurzer Blick auf die Geschichte der Dysgnathiechirurgie [38]. Die erste orthognathe Chirurgie erfolgte durch den amerikanischen Chirurgen Hüllihen, welcher 1849 mit einer anterioren Segmentosteotomie die Unterkieferlänge bei einer Patientin mit verbrennungsbedingter Deformität normalisierte [13]. Als Gründungsväter der frühen Dysgnathiechirurgie gelten u.a. Angle und Blair, welche um 1907 standardisierte Unterkieferosteotomien zur Behandlung der mandibulären Prognathie beschrieben [5, 38]. Blair begann ebenfalls Dysgnathien zu klassifizieren und erkannte die Wichtigkeit der Kieferorthopädie

[38]. Von zahlreichen Chirurgen wurden weitere Verfahren zur Unterkieferkorrektur beschrieben, welche sich aufgrund von hohen Rezidivraten und signifikanten Risiken nicht bewähren konnten [38].

Es folgte die Entwicklung der heute verwendeten Osteotomien (Abb. 1): Wassmund verlagerte im Jahre 1935 mit einer anterioren Segmentosteotomie die Maxilla zur Therapie der maxillären Protrusion [43]. Trauner wendete 1955 die umgekehrt L-förmige Osteotomie des Unterkieferastes zur Therapie der mandibulären Prognathie bei verkürztem Unterkieferast an [41]. Schuchardt beschrieb im selben Jahr die posteriore maxilläre Osteotomie und die, zur Vergrößerung der Knochenanlagerungsfläche schräge, sagittale Osteotomie des Unterkieferastes [33]. Köle führte 1959 Osteotomien des

Alveolarfortsatzes in beiden Kiefern sowie 1968 Kinnkorrekturen mittels einer Genioplastie durch [20, 21]. Obwegeser entwickelte 1955 die revolutionäre sagittale Spaltosteotomie des Unterkieferastes [30], welche 1958 von Dal Pont [9] und 1968 von Hunsuck modifiziert wurde [14]. 1969 führte Obwegeser die Vorverlagerung der Maxilla mittels einer Le-Fort-I-Osteotomie durch und kombinierte diese 1970 mit einer Unterkieferkorrektur zur erstmaligen Umstellungsosteotomie beider Kiefer [28, 29]. Zusätzlich zur Entwicklung dieser effektiven Osteotomien, war die postoperative Stabilität der Kiefer im Wesentlichen auch der Weiterentwicklung der Osteosyntheseverfahren zu verdanken, wofür die 1958 in der Schweiz gegründete Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen bis heute wegweisend ist.

Neben den chirurgischen Aspekten sind für die erfolgreiche Therapie von Dysgnathien die kieferorthopädische Behandlung und die interdisziplinäre Behandlungsplanung von absoluter Notwendigkeit. Für die großen Fortschritte der Kieferorthopädie steht exemplarisch die erstmals 1984 beschriebene Möglichkeit, mit Minischrauben eine skeletale Verankerung zu erreichen [8]. Im Vergleich zu ihren Anfängen ist die moderne kieferorthopädische Behandlung heute schonender, schneller und kann in ausgewählten Fällen sogar langwierige präoperative Zahnbewegungen überflüssig machen.

Als Grundlage der interdisziplinären Behandlungsplanung ist nach wie vor die individualisierte Kephallometrie anzusehen, welche 1974 von Hasund eingeführt und zusammen mit Segner weiterentwickelt wurde [10, 35]. Zusätzlich erfolgen detaillierte Modellanalysen und klinische Untersuchungen. Der resultierende Behandlungsplan gliedert sich meist in präoperative Maßnahmen, beispielsweise eine kieferorthopädische Vorbehandlung, gefolgt von der Dysgnathieoperation zur Verlagerung von einem oder beider Kiefer sowie einer abschließenden kieferorthopädischen Nachbehandlung. Um den Behandlungserfolg zu sichern, ist dabei während allen Behandlungsphasen eine enge Zusammenarbeit zwi-

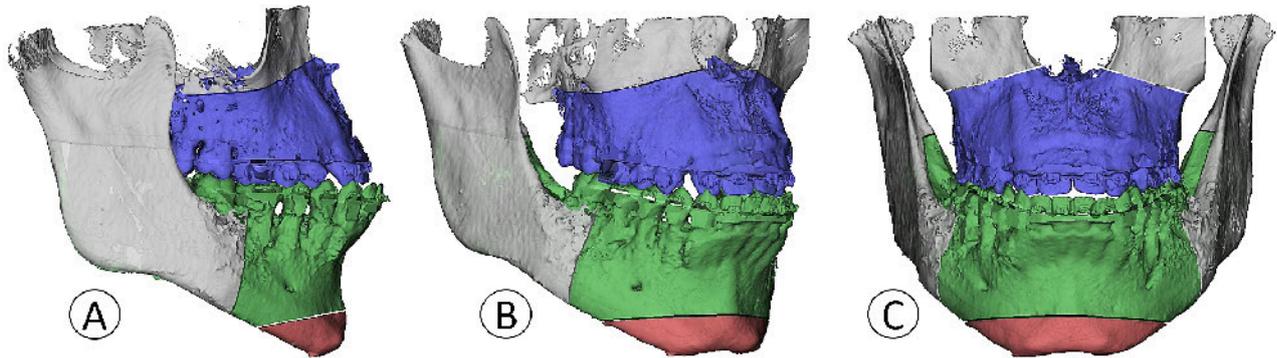


Abbildung 1A–C Verlauf häufiger Osteotomielinien zur Kieferverlagerung, Ansicht von lateral (**A**), im Halbprofil (**B**) und von frontal (**C**): Am Oberkiefer in Le-Fort-I-Ebene (blau), am Unterkiefer mittels bilateraler sagittaler Spaltosteotomie (grün) und bei Bedarf mit zusätzlicher Kinnplastik (rot).

