

# Persönliche PDF-Datei für

Mit den besten Grüßen vom Georg Thieme Verlag

[www.thieme.de](http://www.thieme.de)

Dieser elektronische Sonderdruck ist nur für die Nutzung zu nicht-kommerziellen, persönlichen Zwecken bestimmt (z. B. im Rahmen des fachlichen Austauschs mit einzelnen Kollegen und zur Verwendung auf der privaten Homepage des Autors). Diese PDF-Datei ist nicht für die Einstellung in Repositorien vorgesehen, dies gilt auch für soziale und wissenschaftliche Netzwerke und Plattformen.

**Verlag und Copyright:**

Georg Thieme Verlag KG  
Postfach 30 11 20  
70451 Stuttgart  
ISSN

Alle Rechte liegen beim  
Verlag



# Der digitale Workflow in der In-Office-Alignertherapie

## Digital Workflow of In-Office Treatment with Aligners

### Autoren

Werner Schupp<sup>1</sup>, Julia Funke<sup>2</sup>, Julia Haubrich<sup>1</sup>

### Institute

- 1 Praxis für Kieferorthopädie, Dres. Schupp/Haubrich, Köln
- 2 Klinik für Kieferorthopädie, Universität Freiburg

### Schlüsselwörter

In-Office-Alignertherapie, digitale Kieferorthopädie, Aligner Orthodontics, 3D-Print

### Key Words

In-Office Aligner Therapy, digital orthodontics, Aligner orthodontics, 3D Print

### Bibliografie

Inf Orthod Kieferorthop 2020; 52: 289–300

DOI 10.1055/a-1241-9967

ISSN 0020-0336

© 2020. Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14, 70469 Stuttgart, Germany

### Korrespondenzadresse

Dr. Werner Schupp  
Hauptstraße 50  
50996 Köln  
Deutschland  
Tel.: +49 221-9353020  
schupp@schupp-ortho.de

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Alignertherapie hat sich im Zuge der Digitalisierung in den vergangenen 20 Jahren zunehmend als nicht mehr wegzuden-

kende Behandlungsalternative in der Kieferorthopädie etabliert. Das Indikationsspektrum hat sich mit steigender Erfahrung und besserem Verständnis der Biomechanik vom Auflösen geringer Engstände und Schließen von Lücken zu komplexeren Fällen erweitert. Die Weiterentwicklung von kieferorthopädischer Computersoftware in Bezug auf die Verarbeitung von 3D-Daten macht es möglich, dass der Behandler heute entscheiden kann, ob der Workflow gänzlich in der Praxis bzw. im Eigenlabor stattfinden soll, oder ob Teile der Behandlungsplanung und Alignerherstellung an externe Dienstleister outgesourct werden.

Der digitale Workflow für die In-House-Alignertherapie mithilfe der OnyxCeph<sup>3TM</sup> Software wird skizziert und an einem Beispiel verdeutlicht.

### ABSTRACT

In the course of digitization, aligner therapy has increasingly established itself as an indispensable alternative in orthodontics in the past 20 years. With increasing experience and a better understanding of biomechanics, the range of indications has advanced from mild crowding and spacing to more complex cases. The further development of orthodontic computer software with regard to the processing of 3D data makes it possible for the dentist to decide today whether the workflow should take place entirely in the practice or in the in-house laboratory, or whether parts of the treatment planning and aligner manufacturing are outsourced to external service providers.

The digital workflow for in-house aligner therapy using the OnyxCeph<sup>3TM</sup> software is outlined and illustrated using an example.

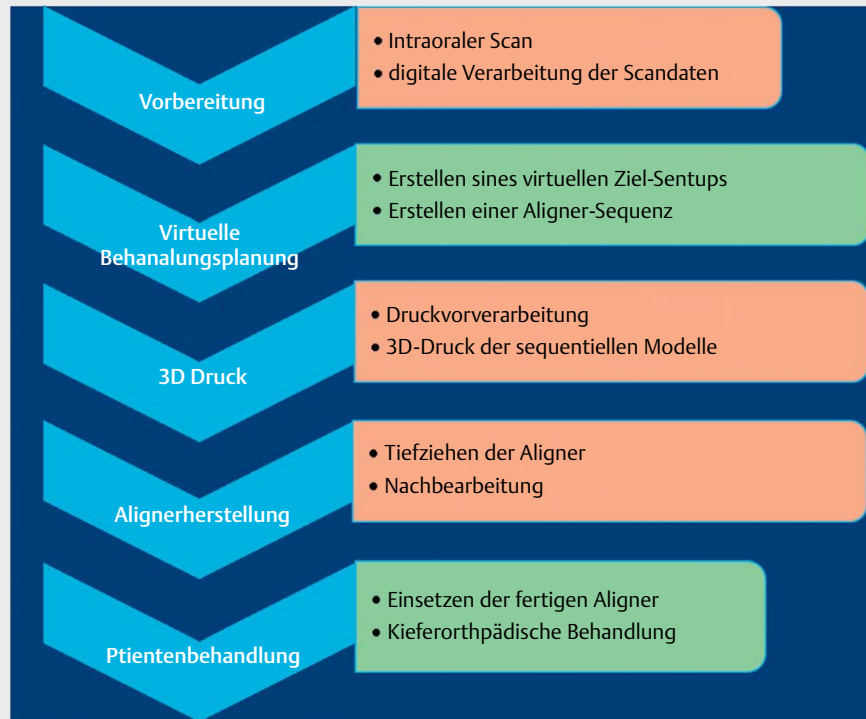
## Einleitung

Als nahezu unsichtbare kieferorthopädische Therapiealternative entwickelten Aligner zunächst insbesondere in der Erwachsenenbehandlung eine große Popularität. Heutzutage sind sie nicht zuletzt aus ästhetischen Gründen, sondern insbesondere als komfortable und gering invasive sowie präzise Variante aus dem kieferorthopädischen Behandlungsspektrum nicht mehr wegzudenken [1–4].

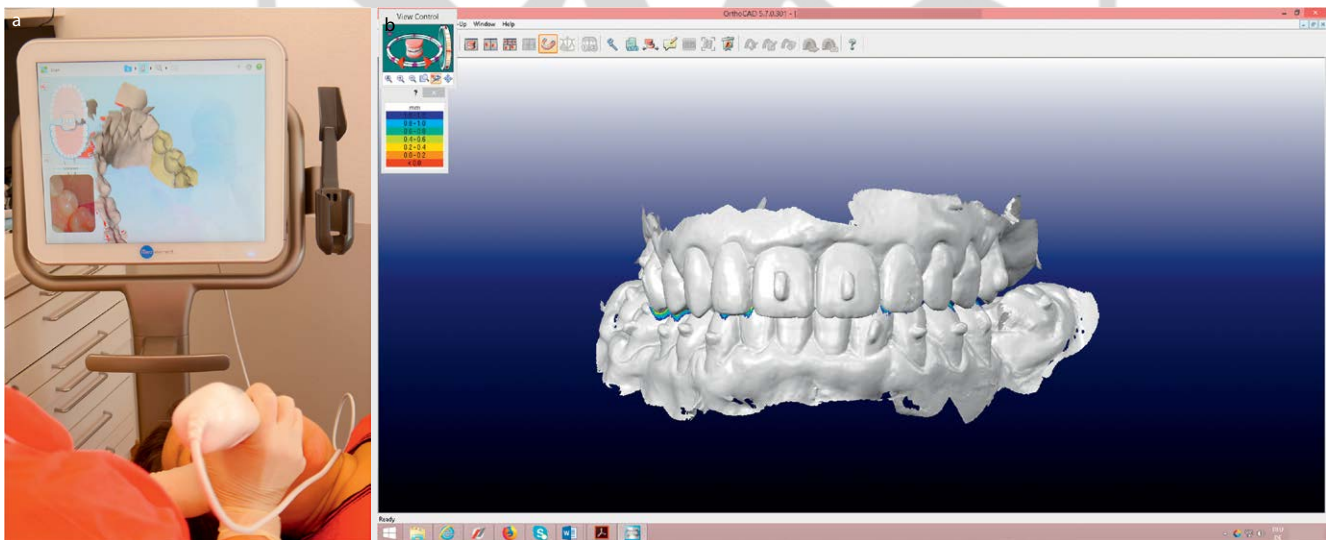
Der Behandlung von Kindern und Jugendlichen mittels Aligner Orthodontics (AO) kommt eine immer größere Bedeutung zu [1, 5–7].

