

# Ästhetik in der digitalen Simulation

Jan Hajtó



## Indizes

„Smile design“, Ästhetik, Visualisierung, Simulation, digitales Wax-up

## Zusammenfassung

Der Beitrag zeigt anhand von Beispielen einige der derzeitigen Möglichkeiten, Zahnästhetik digital zu simulieren. Es wird auf die Unterschiede, Stärken und Schwächen der verschiedenen Methoden eingegangen.

Manuskripteingang: 23.01.2022, Manuskriptannahme: 03.02.2022

## Einleitung

Das Gebiet der Hard- und Softwareentwicklung unterliegt einem rapiden und stetigen Fortschritt. Daher kann dieser Beitrag nur eine unvollständige Momentaufnahme liefern und die gezeigten Beispiele können in wenigen Monaten bereits überholt oder sogar nicht mehr verfügbar sein. Um Ästhetik in der digitalen Simulation behandeln zu können, ist es zunächst erforderlich zu definieren, was genau mit „Ästhetik“ gemeint ist. Ebenso müssen auch mögliche verschiedene Zielsetzungen bei der „Simulation“ unterschieden werden.

## Ästhetik

Dentale Ästhetik lässt sich in verschiedene Dimensionen untergliedern. Die Mund-, Kiefer-, Gesichts- und plastische Chirurgie bedient sich bereits seit Jahren erfolgreich der 3-D-Simulation mithilfe von Gesichtsscans und Computertomografie (CT), um Umstellungskorrekturen und andere plastische Eingriffe zu planen und zu simulieren<sup>4</sup>. Dieser für den Allgemeinzahnarzt weniger relevante Bereich soll in diesem Beitrag jedoch ausgeklammert werden.

Für den Praxisalltag bedeutsam ist die Gestaltung eines Lächelns im vorhandenen Patientengesicht. Für die „Auf-

stellung“ der Zähne einschließlich der gingivalen rosafarbenen Ästhetik in Bezug zu Gesichtsebenen, Lippen und bukkalen Korridoren hat sich inzwischen der Begriff „Smile design“ allgemein etabliert<sup>3</sup>.

Auch auf der Ebene einzelner Zähne, wo das Ziel nicht in einer kompletten Veränderung des Erscheinungsbilds der Zahnreihe („smile makeover“) besteht, sondern ästhetische Probleme einzelner Zähne korrigiert werden sollen, ist eine Simulation sinnvoll und möglich.

## Simulation

Simulation lässt sich unterscheiden nach der Art bzw. Qualität der Simulation sowie nach dem beabsichtigten Ergebnis.

### Mögliche Ausführungen einer Simulation werden im Folgenden dargestellt:

#### Auf digitalen Fotografien in 2-D

1. einfach: Auch eine Zeichnung oder das Anlegen eines Rasters bzw. von Konturen stellt bereits eine Simulation dar, jedoch eine grafisch-abstrakte.
2. mittel: Hierbei handelt es sich um eine näherungsweise Darstellung der neuen Situation.

**Abb. 1** 2-D-Smiledesign in Apple Keynote. Hierbei werden Konturen natürlicher Zähne auf einer intraoralen Frontalaufnahme überlagert. Sind die tatsächlichen Dimensionen der Zähne bekannt, können Lineale entsprechend kalibriert und die exakten Ausmaße der geplanten Veränderungen abgemessen werden (Abb. mit freundlicher Genehmigung von Antonio Tavares).



3. realistisch: Hierbei handelt es sich um eine fotorealistische, vom tatsächlichen Endergebnis kaum zu unterscheidende Visualisierung.
4. physikalisch: Hierbei kommt kalibrierte Hardware im Sinne von Messtechnik zum Einsatz, um Zahnfarben simulieren, kommunizieren und reproduzieren zu können.

#### Auf 3-D-Scans von Zähnen (Labor- oder Intraoralscan)

1. einfach: Hierbei handelt es sich um ein digitales Wax-up, wo die vorhandenen Zähne oder Zahnfleischanteile durch neue Formen in einfarbiger Darstellung überlagert oder ersetzt werden.
2. realistisch: Hierbei handelt es sich um einen einfachen 3-D-Scan wie oben beschrieben, bei dem jedoch zusätzlich Farbe, optische Eigenschaften, Oberflächenstrukturen, Reflexionen und Beleuchtungsverhältnisse möglichst getreu der Ausgangssituation dargestellt werden.