(Abb. 2–4 aus [44]: Mit freundlicher Genehmigung der teamwork media GmbH)

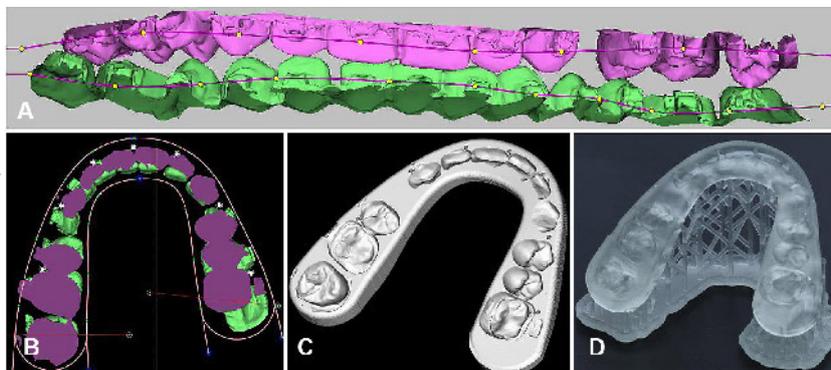


Abbildung 2A–D Digitale Splinterstellung anhand der Zahnbögen nach der geplanten Verlagerung (**A und B**). Der Splint wird als STL-Datei ausgegeben (**C**) und 3-D-gedruckt (**D**).

schen Kieferorthopädie und Kieferchirurgie notwendig.

Nach Abschluss der Vorbehandlung wird zur Planung der Dysgnathieoperation eine Modelloperation durchgeführt, in welcher die Verlagerungstrecken aus den vorherigen Analysen umgesetzt werden. Neben der bewährten Modelloperation an Gipsmodellen im Artikulator gewinnen auch zunehmend digitale Operationsplanungen an Bedeutung.

Die aktuellen Fortschritte der Dysgnathiechirurgie sind geprägt von Digitalisierung, neuen Materialien, minimaler Invasivität und einem individuell optimierten Behandlungsergebnis. Stellvertretend dazu werden im Folgenden die computerbasierte Operationsplanung, die Vorhersage von Weichgewebsänderungen, individuelles und resorbierbares Osteosynthesematerial, das Surgery First-

Konzept, die piezochirurgische Dysgnathiechirurgie und die Auswirkungen auf die oberen Luftwege erläutert.

Computerbasierte Operationsplanung

Die analoge Operationsplanung anhand von Gipsmodellen, Gesichtsbogen, Artikulator und Wachsbissen hat sich über Jahrzehnte bewährt. Als Alternative hierzu hat sich durch die zunehmende Verfügbarkeit und Weiterentwicklung digitaler Technologien die computerbasierte Operationsplanung sowohl in der Forschung als auch in der Patientenversorgung gut etabliert. Unabhängig vom analogen oder digitalen Ansatz stellt die exakte Erfassung dentaler, skelettaler, funktioneller und ästhetischer Problematiken eine absolute Notwendigkeit für eine erfolgreiche Planung dar.

In Ergänzung zur kieferorthopädischen und kieferchirurgischen Expertise bilden hierfür nach wie vor die individualisierte Kephalometrie, die Modellanalyse und die klinische Untersuchung die Grundlage zur Behandlungsplanung. Die Operationsplanung ist dabei nicht isoliert, sondern als Teil des Behandlungsplanes anzusehen. Ebenso wie bei der analogen Operationsplanung führt auch die Operationsplanung mit digitalen Methoden nur dann zum Erfolg, wenn der Behandler die Fähigkeit besitzt, die zugrundeliegenden individuellen dentalen, skelettalen, ästhetischen und funktionellen Parameter und deren Abweichungen zu erfassen und zu verstehen. Erst die Kenntnisse der kephalometrischen Grundprinzipien, beispielsweise der Harmoniebox, ermöglichen es, die Vorteile der dreidimensionalen, computergestützten Dysgnathieplanung optimal zu nutzen.

Die individualisierte Kephalometrie stellt deshalb trotz der neuartigen Analyse- und Planungsmethoden nach wie vor die Grundvoraussetzung zur erfolgreichen Behandlung dar. Durch die individualisierte Kephalometrie gelingt eine ganzheitliche Diagnostik zur Differenzierung zwischen dentalen und skelettalen Ursachen. Des Weiteren ermöglicht diese eine Analyse der Gesichtsproportionen sowie die Abschätzung von sich bedingenden Abhängigkeiten in sagittaler und vertikaler Richtung. Bei der Therapieplanung dient die individualisierte Kephalometrie u.a. dazu, die Einstellung der Spee-

und Wilsonkurve festzulegen, die Achsenstellung der Fronten bei Kieferrotationen korrekt zu planen und autorotatorische Effekte bei Veränderung der Vertikalrelation abzuschätzen. Leider bieten Softwareprogramme zur digitalen Operationsplanung die Bestimmung von kephalometrischen Parametern oft nur in reduzierter Anzahl oder nicht mit klassischen Parametern vergleichbar an; hier sollten Programmhersteller eine vollständige kephalometrische Analyse anbieten.

Nach Abschluss der umfassenden Diagnostik ist es mit der computerbasierten Operationsplanung nicht nur möglich Operationssplinte, sondern auch Analysen und Vorhersagen zum Weichgewebe zu erstellen. Insbesondere bei Asymmetrien kann die digitale Operationsplanung helfen, da Spiegelungen zur optimalen Korrektur erfolgen können. Dabei sind die Bewegungen der skelettalen Basen jedoch nur grob abschätzbar, weshalb die kephalometrische Analyse der erforderlichen Bewegungen bereits beim Beginn der Behandlungsplanung hilfreich ist.