Präzise kontrollierbare Kräfte können mit Alignern initiiert werden. Es sind aber nicht alle Bewegungen, die virtuell geplant werden, in der ersten Behandlungsphase unmittelbar umsetzbar. Studien, in denen Möglichkeiten und Grenzen in der Alignertherapie herausgearbeitet werden konnten, wurden in erster Linie in Bezugnahme auf das Invisalign-System und nach der ersten Phase der Behandlung durchgeführt [3, 8–11].

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass Bewegungen mit Alignern grundsätzlich durchgeführt werden können, sofern die Prinzipien der Biomechanik beachtet und in der Planung berücksichtigt werden. In der Regel wird mindestens eine zweite Phase, ähnlich



► **Abb. 1** Übersicht über den Workflow in der In-Office-Alignertherapie (farbig hinterlegt: orange = delegierbare Leistungen, grün = nicht delegierbare Leistungen).

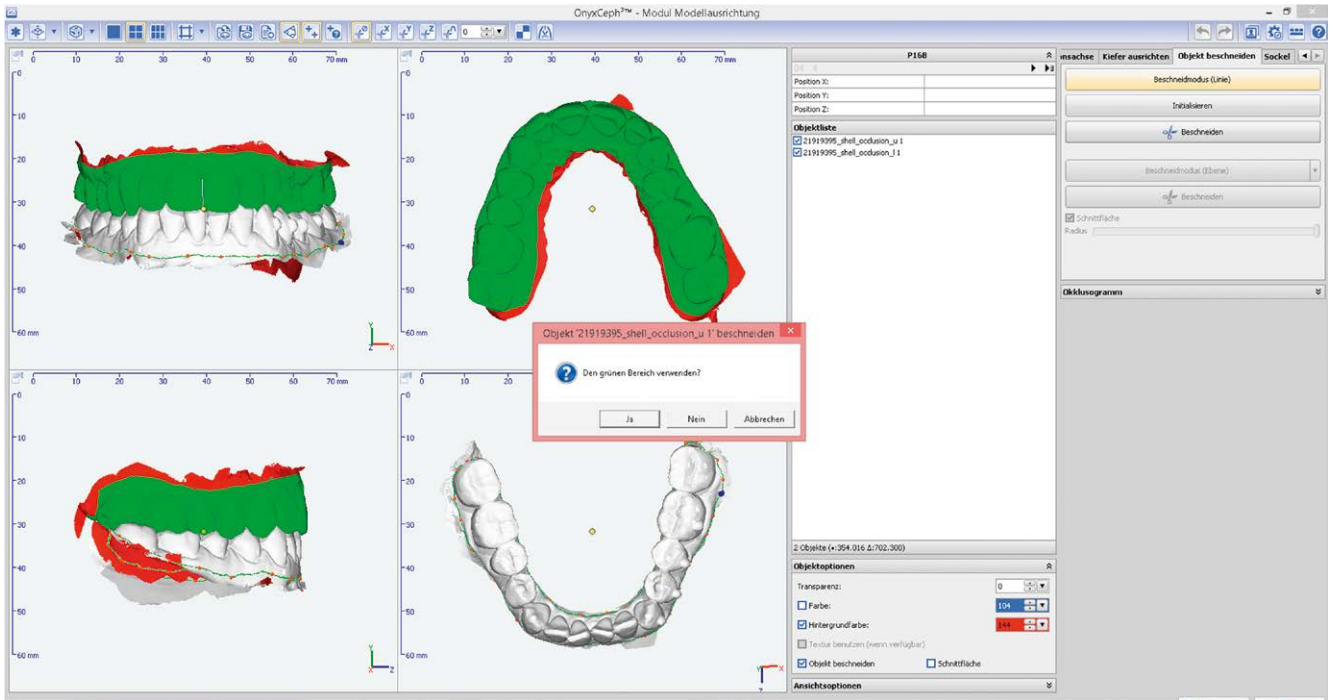


► **Abb. 2** a Intraoraler Scan mit dem Trios 3 Scanner, b intraoraler Scan gematched in der OrthoCAD Software.

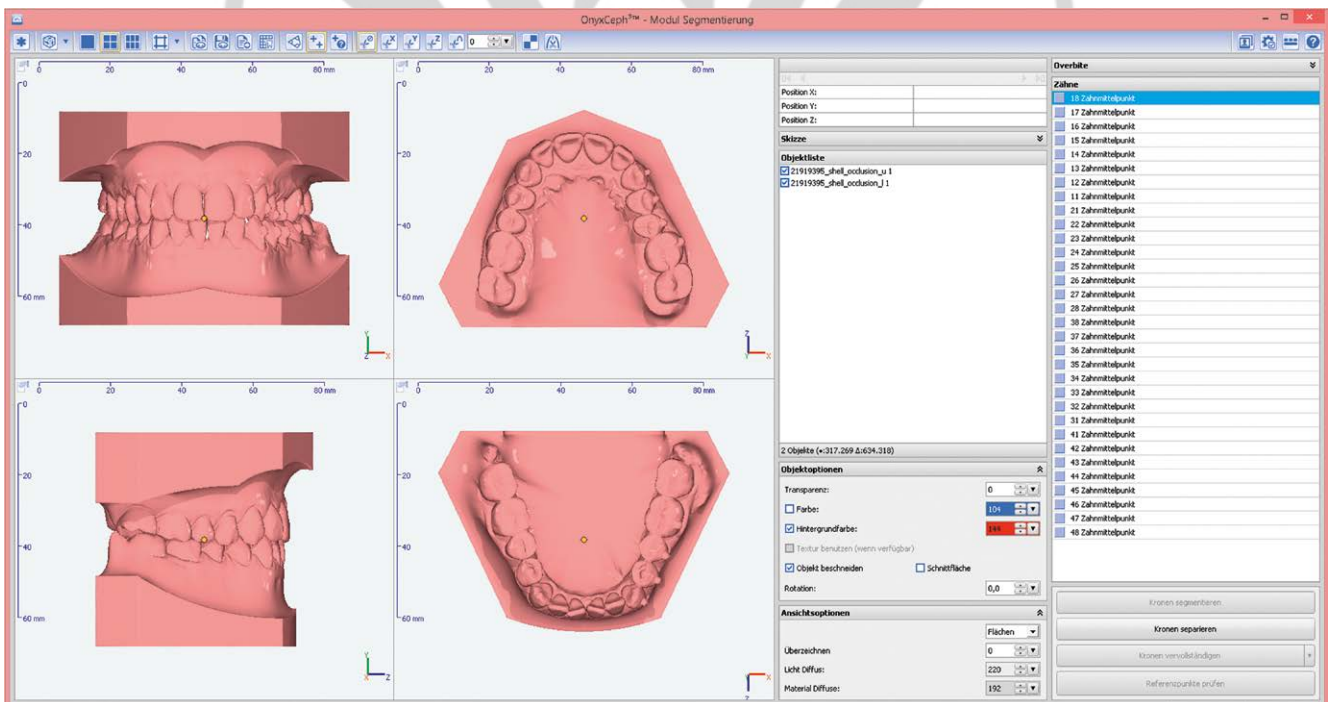
der Finishingphase bei der Multibrackettechnik benötigt, um das Endergebnis zu erzielen. Durch die stetige Weiterentwicklung kieferorthopädischer Planungssoftware und des 3D-Drucks steht dem Behandler heute die Möglichkeit zur Verfügung, die komplette Alignertherapie im In-Office-Verfahren durchzuführen. Der Workflow wird folgend anhand eines Beispiels mit der OnyxCeph<sup>3TM</sup> Software dargestellt.