#### Kombinationen aus 2- und 3-D

Digitalfotos und Videos können mit 3-D-Datensätzen (Zahn- und Gesichtsscans) zusammengeführt und überlagert werden. Hierzu gehören auch sogenannte „Augmented reality“-Lösungen, die diese Zusammenführung in Echtzeit leisten können.

#### Physische Objekte

3-D-Simulationen können wieder als physische Objekte hergestellt werden.

#### Mögliche Zwecke einer Simulation können sein:

1. „motivational“ Die Simulation dient dazu, dem Patienten ein mögliches Endergebnis vor Augen zu führen und ihm dadurch die Behandlungsentscheidung zu erleichtern.

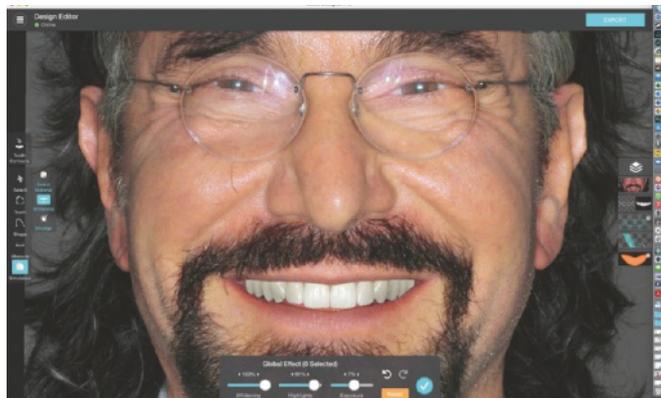
2. Analyse und Planung: Mithilfe der simulierten Veränderungen lässt sich der korrekturbedürftige Zustand besser analysieren und darauf basierend eine belastbarere Planung erstellen.
3. Kommunikation: Die Simulation dient dazu, um den Austausch mit Labor, Patienten und beteiligten Spezialisten zu erleichtern.

### Beispiele derzeit verfügbarer Möglichkeiten

Im Nachfolgenden sollen anhand einiger aktueller Lösungen konkrete Beispiele für die oben genannten Kategorien dargestellt werden.

#### Zweidimensionale abstrakte Simulation

Das bekannteste Beispiel hierfür ist das klassische „Digital smile design“ nach Christian Coachman<sup>2,6</sup>. Beim „Smile design“ werden Raster, Hilfslinien oder Konturen der neuen Zahnformen auf Fotos überlagert. Diese Fotos können extraorale Aufnahmen des Gesichts oder der Mundpartie und intraorale Aufnahmen der Zahnreihen aus verschiedenen Ansichten sein. In der Regel erfolgt die Darstellung in der Frontalansicht, die so die Überprüfung nach den bekannten fundamentalen, objektiven und ästhetischen Kriterien nach Belser ermöglicht<sup>1</sup>. Technisch ist dies in jedem Computerprogramm möglich, das eine Überlagerung von Grafikelementen in mehreren Ebenen auf Scans oder Digitalfotos erlaubt. Präsentations- (z. B. Microsoft Powerpoint, Apple Keynote) oder Bildbearbeitungsprogramme (z. B. Adobe Photoshop) sind hierfür besonders gut geeignet. In Abbildung 1 ist ein in Apple Keynote erstelltes Beispiel dargestellt.



**Abb. 2** Einfache 2-D-Simulation in Smile Designer Pro (Fa. Tasty Tech, Toronto, Kanada) mit zahnfarbener Darstellung und einigen wenigen Anpassungsmöglichkeiten, z. B. Sichtbarkeit der voreingestellten Reflexionen, Farbintensität und Belichtung.



**Abb. 3** Beispiel einer 2-D-Simulation in Adobe Photoshop. Es wurden die Zähne 14, 12-22 und 24 verändert.

Der Hauptzweck dieser Methode liegt in der Analyse, Planung und fachlichen Kommunikation mit dem Zahn-techniker oder Chirurgen. Zur Überzeugung des Patienten sind die abstrakten Umrisslinien nicht geeignet. Anfängern hilft es dabei, mithilfe vorgegebener idealer Konturen Abweichungen vom Ideal sofort zu erkennen.