Bei der Analyse und Vorhersage von Weichgewebsveränderungen sollte der Patient über die Messfehler und Vorhersagefehler der verwendeten Geräte und Programme informiert werden, um unerfüllbaren, konkreten Erwartungen und möglicherweise sogar rechtlichen Belangen vorzubeugen.

Die computerbasierte Operationsplanung kombiniert dreidimensionale Röntgendaten aus einer DVT oder einer CT mit einer digitalen Abformung der Zahnbögen. Zur Analyse des Weichgewebes erfolgt zusätzlich ein Gesichtsscan. Aus diesen Datensätzen wird in einer Planungssoftware ein Gesamtmodell erstellt, an welchem die Operation simuliert wird. Nach erfolgreicher virtueller Verlagerung der Kiefer werden die Operationssplinte digital erstellt und 3D-gedruckt, womit intraoperativ nach der Osteotomie über die Zahneinbisse die neuen Kieferpositionen definiert werden (Abb. 2, 3 und 4). Da bei der Planung die Kieferbewegungen im 1/100 mm-Bereich positioniert werden können, lassen sich auch komplexe Fälle mit beispielsweise aus-

geprägter vertikaler Höhenkorrektur erfolgreich behandeln [15]. Die Vorteile der computerbasierten Operationsplanung hinsichtlich der Ergebnisqualität umfassen des Weiteren die Berücksichtigung der individuellen Kiefergelenkachse und der zu erwartenden Änderung der Weichgewebe. Durch die computerbasierte Operationsplanung kann zusätzlich die Planungsdauer im Vergleich zur analogen Planung verkürzt werden. Für die Planung einer alleinigen Unterkieferverlagerung kann die Planungsdauer von 195 min um 41 % reduziert werden, bei einer Verlagerung beider Kiefer verkürzt sich die Planungsdauer von 385 min sogar um 62 % [31].

Die in der Literatur im Vergleich zur analogen Operationsplanung beschriebene Verkürzung der Planungsdauer ist fraglich, wenn zusätzlich die Erhebung der grundsätzlichen Dysgnathieparameter und die Splintherstellung im eigenen 3D-Druck berücksichtigt wird. Bei der alternativen Festlegung der erforderlichen Bewegungen und Abgabe der Umsetzung an einen Dienstleister oder ein Softwareprogramm, würden jedoch Planungs-Know-how und Verständnis für spezielle chirurgische Umstände verloren gehen. Eine somit verkürzte Planungszeit würde den Einfluss des Behandlers reduzieren und zusätzliche Kosten verursachen. Als weitere Nachteile der computerbasierten Operationsplanung sind die hohen Investitionskosten und die erforderliche Einarbeitung von Mitarbeitern in den neuen Workflow zu nennen.

Vorhersage von Weichgewebsveränderungen

Die Verlagerung der Kiefer bewirkt immer auch eine Verlagerung der umgebenden Weichgewebe. Während die Verlagerung der Kiefer präzise geplant und umgesetzt werden kann, ist die resultierende Verlagerung der Weichgewebe schwieriger einzuschätzen. Grund dafür ist, dass die Weichgewebe der Verlagerung nicht exakt 1:1 folgen, sondern sich für die jeweiligen anatomischen Regionen unterschiedlich verhalten. Selbst in Kenntnis dieser speziellen Verlagerungsfaktoren erschwert die individuelle Reaktion des Patienten eine Vorhersage und lässt keine prä-

zise Aussage zur Verlagerung der Weichgewebe zu. Da die Weichgewebe einen entscheidenden Anteil am ästhetischen und funktionellen Ergebnis haben, ist die Berücksichtigung der bestmöglich geschätzten Verlagerung bei der Planung und Evaluation dennoch lohnenswert. In zahlreichen Studien wurden daher Mittelwerte der Verlagerungsfaktoren für die anatomischen Regionen ermittelt. Als zweidimensionale Datengrundlage wurden dabei Fernröntgenseitenbilder und Fotografien verwendet, wobei neue Studien zunehmend auf dreidimensionalen Daten aus CT, DVT und Gesichtsscan basieren. Die Verlagerungsfaktoren wurden in der Sagittalen wie folgt beschrieben, wobei ein Verlagerungsfaktor kleiner 1 eine kleinere Verlagerung als der entsprechende Knochenreferenzpunkt bedeutet: 0,78 im Bereich der Oberlippe, 0,77 an der Unterlippe, 0,74 an der Nasenspitze, 0,70 an der Nasenbasis und 0,73 an den Wangen [23] sowie 0,94 am Kinn [6].

Eine Beurteilung der tatsächlichen Weichgewebsverlagerung ist aufgrund der postoperativen Schwellung erst nach einigen Wochen sinnvoll. Eine Untersuchung zur Vorhersagegenauigkeit von 3 Planungsprogrammen zeigte für Dolphin 3D (Dolphin Imaging & Management Solutions, Chatsworth, CA, USA) einen mittleren Fehler von 1,8 mm +/- 0,8 mm, für ProPlan CMF (Dentsply-Sirona, York, PA, USA) entsprechend 1,2 mm +/- 0,4 mm sowie für die Vorhersage anhand einer Finite-Elemente-Simulation einen Fehler von 1,3 mm +/- 0,4 mm [18]. Allerdings hat die Messung der Weichgewebe selbst bereits einen relativ hohen Fehler, so wird beispielsweise bei einem Gesichtsscan zur Erfassung von 90 % der Messpunkte ein Fehlerintervall von bis zu +/- 2 mm benötigt [17].