## Der digitale Workflow: Scan und digitale Verarbeitung

Der digitale Workflow in der In-Office-Alignertherapie lässt sich zusammenfassend wie auf ► **Abb. 1** darstellen. Der virtuellen Behandlungsplanung geht eine gründliche kieferorthopädische Planung



► **Abb. 3** Beschneiden der Scanränder im Modul Modellausrichtung.



► **Abb. 4** Segmentieren des virtuellen Modells.

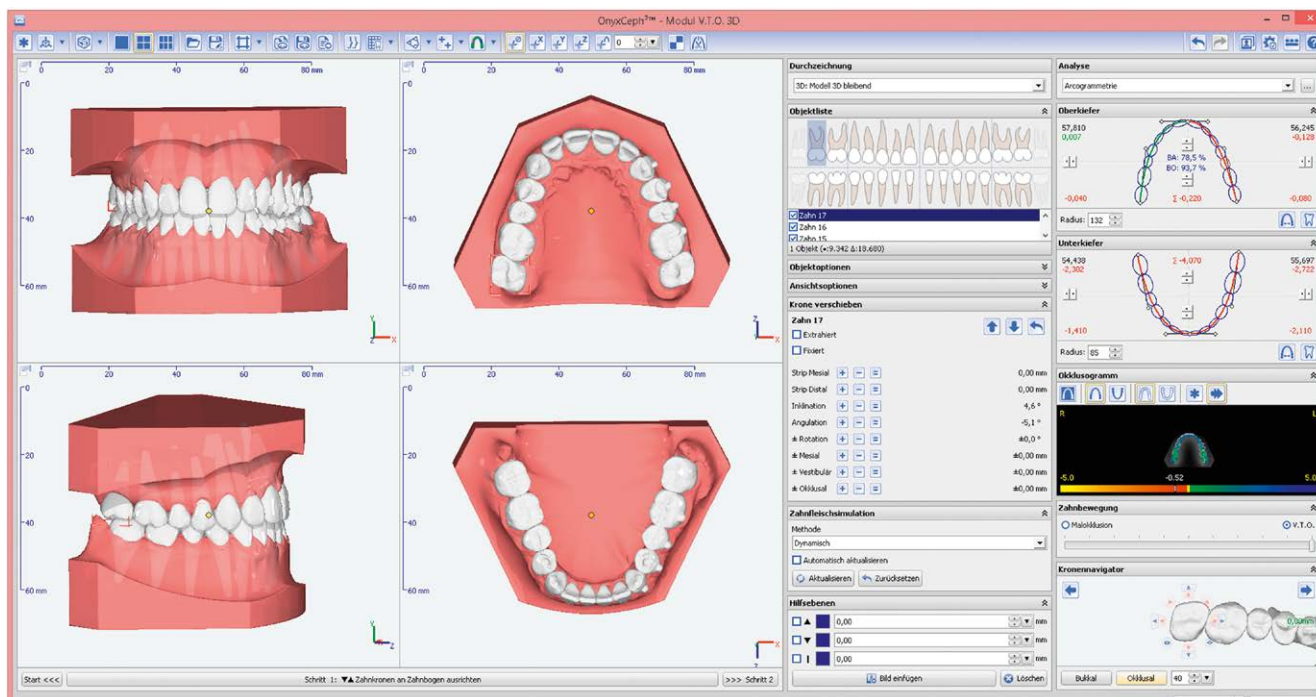
voraus. Zur Herstellung von virtuellen Modellen wird ein Intraoralscanner verwendet (► **Abb. 2**).

Im Unterkiefer wurde ein Lateleveler [21] zur Intrusion von 37 eingesetzt. Aktuell werden die 2. Molaren weiter eingestellt. Es konnten bereits Brackets auf die Zähne 17 und 27 geklebt werden. Leider war es aufgrund von Behandlungsverzögerungen im Rah-

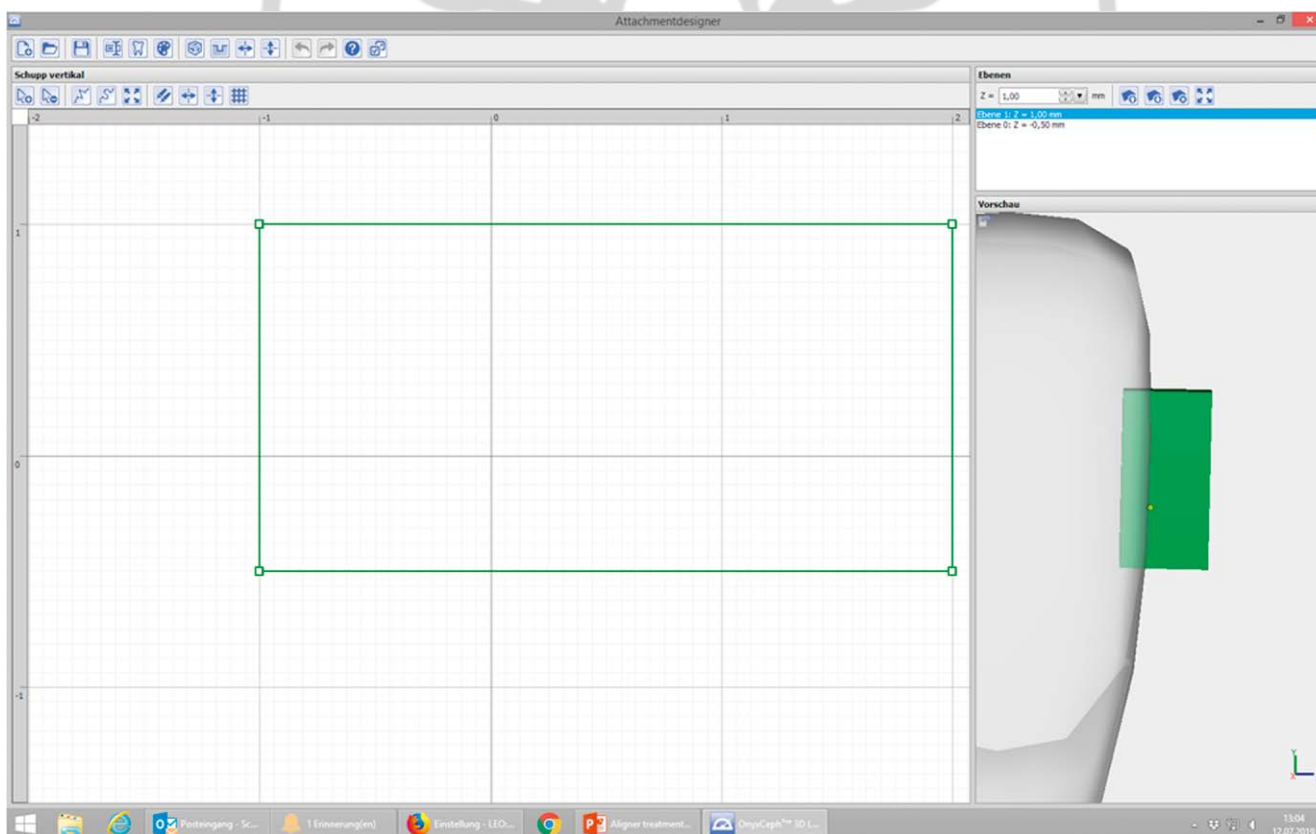
men der Coronapandemie noch nicht möglich, den Patienten zu entbändern.