### Zweidimensionale einfache Simulation

Seit Jahren existieren diverse Computerprogramme, die speziell auf „Digital smile design“ zugeschnitten sind und in der Regel weitere besondere Funktionen enthalten, die dem Anwender die Bedienung erleichtern sowie zusätzliche Möglichkeiten bieten<sup>8</sup>. Dies sind beispielsweise

- automatische horizontale Ausrichtung verdrehter Bilder,
- automatische Erkennung von Gesichtskonturen und Merkmalen,
- Bereitstellung von Zahnformbibliotheken (2-D),
- einfache Kalibrierung und Lineale,
- einfaches Ausschneiden der Lippenkonturen,
- spezielle Werkzeuge und Referenzlinien und insbesondere
- eine zahnfarbene Darstellung der neuen Zähne mit der Möglichkeit, einige Parameter wie z. B. Sättigung und Helligkeit anzupassen (Abb. 2).

Damit gehen solche Programme über die reine Planung hinaus und sind auch dazu gedacht, Patienten mögliche Behandlungsergebnisse vor Augen zu führen. Je nach Qualität der Simulation ist dies mehr oder weniger gut möglich. Die Qualität hängt dabei neben den technischen Möglichkeiten der Programme auch von der Qualität und Beleuchtung des Ursprungsbilds ab. Da diese Aufnahmen naturgemäß je nach Kamera, Licht und Anwender stark variieren können, stoßen diese möglichst einfach zu bedienenden Programme häufig an Grenzen und es ist keine wirklich gute farbliche Simulation umsetzbar. Abbildung 3 zeigt eine derartige Darstellung, wie sie z. B. das Programm Smile Designer Pro (Fa. TastyTech, Toronto, Kanada) derzeit bietet. Gegenüber Standardanwendungen sind diese Programme mit etwas höheren Kosten verbunden, da entweder pro Fall oder pro Zeitraum Gebühren erhoben werden.

### Zweidimensionale fotorealistische Simulation

Die derzeit noch besten Werkzeuge, um fotorealistische 2-D-Simulationen zu erstellen, sind professionelle Bildbearbeitungsprogramme wie z. B. Adobe Photoshop<sup>7,9</sup>. Diese Programme wurden über Jahrzehnte hinweg genau dazu fortentwickelt, um Bilder visuell zu verbessern oder nicht Vorhandenes bildhaft zu erzeugen. Sie verfügen über eine sehr große Zahl an Werkzeugen und Bearbeitungsmöglichkeiten. Insbesondere die Möglichkeit, gezielt Stellen aus dem Ausgangsbild oder aus anderen idealen Bildern an eine andere Stelle zu kopieren, erlaubt eine fotorealistische Simulation (vgl. Abb. 3). Verfügt man über Digitalfotos eigener schöner Versorgungsungen, so lassen sich diese relativ zeitsparend in eine andere Situation einfügen und durch kleinere Veränderungen anpassen. Wenn die beiden Aufnahmen mit der gleichen Kamera, mit Blitz und Einstellungen angefertigt wurden, dann stimmen die Reflexionen,



**Abb. 4** Ansprechende, einigermaßen realistische Darstellung der neuen Zähne in smilecloud (Fa. Smilecloud Restorative Biometrics, Timișoara, Rumänien). Die auf Basis künstlicher Intelligenz (KI) vorgenommene Formerzeugung liefert recht viele und davon noch einige unbrauchbare Vorschläge.

Weißabgleich und andere Parameter bereits gut überein. Solche Visualisierungen sind sehr gut als „motivational imaging“ geeignet.

Der Hauptnachteil liegt in der Komplexität und im Funktionsumfang der Programme, die für Experten gedacht sind. Hier ist auch zu überlegen, wer das durchführen soll, zumal auch zahnmedizinisches und zahntechnisches Wissen erforderlich ist. Diese Programme beinhalten zunächst keine Zahnkonturen oder Bibliotheken und erfordern es daher, dass der Anwender die ästhetischen Kriterien idealerweise vollständig verinnerlicht hat. Die Kosten solcher Programme sind überschaubar, die Lernkurve eher lang und der Zeitaufwand relativ groß. Andererseits ist es nicht notwendig, sämtliche Funktionen zu erlernen. Mit ca. 20 bis 30 Werkzeugen lassen sich alle gewünschten Veränderungen hinreichend gut vornehmen.