Individualisiertes Osteosynthesematerial

Durch neue Fertigungsverfahren ist es möglich geworden, patientenspezifisches Osteosynthesematerial und Osteotomieschablonen herzustellen. Grundlage hierfür ist die computerbasierte Operationsplanung. Osteo-

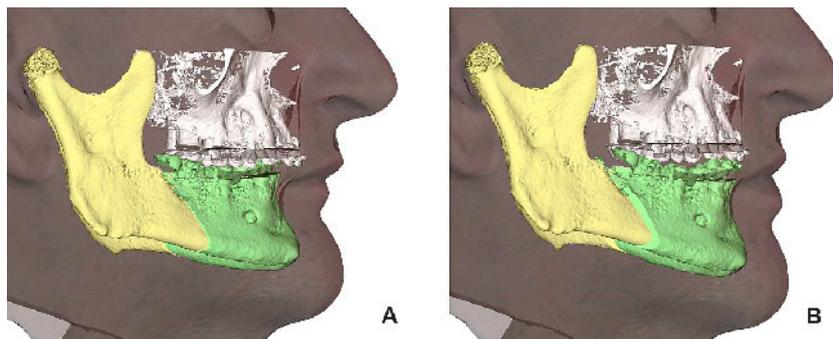


Abbildung 3A/B Simulation des Weichgewebes bei einem Patienten mit Klasse-II-Dysgnathie. Präoperative Situation (A) und Planung der Unterkieferverlagerung (B).

synthesematerial kann somit direkt anhand der virtuellen Formgebung mittels Lasersinterung aus Titan erstellt werden. Eine weniger aufwändige Alternative besteht darin, anhand der virtuellen Situation aus Kunststoff 3D-Modelle der Knochen zu drucken und daran durch Anbringen konfektioniertes Osteosynthesematerial zu individualisieren. Mit der computerbasierten Operationsplanung können zur präzisen Umsetzung der Osteotomien mittels 3D-Druck auch Osteotomieschablonen aus Kunststoff angefertigt werden. Diese Osteotomieschablonen können zusätzlich dabei helfen, den Sicherheitsabstand zu Zahnwurzeln oder Nerven zu halten.

Die Verwendung von patientenspezifischem Osteosynthesematerial und Osteotomieschablonen soll eine exakte Umsetzung der geplanten Kieferverlagerungen ermöglichen. Dies stellt besonders in der vertikalen Dimension einen Vorteil dar, da diese Umsetzung bei rein Splint-basierten Methoden operativ sehr anspruchsvoll ist. In Kombination mit passend lasergesintertem Osteosynthesematerial können die Schraubenlöcher der Osteotomieschablonen nach der Osteotomie für das Osteosynthesematerial verwendet werden. Somit wird die Position genau übertragen und ein Operationssplint ist nicht mehr zwingend notwendig [39]. Allerdings sind Schablonen und individuell hergestelltes Osteosynthesematerial, besonders, wenn dies verblockt gesintert wurde, aufgrund der größeren Abmessungen nicht mit minimal-invasiven Operationszugängen anwendbar. Eine weitere Möglichkeit

zur splintlosen Operation ist die Verwendung einer intraoperativen Navigation [4]. Hierzu sind sowohl optische als auch elektromagnetische Systeme verfügbar, welche trotz guter Ergebnisse aufgrund ihres hohen apparativen Aufwandes jedoch noch keine breite Verwendung finden. Der Nachteil einer splintlosen Operation besteht darin, dass die Okklusion direkt nach der Verlagerung meist noch instabil ist, da die kieferorthopädische Nachbehandlung noch aussteht. Zur Sicherung des postoperativen Ergebnisses ist während der Heilungsphase in vielen Fällen ein Splint daher sinnvoll, auch wenn dieser zur intraoperativen Positionierung nicht notwendig ist.

Ein wesentlicher Nachteil von patientenspezifischem Osteosynthesematerial und Osteotomieschablonen ist der erhöhte Planungsaufwand. Insbesondere die Lasersinterung von patientenspezifischem Osteosynthesematerial entspricht für eine Dysgnathieoperation derzeit in etwa der gesamten Fallpauschalenvergütung und ist daher noch nicht als Standardverfahren etablierbar. Mit der zunehmenden Entwicklung der Fertigungstechnologien und der immer häufigeren Nutzung ist in Zukunft mit einer Kostenreduktion und einer breiteren Anwendung dieser innovativen Verfahren zu rechnen.

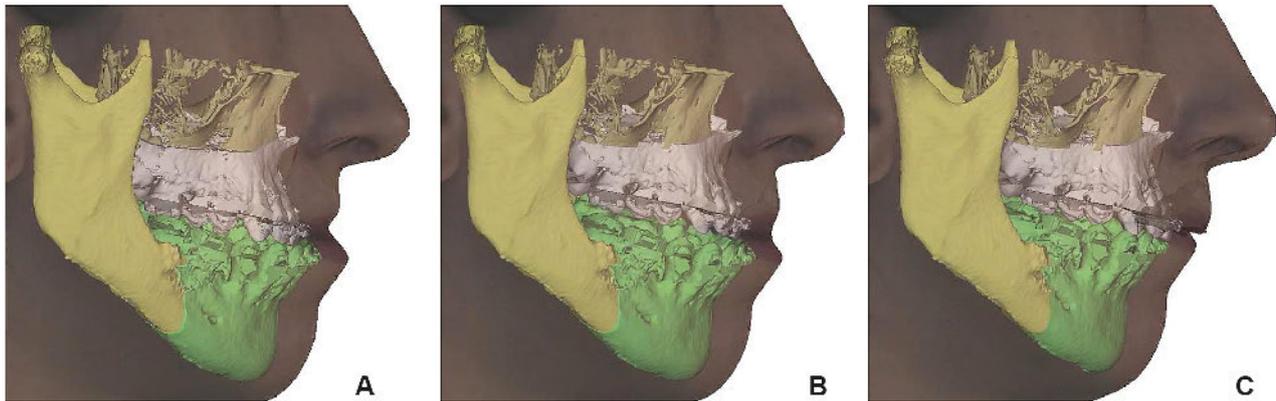
Resorbierbares Osteosynthesematerial

Bereits 1932 war mit reinem Magnesium ein resorbierbares Osteosynthesematerial verfügbar, welches sich jedoch aufgrund der biochemischen Instabilität nicht bewährt hat. Resor-