### Intraoraler Scan

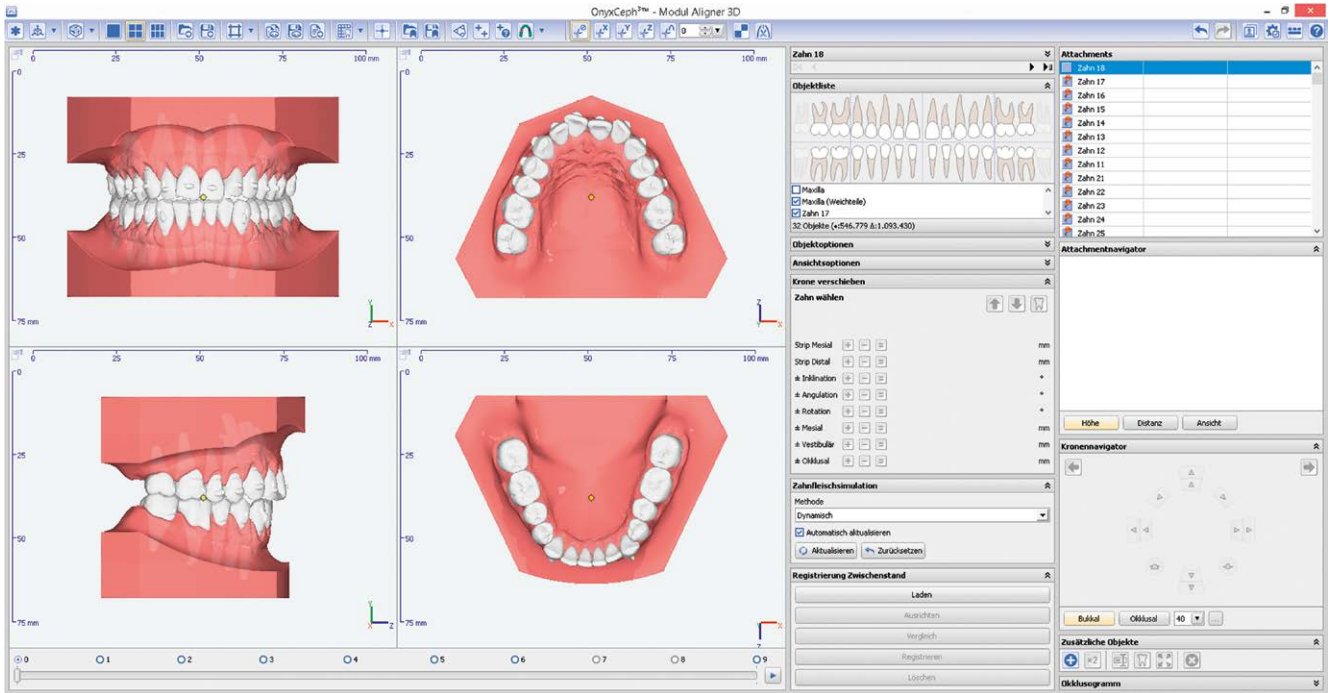
Genau wie bei einer analogen Abformung ist auch beim 3D-Scan die Technik und Präzision von größter Bedeutung. Je weniger Fehl-



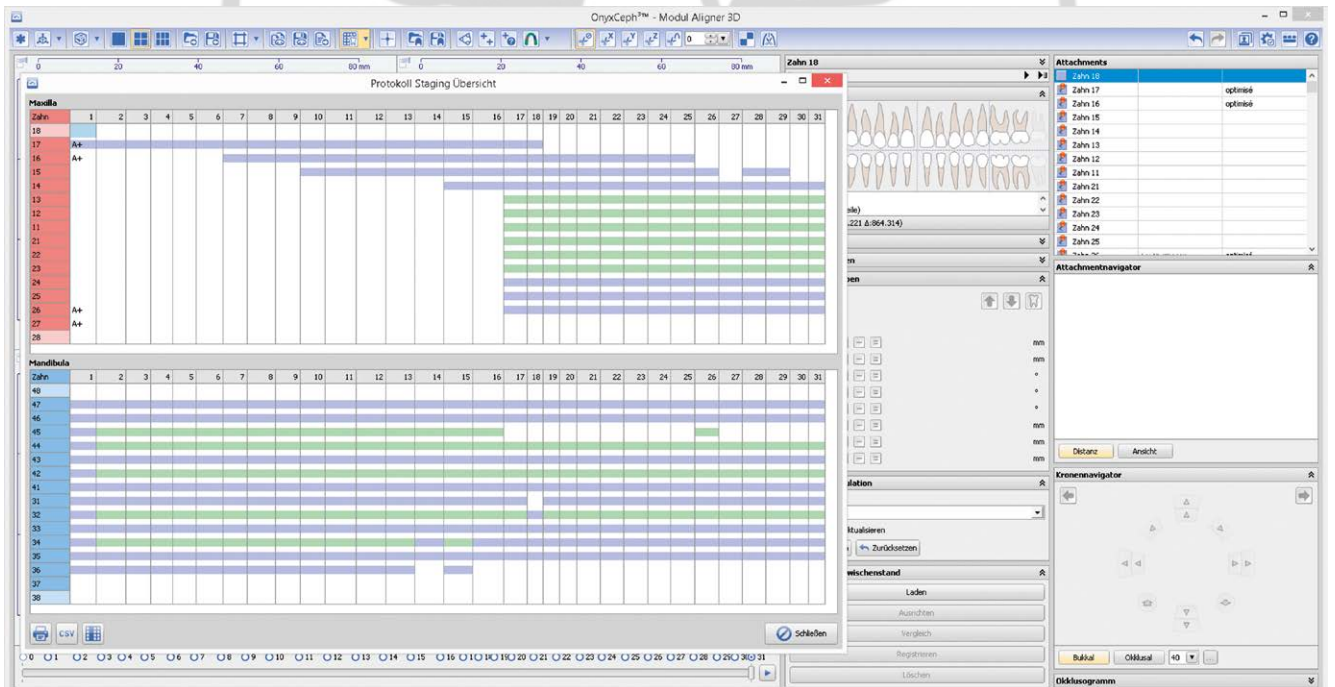
► **Abb. 5** Modul V.T.O. 3D zur Erstellung eines virtuellen Ziel-Setups.