Einige der derzeit verfügbaren „Smile design“-Lösungen verfügen ebenfalls über inzwischen recht ansprechende Visualisierungen (vgl. Abb. 3). Besonders interessant sind aktuelle Ansätze, die Simulationen mithilfe künstlicher Intelligenz (KI) verbessern und für den Anwender vereinfachen. Smilecloud (Fa. Smilecloud Restorative Biometrics, Timișoara, Rumänien) verwendet KI zur Auswahl der Zahnformen (Abb. 6.), während dentrino (Fa. TastyTech) mittels KI Form und Farbe neu berechnet. Beides sind Online-Angebote. Bei beiden Lösungen sind derzeit noch Schwächen erkennbar, da die KI eine „Black box“ ist, deren Wirkungsweise und Ergebnisse durch den Anwender nicht wirklich durch Einstellungen beeinflusst werden können. Smilecloud bietet als Ergebnis eine außergewöhnlich große

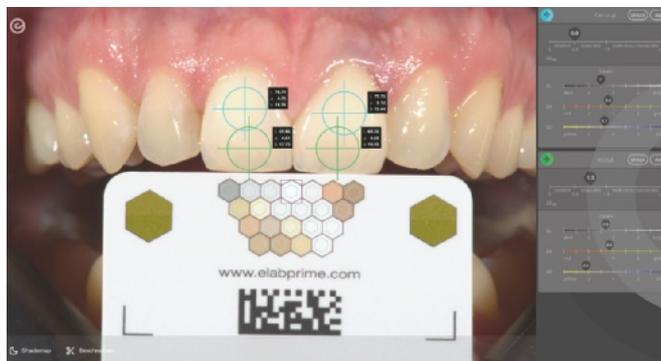


**Abb. 5** Ergebnisse von Berechnungen durch KI in dentrino (Fa. TastyTech). Die Software befindet sich zurzeit in der Betaphase.

Anzahl von teilweise auch ungewöhnlichen und unregelmäßigen Formvorschlägen an, aus denen der Anwender auswählen kann (Abb. 4). Bei dentrino werden derzeit ebenfalls zum Teil noch suboptimale Ergebnisse generiert, insbesondere bei extremen Ausgangsbildern (Abb. 5 untere Reihe). Aufgrund der vielversprechenden ersten Ansätze ist zu erwarten, dass KI bei richtigem Einsatz in Zukunft helfen wird, bessere ästhetische Vorschläge zu erzeugen.

### Zweidimensionale messtechnische Farbanalyse

Zu den Innovationen in der Zahnmedizin zählen ebenfalls Systeme zur digitalen Erfassung und Simulation der Zahnfarbe zum Zweck der labortechnischen Umsetzung, z. B. das eLab-System (Fa. eLab Prime, Freiburg i. Br.). Basierend auf einem standardisierten Protokoll für die Dentalfotografie ermöglicht das eLab-System die exakte Bestimmung der Zielzahnfarbe für ästhetisch anspruchsvolle Einzelzahnversorgungen. Nach Empfang des rohen Bildmaterials („raw“) aus der Praxis generiert die eLab-Software ein patientenspezifisches Mischungsrezept für den Zahntechniker oder die Zahntechnikerin, welches anstatt auf Farbringen auf dem  $L^*a^*b^*$ -Farbraum basiert. Eine besonders hilfreiche Eigenschaft ist die sogenannte digitale Einprobe. Sie ermöglicht es, die Restauration in beliebigen Fertigungsstadien digital einzuprobieren – nicht nur um einen visuellen Eindruck von der klinischen Integration zu erhalten, sondern auch um mithilfe der quantitativen Analyse Optimierungsmaßnahmen ableiten zu können, bevor die fertige Restauration an die Praxis ausgeliefert wird<sup>5</sup> (Abb. 6).



**Abb. 6** Fertige Restauration von Zahn 21 in situ. Durch die quantitative Natur des eLab-Systems ist ein hohes Maß an Farbsicherheit und Überprüfbarkeit gewährleistet (zahntechnische Arbeit von ZTM Matthias Kronwitter, Lauingen).

## Dreidimensionales digitales Wax-up – einfach dargestellt

Auf den Abbildungen 7 und 8 sind Beispiele für eine derartige, einfarbig flächenschattierte Darstellung von digitalen Wax-ups zu sehen. Derartige Simulationen finden sich inzwischen in einer Vielzahl unterschiedlicher Programme. Zum einen ist die technische Repräsentation schon immer integraler Bestandteil eines jeden 3-D-Programms gewesen und sämtliche dentale „Computer-aided design“ (CAD)-Programme stellen neu gestaltete Zähne mindestens auf diese Weise dar, z. B. smile creator (Fa. exocad, Darmstadt; Abb. 8) oder 3shape (Kopenhagen, Dänemark). Zum anderen verfügen nichtdentale 3-D-Programme wie z. B. geomagic (Fa. 3D Systems, Rock Hill, SC/USA) oder 3-D-Animationspakete und sogar kostenlose 3-D-Programme über entsprechende Funktionen und können verwendet werden, um 3-D-Modelle von Zähnen zu positionieren, zu verändern und neue Objekte zu erstellen. Solche Programme verfügen allerdings nicht über die für dentale Zwecke optimierten Bearbeitungswerkzeuge und Workflows.