bierbares Osteosynthesematerial trat in den Hintergrund, da mit der Einführung von Edelstahl in den 1940er Jahren und nachgefolgt von Titan in den 1950er Jahren bis heute große Erfolge erzielt werden konnten [34]. Persistierendes Osteosynthesematerial kann jedoch zu Fremdkörpergefühl, bakterieller Besiedelung und Wachstumseinschränkungen führen. Bei der Bildgebung mittels Röntgen oder MRT verursacht Titan Artefakte, welche die Diagnostik erschweren. Auch bei erneuten Unfällen oder anderweitig notwendigen Operationen kann das persistierende Osteosynthesematerial eine Komplikationsquelle darstellen. Häufig wird das Osteosynthesematerial daher nach abgeschlossener Knochenheilung wieder entfernt, wobei auch dieser Zweiteingriff mit den allgemeinen Operationsrisiken behaftet ist und durch die vorbestehenden Narben erschwert wird.

Dem Wunsch nach resorbierbarem Osteosynthesematerial kommt der Fortschritt der biochemischen Industrie entgegen, welche seit den 1960er Jahren resorbierbare Polymere entwickelt und seit den 1990er Jahren resorbierbares Osteosynthesematerial u.a. auf der Basis von Milchsäure, Glycolsäure und Polydioxanon anbietet. Je nach Zusammensetzung reicht die vollständige Abbauphase von Wochen bis Jahren, wobei der Abbau meist auf einer Hydrolyse der Esterbindungen basiert [34].

Um die im Vergleich zu Titan geringere Festigkeit der Polymere teilweise zu kompensieren, ist resorbierbares Osteosynthesematerial größer dimensioniert und erfordert daher invasivere Operationszugänge. In klinischen Studien ist Osteosynthesematerial aus resorbierbarem Polymer bei Dysgnathieoperationen sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer ausreichend stabil und verursacht ähnliche Komplikationsraten wie Osteosynthesematerial aus Titan [1, 16, 32]. Resorbierbares Osteosynthesematerial aus Polymeren hat zudem die Besonderheit nicht röntgenopak zu sein. Dies bietet den Vorteil bei Bildgebungen keine Artefakte zu erzeugen, verhindert aber auch Lage- und Integritätskontrollen. Eine weitere Option stellen neuartige Magnesiumlegierungen mit Zirkonium und



(Abb. 1–4: P. Winterhalder)

Abbildung 4A–C Simulation des Weichgewebes bei einer Patientin mit Klasse-III-Dysgnathie. Präoperative Situation (A), Planung der Oberkieferverlagerung (B) und der anschließenden Unterkieferrückverlagerung (C).

Strontium dar, welche im Vergleich zu Polymeren deutlich stabiler sind, jedoch hinsichtlich der Biokompatibilität weiter verbessert werden müssen [34].

Surgery First

Bei der Entwicklung einer Dysgnathie verändert sich meist die Stellung der Zähne so, dass die zugrundeliegende skelettale Ursache kompensiert wird. Beispielsweise sind bei einer Rücklage des Unterkiefers daher die Unterkieferfrontzähne häufig stark protrudiert. In einer solchen kompensierten Situation würde eine Normalisierung der skelettalen Basis durch eine Kieferverlagerung zu einer Malokklusion führen. Im herkömmlichen Behandlungskonzept wird daher als Dekompensation zuerst die Zahnstellung in Bezug auf den Alveolarkamm und den Zahnbogen normalisiert. Hierdurch wird die dysgnathiebedingte Malokklusion in voller Ausprägung sichtbar. Die nun im Modell zueinander passenden Zahnbögen werden bei der Planung der Dysgnathieoperation bestmöglich ausgerichtet und in der Operation entsprechend verlagert.

Im Kontrast dazu wird seit 2009 unter dem Begriff „Surgery First“ ein Behandlungskonzept verwendet, bei dem vor der Dysgnathieoperation keine oder nur eine minimale kieferorthopädische Behandlung erfolgt [7]. Erst im Anschluss wird mittels kieferorthopädischer Behandlung sofort die definitive, bestmögliche Okklusion angestrebt. Dieses Vorgehen wurde erst durch die Fortschritte der kieferorthopädischen Behandlung

möglich gemacht, oft unter Verwendung von skelettalen Verankerungselementen wie beispielsweise Minischrauben. Als Vorteile des Surgery First-Konzeptes gelten eine um mehrere Monate verkürzte Behandlungsdauer und eine reduzierte Patientenbelastung durch Auslassen der Vorbehandlungsphase [36]. Das Surgery First-Konzept wird bei Klasse-II- und Klasse-III-Dysgnathien sowohl für die Verlagerung von einem als auch bei der Kiefer verwendet. Die Behandlungsplanung ist sehr anspruchsvoll und umfasst oft eine computerunterstützte Operationsplanung.