► **Abb. 6** In der OnyxCeph Software können mit dem Werkzeug „Attachmentdesigner“ Attachments individuell gestaltet werden.



► **Abb. 7** Benutzeroberfläche im Modul Aligner3D - die Zahnbewegung wurde in 9 Zwischenschritte unterteilt.



► **Abb. 8** Staging-Protokoll am Beispiel der einseitigen sequentiellen Distalisierung.

stellen und zusammengerechnete Überlagerungen im Scan wiederzufinden sind, desto besser ist die Scanqualität, die sich wiederum positiv auf die Genauigkeit des 3D-Drucks auswirkt und letztlich auch in einer verbesserten Passgenauigkeit der Schienen/Aligner resultiert.

Im Zuge der vollständigen Digitalisierung kieferorthopädischer Praxen sollten beim Scan die gleichen Qualitätsansprüche gelten wie bei der Anfertigung eines Gipsmodells. Die Scan-Modelle können für eine digitale Modellanalyse verwendet und zur Dokumentation digital archiviert werden [12].

## Import und Weiterverarbeitung des STL-Datensatzes in der OnyxCeph<sup>3™</sup> Software

Der Scan wird nach dem Import ausgerichtet und repariert. Die Ränder werden geglättet, sodass der Scan virtuell gesockelt werden kann. Für die später einfachere Vorbereitung für den 3D-Druck von Zahnkränzen empfiehlt sich die Verwendung eines Hufeisensockels für die Tiefziehtechnik (► **Abb. 3**).

Nach dem Sockeln der virtuellen Modelle werden diese segmentiert: Gingiva und Zähne werden voneinander separiert und die Bewegungsachsen der einzelnen Zähne werden in allen Ebenen des

Raumes definiert. Hier gilt es, besondere Sorgfalt walten zu lassen, da dies als Grundlage für die präzise virtuelle Bewegung der Zähne dient (► **Abb.4**).

### Erstellung eines virtuellen Ziel-Setups

Das Ziel-Setup dient als das finale Behandlungsziel (► **Abb. 5**). Werden bspw. aufgrund erhöhter Komplexität von vornherein mehrere Therapiephasen eingeplant, besteht die Möglichkeit, mehrere Zwischenziele mithilfe des Setup-Moduls zu erstellen.

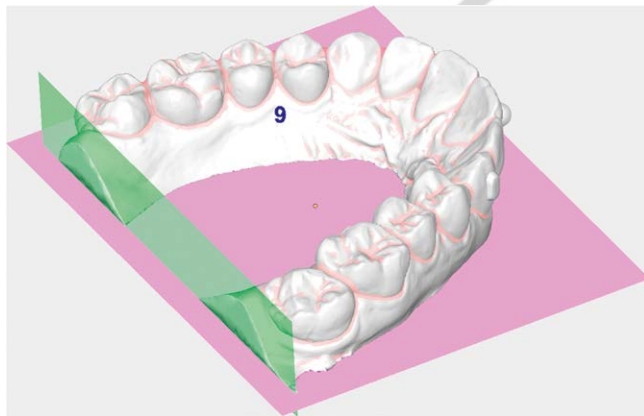
An dieser Stelle sei ausdrücklich betont, dass der Behandler – also der Kieferorthopäde – diesen Schritt, die Planung des Behandlungsziels, den Bewegungsablauf (Staging) und die Attachments selbstständig durchführt und diesen aus biomechanischer Sicht wichtigsten Schritt nicht delegiert, was bei outgesourcter Alignertechnik immer der Fall ist.

### Aligner-Planung

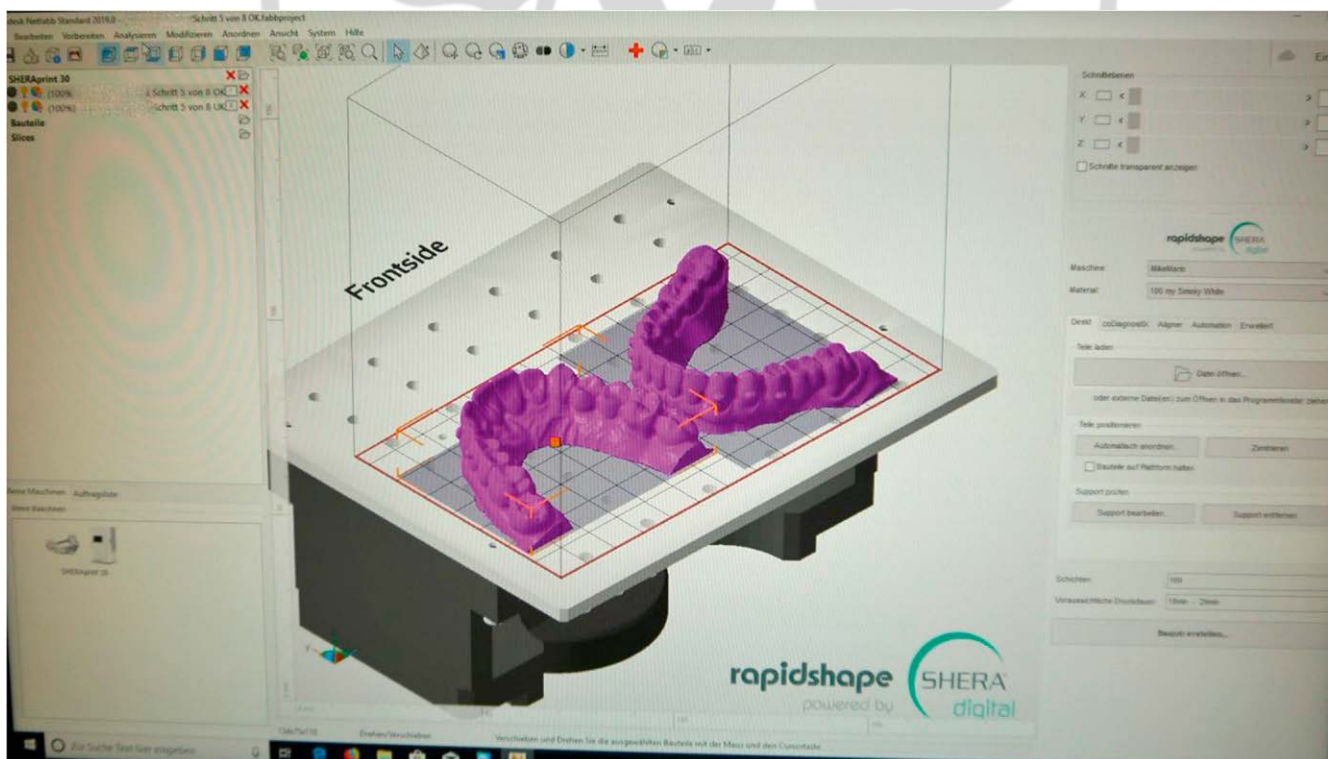
Die Aligner-Planung beinhaltet multiple komplexe Aufgaben für den Behandler.

Zum einen werden anhand der geplanten Bewegungen Attachments und Druckpunkte geplant. Abhängig von der Software gibt es vorgeformte Attachments, die übernommen werden können. Zusätzlich hat der Behandler die Möglichkeit, Attachments selbst zu designen und den Anforderungen entsprechend einzusetzen (► **Abb. 6**).