Da inzwischen 3-D-Softwarefunktionen und -module allgemein verfügbar geworden sind, erweitern ursprünglich reine 2-D-„Smile design“-Programme derzeit immer mehr ihren Funktionsumfang um diese Möglichkeit (Abb. 7). Dabei ist allerdings festzustellen, dass mit zunehmender Anzahl der Funktionen auch die Anzahl und Komplexität der Bedienelemente steigt und die Benutzeroberflächen meist nicht gewohnten Standards von 3-D-Designprogrammen entsprechen.

Umgekehrt ergänzen die etablierten dentalen CAD-Programme ihre Funktionen zunehmend um Digitalfotos, „Smile design“ und Visualisierung (Abb. 9). In beiden Fällen geht die Entwicklung dahin, alle möglichen Medien (diverse Scans, 3-D-Formate, Fotos, digitale Volumentomografie,

Röntgenbilder, Kieferbewegungsaufzeichnungen, Videos etc.) und Funktionen (Analyse, Planung, Zahnbibliotheken, Modellation, Okklusionsanalysen, Implantatplanung, Weichgewebekorrekturen etc.) in einem Programm zusammengeführt anzubieten.

## Dreidimensionale fotorealistische Simulation

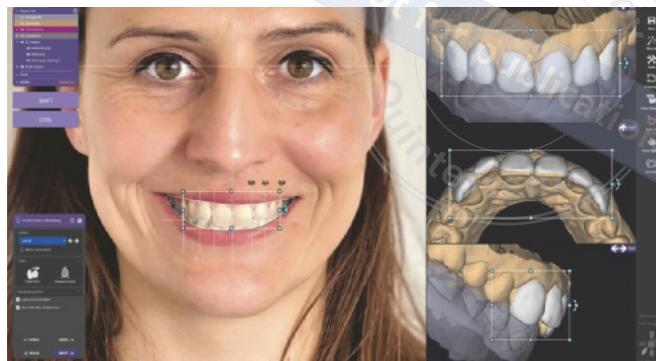
Einer der auffälligen Schwachpunkte der derzeitigen Lösungen liegt allerdings in der Qualität der fotorealistischen Darstellung von virtuellen 3-D-Zähnen. Zähne sind optisch extrem komplexe Strukturen mit einer Vielzahl von internen lichtphysikalischen Phänomenen wie z. B. Lichtleitungseffekten, Anisotropie, Beugung, Brechung, Opaleszenz sowie feinste Farb- und Oberflächencharakteristika. Dies nachzurechnen („physikalisches Rendering“) erfordert äußerst hohe Rechenleistungen oder ausgefeilte „Shader“, Texturen und Beleuchtungseffekte. Dies kann momentan von spezialisierten 3-D-Künstlern in aufwendiger Arbeit umgesetzt werden, jedoch noch nicht auf automatische und einfache Weise von dentalen Simulationsprogrammen.

## „Augmented reality“

„Augmented reality“-Systeme ermöglichen es, dass unmittelbar in einem Bewegtbild – sei dies ein aufgezeichnetes Video oder eine Live-Wiedergabe z. B. an einem PC, Tablet oder Smartphone – ein neues virtuelles Objekt eingeblendet wird, wobei es allen Bewegungen und idealerweise auch Belichtungsverhältnissen folgt. Seit einigen Jahren entwickelt die Firma Kapanu (Zürich, Schweiz) eine solche Anwendung (Abb. 10). Die App ist unter dem Namen Ivosmile verfügbar. Es werden dabei Zahnbibliotheken verwendet oder auch die Zähne des Patienten modifiziert. Als einfach anzuwendender „magischer Spiegel“ kann dem Pa-



**Abb. 7** Beispiel für eine einfarbige, matt dargestellte 3-D-Simulation, in diesem Fall in der Smiledesign-Software (Fa. smileFy, Hallandale Beach/FL, USA). Es handelt sich um ein ursprünglich 2-D-Smiledesign-Programm, welches sich derzeit immer mehr in Richtung dentales „Computer-aided design“ (CAD) entwickelt.