Für die Indikationen zum Surgery First-Konzept gibt es keinen Konsens. Als geeignet gelten insbesondere Patienten mit einer mandibulären Prognathie, geringen Engständen und wenig dentaler Kompensation [7, 22]. Für das Surgery First-Konzept ungeeignet erscheinen jedoch Patienten mit einer mandibulären Retrognathie, tiefem Biss, schmalen Gaumen oder ausgeprägten Achsenabweichungen der Frontzähne [7, 22]. Mit zunehmender Asymmetrie des Patientenfalls sollte eine Behandlung mit dem Surgery First-Konzept kritisch hinterfragt werden [11], obwohl auch erfolgreiche Behandlungen von ausgeprägten Asymmetrien beschrieben wurden [42]. Die Behandlungsverfahren zum Surgery First-Konzept befinden sich in stetiger Weiterentwicklung, wodurch sich die Indikationsstellungen erweitern können. So wurde beispielsweise für die Behandlung einer Protrusion der Unterkieferfrontzähne als Surgery First-Konzept

eine piezochirurgische, subapikale Osteotomie beschrieben [12]. Um die beim Surgery First-Konzept umfangreiche, postoperative kieferorthopädische Behandlung zu erleichtern, werden bei Bedarf intraoperativ skelettale Verankerungselemente wie Miniplatten oder Minischrauben eingebracht. Zusammen mit dem postoperativ gesteigerten Knochenumbau [36] können somit innerhalb einiger Monate umfangreiche Zahnbewegungen erfolgen. Ob das Surgery First-Konzept eine erfolgsversprechende Therapie darstellt, muss vom Kieferorthopäden und Chirurgen in enger Zusammenarbeit für jeden Patienten individuell diskutiert werden. Obwohl in der digitalen Operationsplanung alle Verlagerungen hochpräzise erfolgen, stellt insbesondere bei einer mehrfachen Unterteilung eines Kiefers die räumliche Positionierung der Segmente für den Anwender eine große Herausforderung dar. Neben chirurgischen Aspekten ist dabei eine kieferorthopädische Expertise zur Lagebestimmung der Kiefer und Beurteilung der postoperativ umfangreichen kieferorthopädischen Bewegungen unabdingbar. Aufgrund der ausbleibenden präoperativen Dekompensation ist beim Surgery First-Konzept die unmittelbar postoperative Okklusion oft nur minimal abgestützt. Durch unvorteilhafte Okklusionskontakte kann es postoperativ sogar zu Unterkieferfehlstellungen kommen [7]. Insbesondere bei mehrfacher Segmentierung des Oberkiefers ist daher eine postoperative Stabilisierung durch einen Operationssplint zu

empfehlen. Der Splint kann hierfür zusätzlich auch bereits zur intraoperativen Verwendung durch einen eingearbeiteten transpalatinalen Bogen verstärkt werden.

Piezochirurgische Osteotomien

Grundlage der Piezochirurgie ist die 1880 von den Brüdern Pierre und Jaques Curie gemachte Beobachtung, dass ein Kristall elektrische Energie in Mikrobewegungen umwandelt, was als piezoelektrischer Effekt bezeichnet wird (von griechisch piezein, 'drücken'). Die klinische Nutzung entwickelte sich seit den 1950er Jahren von vereinzelt Anwendungen in der dentoalveolären Chirurgie bis hin zu den heutigen modernen Piezochirurgiegeräten, wovon in Deutschland das erste 2002 zugelassen wurde [40].

Bei der Piezochirurgie werden mit verschiedenen gezahnten oder diamantierten Aufsätzen die Mikrobewegungen des Piezokristalls auf das Gewebe übertragen. Die Schwingungen betragen dabei etwa 60–210 µm bei einer Frequenz von 25–29 kHz [2]. Hierdurch werden nur mineralisierte Gewebe abgetragen und Weichgewebe wie Nerven geschont. Die Piezochirurgie kann sowohl für die Verlagerung des Oberkiefers in der LeFort-I-Ebene als auch am Unterkiefer zur sagittalen Spaltosteotomie verwendet werden. Durch piezochirurgische Osteotomien ist ein deutlicher zeitlicher Vorteil möglich [19], wobei gleichzeitig die Sägeschnitte noch graziler gestaltet werden können.

Eine Übersichtsarbeit mit 799 Patienten zeigte für die piezochirurgische Spaltosteotomie des Unterkiefers keine verlängerte Operationsdauer [37]. Die Häufigkeit von Nervbeeinträchtigungen mindestens 6 Monate nach der Operation war jedoch mit 4,7 % der Patienten deutlich geringer als entsprechend 61,6 % bei Verwendung einer Säge.

In einer weiteren Studie wurde der Einfluss der Piezochirurgie auf das Frakturmuster der sagittalen Spaltosteotomie untersucht, wobei sich im Vergleich zur konventionellen Osteotomie kein Unterschied ergab [27]. Da die Auswahl von verschiedenen Osteotomieaufsätzen die Piezochirurgie vielseitig einsetzbar macht, wurde

zusätzlich mit einem gebogenen Aufsatz die Unterkieferbasis piezochirurgisch geschwächt. Dies zeigte jedoch sogar, ebenfalls wie eine entsprechende konventionelle Schwächung, ein schlechteres Frakturmuster.

Auswirkungen auf die oberen Luftwege

Durch die Verlagerung der Kiefer mit dem angrenzenden Weichgewebe werden zwangsläufig auch die oberen Atemwege beeinflusst. Eine Ausmessung der oberen Atemwege und deren Veränderungen ist durch die dreidimensionale Bildgebung mittels DVT oder CT möglich und hat sich gegenüber Messungen anhand von Fernröntgenseitenbildern als überlegen gezeigt [25].

Bei Störungen der Nasenatmung kann der Atemwegswiderstand in diesem Bereich zusätzlich mittels einer Rhinomanometrie bestimmt werden. Eine Gaumennahtweiterung bewirkt eine Vergrößerung der Nasenhöhle und bei der Nasenatmung einen verminderten Atemwegswiderstand [3].