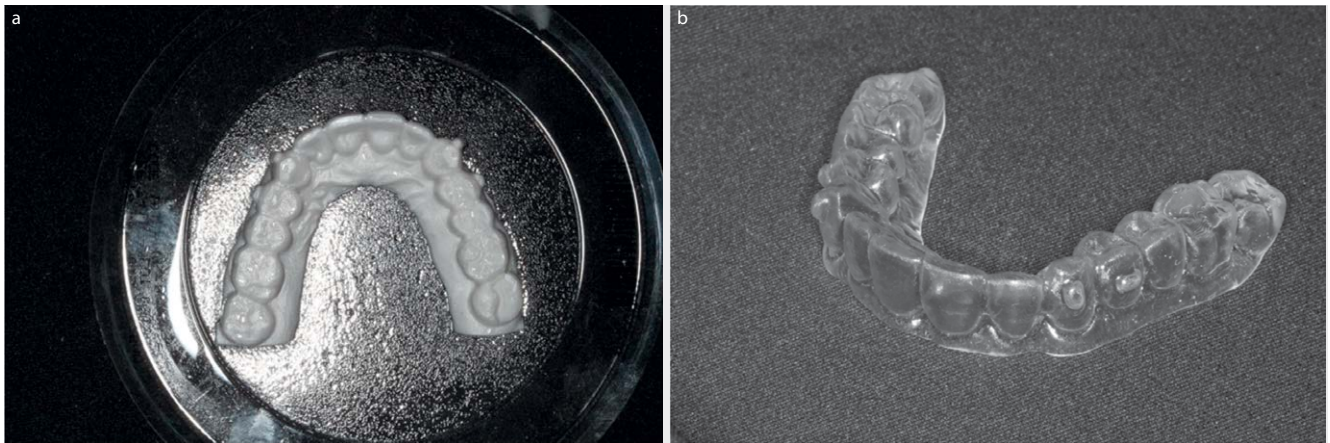
Ein weiterer elementarer Bestandteil der Aligner-Planung ist das Staging (► **Abb. 7, 8**). Hiermit ist nicht nur das gleichmäßige Un-



► **Abb. 9** Druckvorverarbeitung in der OnyxCeph<sup>3™</sup> Software.



► **Abb. 10** Die Modelle werden vor dem 3D-Druck auf der Druckplattform ausgerichtet.



► **Abb. 11** a 3D-Modell und Folie nach dem Tiefziehvorgang, b ausgearbeiteter Aligner.

terteilen der Bewegungen vom Ausgangszustand in den Endzustand gemeint, sondern insbesondere die biomechanisch günstige Verteilung der Bewegungen, um eine bessere Vorhersagbarkeit und Umsetzung der Bewegungen zu gewährleisten.

Das Staging ist von der späteren Herangehensweise an die Alignerproduktion abhängig. Hier gibt es grundsätzlich 2 Ansätze, zwischen denen der Behandler zunächst entscheiden muss:

1. Ein Aligner einer Materialstärke pro Schritt: Das Staging sollte etwas kleiner gewählt werden, um die Umsetzung der Bewegung pro Aligner zu gewährleisten [13].
2. Mehrere Aligner unterschiedlicher Materialstärken pro Schritt: Die Schritte können größer eingeteilt werden, da die Zähne über einen längeren Zeitraum mit initial schwächerer und im Verlauf größer werdender Kraft in die jeweilige Zwischenschritt-Position bewegt werden [14].

Da die teilweise unzureichende Bewegungsumsetzung in der Alignertherapie in der Literatur einen großen Kritikpunkt darstellt, sollte der Behandler die Verankerung, die Bewegungsausmaße, die Platzverhältnisse sowie Kollisionen und die Planung von ASR genau prüfen. Außerdem empfiehlt es sich, Überkorrekturen für bestimmte Zahnstellungsänderungen einzuplanen [15, 16].

### Druckvorverarbeitung und 3D-Druck

Nach Abschluss der Planung werden die einzelnen Modelle im 3D-Verfahren gedruckt. Hierzu müssen sie zunächst in Zahnkränze geschnitten werden. Unter sich gehende Bereiche können virtuell ausgeblockt werden. Außerdem erfolgt eine Beschriftung der Modelle. Es empfiehlt sich, die Modellnummer invertiert auf einen Zahn zu setzen, die dadurch als Negativ im Aligner dargestellt werden. Eine zusätzliche Beschriftung der Aligner kann somit entfallen (► **Abb. 9**).

Für den 3D-Druck der Modelle (► **Abb. 10**) in der Alignertherapie sind sowohl Resin- als auch Filamentdrucker geeignet [17, 18]. Ein Resindrucker arbeitet im Stereolithografie (SLA)- oder Digital Light Processing (DLP)-Verfahren mit der größtmöglichen Genauigkeit ( $< 1\mu\text{m}$ ). Nachteil dieser Verfahren ist, dass es bei der Verarbeitung der 3D-Modelle, die in der Regel aus (noch) nicht-biokom-

patiblen Harzen bestehen, zum Kontakt mit toxischen Substanzen kommt.

Ein Filamentdrucker im Fused Deposition Molding (FDM)-Verfahren hingegen liefert weniger präzise Ergebnisse (100–400  $\mu\text{m}$  Genauigkeit).

### Herstellung von Alignern

Der letzte Schritt im Workflow der In-Office-Therapie ist die Alignerherstellung. Es gibt eine große Auswahl verschiedener Hersteller und Materialien, die für die Zahnbewegung geeignet sind. Grundsätzlich wird zwischen PETG- und PU-Folien unterschieden sowie zwischen Single- und Multilayer-Materialien [14, 19]. Diese unterscheiden sich insbesondere hinsichtlich ihres E-Moduls und ihrer Universalhärte.

Grundsätzlich werden die Aligner auf jedem Modell tiefgezogen (► **Abb. 11a**) und ca. 2–3 mm oberhalb des Margo gingivae gerade abgetrennt (► **Abb. 11b**). So ist eine verbesserte Kraftübertragung als bei girlandenförmig ausgeschnittenen (scalloped) Alignern gewährleistet, ohne den Patientenkomfort einzuschränken [20].

Abschließend werden die Alignerränder poliert und die Schienen können eingesetzt werden.

### Diskussion

Die In-Office-Alignertherapie stellt eine entscheidende Erneuerung und eine wertvolle Ergänzung für kieferorthopädische Praxen dar. Vor 20 Jahren waren die technischen Entwicklungen und dadurch dieses Verfahren qualitativ hochwertig nicht verfügbar, lediglich eine outgesourcte Alignertherapie war unter hohen Qualitätskriterien möglich. Durch den kompletten In-Office-Workflow wird, anders als beim Bezug der Aligner durch einen externen Dienstleister, eine rasche Verfügbarkeit der Schienen ermöglicht. Dies ist insbesondere auch dann von Vorteil, wenn Kinder behandelt werden und aufgrund von durchbrechenden Zähnen ein neuer Scan notwendig wird.





► **Abb. 12 a–o** Intraorale Situation mit horizontalen Attachments auf den Zähnen 12 bis 16, 22 bis 26, 33 bis 36, 43 bis 46. Intra- und extraorale Situation bei Behandlungsbeginn mit stark transversal eingengten Zahnbögen im Ober- und Unterkiefer sowie Dreh- und Engständen. OPG mit allen Weisheitszähnen in situ, Zahn 48 stark mesial inkliniert. FRS sowie die Ricketts-Analyse.