**Abb. 8** Der smile creator (Fa. exocad, Darmstadt) als Beispiel für die Implementation des klassischen 2-D-Konturen-Smiledesigns in ein dentales CAD-Programm. Die 3-D-Zahnmodelle der neuen Zähne werden als Konturen oder zahnfarben kolloriert und beleuchtet. Sie werden in den 3-D-Fenstern, in denen auch ein Digitalfoto hinzugefügt werden kann, angezeigt.



**Abb. 9** Kombination eines 3-D-Gesichtscans mit dem virtuellen Wax-up im smile creator. Immer mehr Aspekte des Patienten werden nach und nach zu einem kompletten virtuellen Patienten zusammengeführt.



**Abb. 10** „Augmented reality“ (Ivosmile, Fa. Kapanu, Zürich, Schweiz): Die neuen Zähne – in diesem Fall aus einer Anteriores-Zahnbibliothek – werden live in ein Video eingeblendet und folgen den Bewegungen der Kamera und des Patienten.

tienten auf diese Weise eine alternative Option schnell und einfach vor Augen geführt werden. Somit eignet sich dieses Tool insbesondere für eine „motivational simulation“.

## Fazit

Die uns heute zur Verfügung stehenden Möglichkeiten bieten Praktikern brauchbare bis hervorragende Lösungen für jeden Zweck. Aufgrund der Zahl der verschiedenen Angebote und der stetigen Weiterentwicklung ist es für den Einzelnen nicht ganz einfach, die individuell beste Auswahl zu treffen.

Der Autor selbst verwendet in erster Linie Adobe Photoshop für ein „motivational imaging“ und vor allem wegen der einfachen Bedienbarkeit Smile Designer Pro für eine

grobe Orientierung der Stellung und Proportion der Zähne bei der Ästhetikplanung. Mit dieser Vorinformation arbeitet dann der Zahntechniker weiter. Je nach persönlichen Vorlieben, Prioritäten, Arbeitsweisen, Praxiskonzepten, Laborabläufen etc. können andere Programme besser geeignet sein.

Besonders hervorzuheben ist der außerordentliche Zeitvorteil von digitalen Wax-ups. Die neuen Zähne müssen nicht mehr in mühevoller Handarbeit einzeln aufgewacht werden, sondern natürliche Zahnformensammlungen werden digital mit all ihren Details nur noch im Situationsscan positioniert und angepasst und können außerdem schnell durch Alternativen ausgetauscht oder derart modifiziert werden, dass rationell mehr als ein Vorschlag erstellt werden kann.

## Literatur

1. Belser UC. Esthetics checklist for the fixed prosthesis. Part II : Biscuit-bake try-in. In: Schärer P, Rinn LA, Kopp FR (Hrsg). Esthetic guidelines for restorative dentistry. Chicago: Quintessence 1982:188–192.
2. Coachman C, Calamita M. Digital smile design: A tool for treatment planning and communication in esthetic dentistry. Quintessence Dent Technol 2012;35: 101–109.
3. Davis NC. Smile design. Dent Clin North Am 2007;51(2):299–318, vii.
4. Donaldson CD, Manisali M, Naini FB. Three-dimensional virtual surgical planning (3D-VSP) in orthognathic surgery: Advantages, disadvantages and pitfalls. J Orthod 2021;48(1):52–63.
5. Hein S, Modrić D, Westland S, Tomeček M. Objective shade matching, communication, and reproduction by combining dental photography and numeric shade quantification. J Esthet Restor Dent 2021;33(1): 107–117.
6. Jafri Z, Ahmad N, Sawai M, Sultan N, Bhardwaj A. Digital smile design – An innovative tool in aesthetic dentistry. J Oral Biol Craniofac Res 2020;10(2):194–198.
7. McLaren EA, Garber DA, Figueira J. The photoshop smile design technique (part 1): Digital dental photography. Compend Contin Educ Dent 2013;34(10):772,774,776 passim.
8. Omar D, Duarte C. The application of parameters for comprehensive smile esthetics by digital smile design programs: A review of literature. Saudi Dent J 2018;30(1):7–12.
9. Sundar MK, Chelliah V. Ten steps to create virtual smile design templates with Adobe Photoshop CS6. Compend Contin Educ Dent 2018;39 (3):e4–e8.



### Jan Hajtó

Dr. med. dent.  
Dentalteam Dr. Hajtó  
Briennerstraße 7  
80333 München

Jan Hajtó

#### Korrespondenzadresse:

Dr. Jan Hajtó, E-Mail: hajto@dental-team-hajto.de