Eine Rückverlagerung des Unterkiefers verkleinert den Atemweg und birgt bei ausgeprägten Klasse-III-Dysgnathien das Risiko einer Atemwegsstörung. Dies gilt insbesondere, wenn die Zunge im Verhältnis zum Kiefer groß ausgebildet ist. Als Alternative zu einer alleinigen Unterkieferverlagerung sollte bei Klasse-III-Dysgnathien daher eine zusätzliche Oberkieferverlagerung in Erwägung gezogen werden. Selbst bei diesem Vorgehen sind Änderungen der Atemwege feststellbar, wie sie in einer Studie mit 22 Patienten beschrieben wurden [24]. Das Volumen des Nasopharynx veränderte sich von präoperativ 5,4 cm³ auf postoperativ 5,2 cm³. Im Oropharynx zeigte sich eine Verkleinerung von 17,8 cm³ auf 11,9 cm³ und im Hypopharynx von 7,2 cm³ auf 4,6 cm³. Trotz der deutlichen Änderungen bestand 6 Monate postoperativ bei keinem der Patienten eine Atemwegsstörung.

Die Auswirkungen von Kieferverlagerungen auf die Atemwege sind nicht nur bei Dysgnathiepatienten von Bedeutung. Beim obstruktiven Schlafapnoesyndrom werden durch einen verminderten Muskeltonus die

oberen Atemwege durch das Eigengewicht der Weichgewebe verlegt. Der Patient erwacht durch diese Atemnot, teils ohne es zu bemerken, wiederholt aus dem Schlaf. Obwohl meist außer Müdigkeit wenig Symptome bestehen, können sich ernsthafte gesundheitliche Folgen wie arterielle Hypertonie, Herzkrankheiten oder Diabetes mellitus entwickeln. Bei therapieresistenter obstruktiver Schlafapnoe stellt eine Vorverlagerung beider Kiefer daher eine wichtige Behandlungsoption dar [26]. Um im Bereich des Unterkiefers die Vorverlagerung der Weichgewebe zu verstärken, wird dabei oft zusätzlich eine Kinnplastik durchgeführt.

Interessenkonflikte

Die Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

Literatur

1. Agnihotry A, Fedorowicz Z, Nasser M, Gill KS: Resorbable versus titanium plates for orthognathic surgery. *Cochrane Database Syst Rev* 2017; 10: CD006204
2. Aly LAA: Piezoelectric surgery: Applications in oral and maxillofacial surgery. *Future Dental Journal* 2018; 4: 105–111
3. Baratieri C, Alves M, Souza MMG de, Souza Araújo MT de, Maia LC: Does rapid maxillary expansion have long-term effects on airway dimensions and breathing? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011; 140: 146–156
4. Berger M, Kallus S, Nova I et al.: Approach to intraoperative electromagnetic navigation in orthognathic surgery: A phantom skull based trial. *J Craniomaxillofac Surg* 2015; 43: 1731–1736
5. Blair VP: Operations on the jaw-bone and face. *Surg Gynecol Obstet* 1907; 4: 67–78
6. Chang Y-J, Ruellas ACO, Yatabe MS, Westgate PM, Cevidanes LHS, Huja SS: Soft tissue changes measured with three-dimensional software provides new insights for surgical predictions. *J Oral Maxillofac Surg* 2017; 75: 2191–2201
7. Choi D-S, Garagiola U, Kim S-G: Current status of the surgery-first approach (part I): concepts and orthodontic protocols. *Maxillofac Plast Reconstr Surg* 2019; 41: 10