Die Vorbereitung der digitalen Modelle kann an eine zahnmedizinische Fachangestellte oder einen Zahntechniker delegiert werden. Der Behandler hingegen hat die Möglichkeit, das Ziel-Setup und die Alignerplanung inkl. Bewegungsabfolge, Staging und Attachmentplanung selbst zu bestimmen. Neben der Diagnose und

Behandlungsplanung ist die Erstellung des Behandlungszieles, die exakte Einstellung der Okklusion, die Einzelheiten des Behandlungsablaufes, Staging und Attachmentplanung (in ► **Abb. 5–7**), also die virtuelle Behandlung das entscheidende Qualitätsmerkmal der kieferorthopädischen Behandlung in der Aligner-Orthodontie.

o

Variable	Norm	Auswertung 26.03.2019	Differenz	Standardabweichung											verbale Einschätzung										
				5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5											
Incisor overjet	2,5 ± 2,5 mm	2,9 mm	+ 0,4 mm																						
Incisor overbite	2,5 ± 2,0 mm	2,4 mm	- 0,1 mm																						
Interincisal angle	130,0 ± 6,0°	124,0°	- 6,0°																						
Convexity of A	0,0 ± 2,0 mm	0,1 mm	+ 0,1 mm																						
Lower facial height	47,0 ± 4,0°	45,8°	- 1,2°																						
6_ -PTV distance	21,0 ± 2,0 mm	12,8 mm	- 8,2 mm																						
1 <sup>-</sup> - APo distance	1,0 ± 2,3 mm	1,9 mm	+ 0,9 mm																						
1 <sub>-</sub> - APo distance	3,5 ± 2,3 mm	4,6 mm	+ 1,1 mm																						
1 <sup>-</sup> - APo angle	22,0 ± 4,0°	22,4°	+ 0,4°																						
1 <sub>-</sub> - APo angle	28,0 ± 4,0°	33,6°	+ 5,6°																						
XI-OcP	1,8 ± 3,0 mm	3,8 mm	+ 2,0 mm																						
XIPO-OcP angle	24,5 ± 4,0°	18,7°	- 5,8°																						
LL-E-plane	0,0 ± 2,0 mm	- 4,9 mm	- 4,9 mm																						
Upper lip length	24,0 ± 2,0 mm	22,7 mm	- 1,3 mm																						
Lip embrasure - occlusal plane	- 3,5 mm	4,3 mm	+ 7,8 mm																						
Facial (angle) depth	90,0 ± 3,0°	73,2°	- 16,8°	◀																					
Facial axis	90,0 ± 3,0°	92,9°	+ 2,9°																						
Conical angle	68,0 ± 3,5°	69,9°	+ 1,9°																						
Mandibular plane	27,2 ± 4,5°	36,9°	+ 9,7°																						
Maxillary depth	90,0 ± 3,0°	73,3°	- 16,7°	◀																					
Maxillary height	56,6 ± 3,0°	53,9°	- 2,7°																						
Palatal plane	1,0 ± 3,5°	10,1°	+ 9,1°																						
Cranial deflection	27,0 ± 3,0°	11,5°	- 15,5°	◀																					
Cranial length anterior	55,0 ± 2,5 mm	57,0 mm	+ 2,0 mm																						
Facial hight posterior	55,0 ± 3,3 mm	56,7 mm	+ 1,7 mm																						
Ramus position	76,0 ± 3,0°	64,4°	- 11,6°																						
Porion location	39,0 ± 2,2 mm	33,1 mm	- 5,9 mm																						
Mandibular arc	31,0 ± 4,0°	35,9°	+ 4,9°																						
Corpus length	81,0 ± 2,7 mm	60,1 mm	- 20,9 mm	◀																					

▶ **Abb. 12 a-o** Fortsetzung.

Sie wird nicht delegiert, sondern vom Kieferorthopäden durchgeführt. Dies kann innerhalb einer Lernkurve immer weiter optimiert werden, sodass die Planungsdauer im Vergleich zur Planung durch einen externen Dienstleister und die damit verbundenen stetigen Korrekturen mindestens gleich lang ist oder sogar noch unterschritten werden kann.

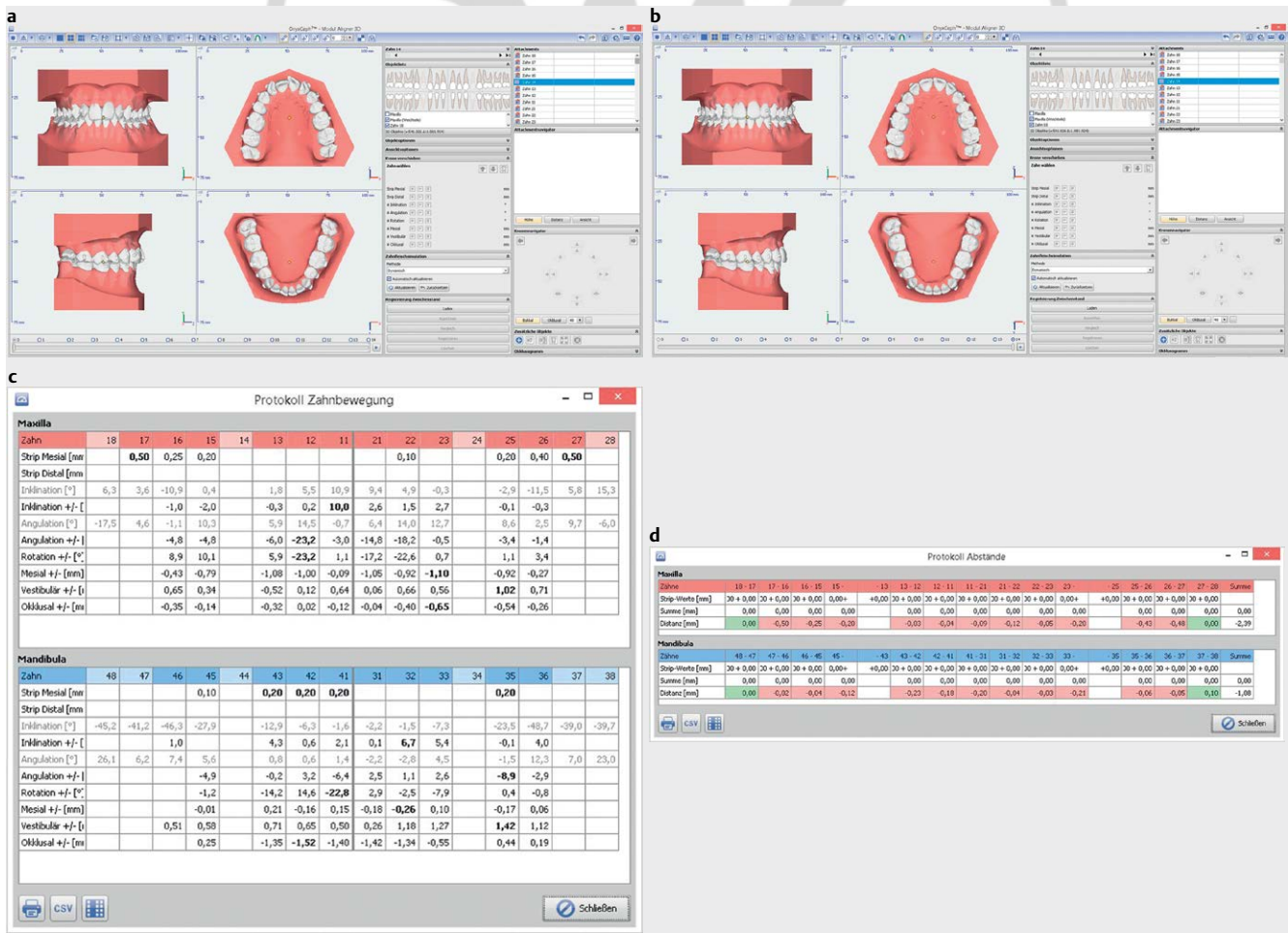
Zusätzlich zum zeitlichen Vorteil ist die Planung nicht durch künstliche Intelligenz und Algorithmen vordefiniert, sondern obliegt von vorneherein dem kieferorthopädisch tätigen Behandler, der mit Erfahrung und Wissen über Biomechanik und Wirkungsweise der verwendeten Apparatur die Zahnbewegungen beurteilen und die Planung individuell an die Patientensituation anpassen kann.