8. Creekmore TD, Eklund MK: The possibility of skeletal anchorage. *J Clin Orthod* 1983; 17: 266–269
9. Dal Pont G: L'osteotomia retromolare per la correzione della prognia. *Minerva Chir* 1, 1958
10. Hasund A: Klinische Kephalmetrie für die Bergen-Technik. Universität in Bergen, Kieferorthopädische Abteilung des zahnärztlichen Institutes 1974
11. Hernández-Alfaro F, Guijarro-Martínez R, Peiró-Guijarro MA: Surgery first in orthognathic surgery: what have we learned? A comprehensive workflow based on 45 consecutive cases. *J Oral Maxillofac Surg* 2014; 72: 376–390
12. Hernández-Alfaro F, Nieto MJ, Ruiz-Magaz V, Valls-Ontañón A, Méndez-Manjón I, Guijarro-Martínez R: Inferior subapical osteotomy for dentoalveolar decompensation of class III malocclusion in 'surgery-first' and 'surgery-early' orthognathic treatment. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2017; 46: 80–85
13. Hullihen SP: Case of elongation of the under jaw and distortion of the face and neck, caused by a burn, successfully treated. *Am J Dent Sci* 1849; 9: 157–165
14. Hunsuck EE: A modified intraoral sagittal splitting technic for correction of mandibular prognathism. *J Oral Surg* 1968; 26: 250–253
15. Jaisinghani S, Adams NS, Mann RJ, Polley JW, Giroto JA: Virtual surgical planning in orthognathic surgery. *Eplasty* 2017; 17:ic1. eCollection 2017
16. Kanno T, Sukegawa S, Furuki Y, Nariai Y, Sekine J: Overview of innovative advances in bioresorbable plate systems for oral and maxillofacial surgery. *Jpn Dent Sci Rev* 2018; 54: 127–138
17. Knoops PGM, Beaumont CAA, Borghi A et al.: Comparison of three-dimensional scanner systems for craniomaxillofacial imaging. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2017; 70: 441–449
18. Knoops PGM, Borghi A, Breakey RWF et al.: Three-dimensional soft tissue prediction in orthognathic surgery: a clinical comparison of Dolphin, ProPlan CMF, and probabilistic finite element modeling. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2019; 48: 511–518
19. Koba A, Tanoue R, Kikuta S, Hirashima S, Miyazono Y, Kusakawa J: The usefulness of piezoelectric surgery in sagittal split ramus osteotomy. *Kurume Med J* 2018; 64: 57–63
20. Köle H: Surgical operations on the alveolar ridge to correct occlusal abnormalities. *Oral Surg Oral Med Oral Path* 1959; 12: 277–288
21. Köle H: Die chirurgische Behandlung von Formveränderungen des Kinns. *Wien, Med Wschr* 1968; 118: 331–334
22. Kwon T-G, Han MD: Current status of surgery first approach (part II): precautions and complications. *Maxillofac Plast Reconstr Surg* 2019; 41: 23
23. Lai H-C, Denadai R, Ho C-T, Lin H-H, Lo L-J: Effect of Le Fort I maxillary advancement and clockwise rotation on the anteromedial cheek soft tissue change in patients with skeletal class III pattern and midface deficiency: a 3D imaging-based prediction study. *J Clin Med* 2020; Jan; 9(1): 262; doi: 10.3390/jcm9010262
24. Lee W-Y, Park Y-W, Kwon K-J, Kim S-G: Change of the airway space in mandibular prognathism after bimaxillary surgery involving maxillary posterior impaction. *Maxillofac Plast Reconstr Surg* 2016; 38: 23
25. Lenza MG, Lenza MMdO, Dalstra M, Melsen B, Cattaneo PM: An analysis of different approaches to the assessment of upper airway morphology: a CBCT study. *Orthod Craniofac Res* 2010; 13: 96–105
26. Liu SY-C, Awad M, Riley RW: Maxillo-mandibular advancement: contemporary approach at stanford. *Atlas Oral Maxillofac Surg Clin North Am* 2019; 27: 29–36
27. Möhlhenrich SC, Ayoub N, Peters F et al.: Evaluation of the lingual fracture patterns after bilateral sagittal split osteotomy according to Hunsuck/Epker modified by an additional inferior border osteotomy using a burr or ultrasonic device. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2019; 48: 620–628
28. Obwegeser HL: Surgical correction of small or retrodisplaced maxillae. The „dish-face“ deformity. *Plast Reconstr Surg* 1969; 43: 351–365
29. Obwegeser HL: Die einzeitige Vorbewegung des Oberkiefers und Rückbewegung des Unterkiefers zur Korrektur der extremen Progenie. *Schweiz Mschr Zahnheilk* 1970; 80: 347–356
30. Obwegeser HL, Trauner R: Zur Operationstechnik bei der Progenie und anderen Unterkieferanomalien. *Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd* 1955; 23: 11–26
31. Park S-Y, Hwang D-S, Song J-M, Kim U-K: Comparison of time and cost between conventional surgical planning and virtual surgical planning in orthognathic surgery in Korea. *Maxillofac Plast Reconstr Surg* 2019; 41: 35
32. Park Y-W: Bioabsorbable osteofixation for orthognathic surgery. *Maxillofac Plast Reconstr Surg* 2015; 37: 6
33. Schuchardt K: Formen des offenen Bisses und ihre operativen Behandlungsmöglichkeiten. In: Schuchardt K, Wassmund M (Hrsg): *Fortschritte der Kiefer- und Gesichts-Chirurgie*, Bd. I., Thieme, Stuttgart 1955, S. 222
34. Schumann P, Lindhorst D, Wagner MEH, Schramm A, Gellrich N-C, Rucker M: Perspectives on resorbable osteosyn-thesis materials in craniomaxillofacial surgery. *Pathobiology* 2013; 80: 211–217
35. Segner D, Hasund A: Individualisierte Kephalmetrie. Segner 1991
36. Sharma VK, Yadav K, Tandon P: An overview of surgery-first approach: recent advances in orthognathic surgery. *J Orthod Sci* 2015; 4: 9–12
37. Silva LF, Carvalho-Reis ENR, Bonardi JP et al.: Comparison between piezoelectric surgery and conventional saw in sagittal split osteotomies: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2017; 46: 1000–1006
38. Steinhäuser EW: Historical development of orthognathic surgery. *J Craniomaxillofacial Surg* 1996; 24: 195–204
39. Suojanen J, Leikola J, Stoor P: The use of patient-specific implants in orthognathic surgery: a series of 32 maxillary osteotomy patients. *J Craniomaxillofac Surg* 2016; 44: 1913–1916
40. Thomas M, Akula U, Ealla KKR, Gajjada N: Piezosurgery: a boon for modern periodontics. *J Int Soc Prev Community Dent* 2017; 7: 1–7
41. Trauner R: Zur Progenieoperation. *Ost Z Stomat* 1955; 52: 361
42. Villegas C, Uribe F, Sugawara J, Nanda R: Expedited correction of significant dentofacial asymmetry using a „surgery first“ approach. *J Clin Orthod* 2010; 44: 97–103; quiz 105
43. Waßmund M: *Lehrbuch der praktischen Chirurgie des Mundes und der Kiefer*, Bd. 1., H. Meußner, Leipzig 1935
44. Winterhalder P, Ayoub N, Modabber A, Hölzle F: *Dysgnathiechirurgie im digitalen Workflow*. *teamwork* 2020; 01: 34–39



(Foto: Philipp Winterhalder)

DR. DR. PHILIPP WINTERHALDER
 Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer
 und Gesichtschirurgie des Universitäts-
 klinikums der RWTH Aachen
 Pauwelstr. 30
 52074 Aachen
pwinterhalde@ukaachen.de