## Patientenbeispiel

Die 36-jährige Patientin stellte sich in unserer Praxis mit dem Wunsch nach ästhetischer Verbesserung vor. Die intraoralen Bilder zeigten eine Molaren-Klasse-I-Verzahnung mit stark transversal eingeebten Zahnbögen und Engständen im Ober- und Unterkiefer. Im Kindesalter wurde die Patientin mit herausnehmbaren Geräten bereits kieferorthopädisch behandelt, verbunden mit Extraktion aller ersten Prämolaren. Alle Weisheitszähne waren präsent, aufgrund der mesial gekippten Position speziell des Zahnes 48 sowie einer generellen Gingivitis wurde die Patientin zur Parodontologin überwiesen, und befand sich während und nach der kieferorthopädischen Therapie in begleitender interdisziplinärer Behandlung. ▶ **Abb. 12** zeigt die extra- und intraorale Situation bei Behand-



▶ Abb. 13 a–e Intraorale Situation mit horizontalen Attachments auf den Zähnen 12 bis 16, 22 bis 26, 33 bis 36, 43 bis 46.



▶ Abb. 14 Intraorale Situation in die OnyxCeph Software übertragen: a Behandlungsbeginn mit Attachments, b virtuell geplantes Behandlungsende mit 14 Modellen, c geplante Zahnbewegungen, d approximale Schmelzreduktion.



► **Abb. 15 a–j** Extra- und intraorale Situation bei Behandlungsende nach 28 Wochen Behandlungszeit mit transversal ausgeformten Zahnbögen in Klasse-I-Verzahnung mit physiologischem Überbiss.

lungsplanung. Das Anfangs-OPG zeigt keine weiteren auffälligen Befunde, ein FRS zeigt die in ► **Abb. 12m–o** dargestellten Werte.

Zu Behandlungsbeginn wurde auf die Zähne 12, 13, 15, 16, 17, 22, 23, 25, 26, 27 sowie im Unterkiefer auf 33 bis 36 und 43 bis 46 horizontale Attachments gebondet (► **Abb. 13**). Ein Scan wurde mit Trios (3 Shape) durchgeführt und in die OnyxCeph Software übertragen (► **Abb. 14a**).

Das virtuelle Behandlungsziel ist in ► **Abb. 14b** dargestellt. Die OnyxCeph Software zeigte eine maximale Bewegungskomponente der Oberkieferfrontzähne von  $23,2^\circ$  Angulation (► **Abb. 14c**). Auf Basis dessen wurden 14 Modelle mit jeweils 2 Biolon-Schienen (Dreve) hergestellt (0,5 und 0,75 mm). Während der Behandlung wurden Häkchen auf die Zähne 13, 23 sowie auf 36, 46 befestigt, um mit Klasse-II-Gummizügen die Verzahnung zu verbessern. ASR war notwendig, um den Platzmangel zu beheben (► **Abb. 14d**). Die Patientin wechselte die Aligner jede Woche, Gummizüge trug sie nachts sowie stundenweise tagsüber. ► **Abb. 15** zeigt das finale Behandlungsergebnis nach einer Behandlungszeit von 7 Monaten. Zur Retention werden Biolon Schienen (Dreve) (1,5 mm) nachts getragen.

## Interessenkonflikt

Die Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

## Literatur

- [1] Schupp W, Haubrich J. eds. Aligner Orthodontics. Berlin: Quintessenz; 2015
- [2] Xie X et al. Clinical evaluation of the tooth movement in aligner orthodontic treatment with and without acceleration devices: Part 1. JAO 2018; 2: 171–182
- [3] Mendoza BS, Martín GH, Jiménez CC. Finishing with clear aligner appliances: a systematic review. JAO 2018; 2: 171–182
- [4] Piergentili M et al. Pain and discomfort associated with labial multibracket appliances vs. clear aligners. JAO 2019; 3: 205–212
- [5] Haubrich J, Schupp W. Invisalign treatment in early years to avoid potential extraction treatments – case reports. JAO 2018; 2: 39–52
- [6] Castroflorio T et al., Case reports on mandibular advancement with clear aligners in growing subjects. JAO 2018; 2: 125–139
- [7] Blanck-Lubarsch M, Ehmer A, Ehmer U. Orofacial orthopaedics: background and possibility of combination with aligners. Part 1. JAO 2020; 4: 23–31

- [8] Kravitz ND et al. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 135: 27–35
- [9] Krieger E et al. Invisalign(R) treatment in the anterior region: were the predicted tooth movements achieved? *J Orofac Orthop* 2012; 73: 365–376.
- [10] Ramis MDM et al. Evaluation of Invisalign treatment using the Peer Assessment Rating (PAR) index. *JAO* 2018; 2: 13–19
- [11] Rossini G et al. Controlling orthodontic tooth movement with clear aligners. An updated systematic review regarding efficacy and efficiency. *JAO* 2017; 1: 7–20
- [12] Patzelt SB et al. Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners. *Clin Oral Investig*, 2014; 18: 1687–1694
- [13] Boyd RL, Miller RJ, Vlaskalic V. The Invisalign System in Adult Orthodontics: Mild Crowding and Space Closure Cases. *JCO* 2000; 34: 203–212
- [14] Elkholy F, Lapatki B. Recommendation of a novel film-thickness sequence, 0.4, 0.5 and 0.75 mm, for aligner systems. *JAO* 2018; 2: 295–304
- [15] Simon M et al., Treatment outcome and efficacy of an aligner technique-regarding incisor torque, premolar derotation and molar distalization. *BMC Oral Health* 2014; 14: 68
- [16] Rossini G et al., Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: A systematic review. *Angle Orthod* 2015 Sep; 85 (5): 881–889. doi: 10.2319/061614-436.1. Epub 2014 Nov 20
- [17] Krey K et al. Complete digital in office workflow for aligner treatment with a fused filament fabrication (FFF) 3D printer: Technical considerations and report of cases
- [18] Ahmad I, Al-Harbi F. Eds. *3D Printing in Dentistry 2019/2020*. Berlin: Quintessenz; 2018
- [19] Krey K et al. Behaviour of monolayer and multilayer foils in the aligner thermoforming process. *JAO* 2019; 3: 139–145
- [20] Gao L, Wichelhaus A. Forces and moments delivered by the PET-G aligner to a maxillary central incisor for palatal tipping and intrusion. *Angle Orthod* 2017; 87: 534–541

