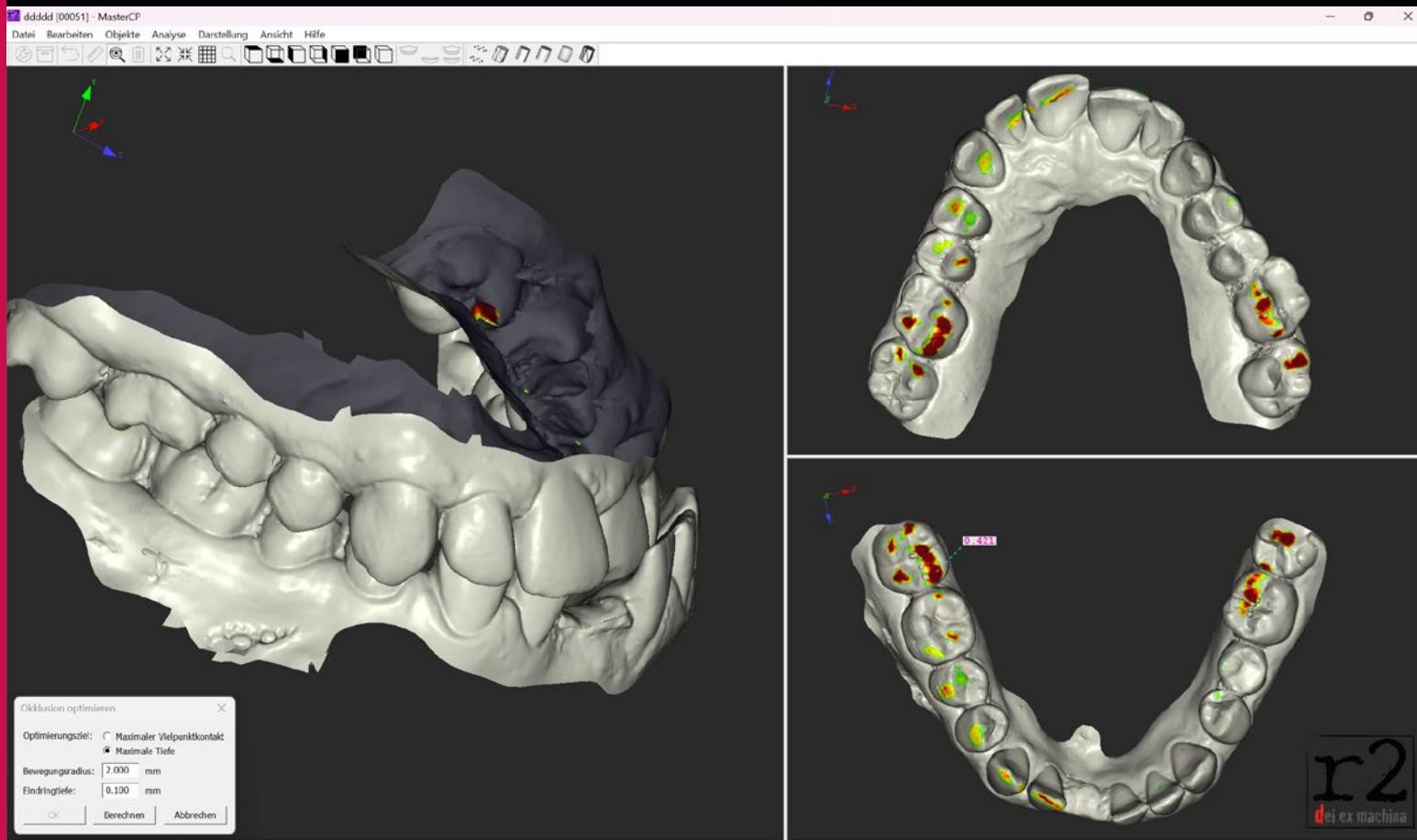


Okklusionskorrektur – ein Fall für künstliche Intelligenz?

RALPH RIQUIER, ANDREAS GESEWSKY



Einleitung

Durch den immer häufiger werdenden Einsatz von Intraoralscannern (IOS) müssen sich Dentallabore verstärkt mit vorwiegend digitalen Arbeitsabläufen auseinandersetzen. Digitale Datenkontrolle der Arbeitsunterlagen als erster Arbeitsschritt wird hierbei immer wichtiger. Vor Arbeitsbeginn sollte die im Analogen obligate Meisterkontrolle auch digital durchgeführt werden (Abb. 1). Verschiedene Softwarelösungen bieten hierzu die notwendigen Tools an, um Bisslagen zu korrigieren, Scan-Artefakte zu beseitigen, Präparationsgrenzen von Überlagerungen durch Gingiva oder Speichel zu beseitigen und freizulegen oder Radierungen inklusive Reduzierkäpchen zu erstellen (Abb. 2 und 3).

Einsatz

Die Funktion der Bisslagekorrektur ist hierbei ein Arbeitsschritt, der immer mehr in den Fokus gerät. Fehlerhaftes Matching (Zusammenlegen von Daten) des Kieferscans in den Vestibulärscan ist hierbei häufige Ursache. Hervorgerufen werden diese Fehler zumeist durch zu kleine Ausdehnung des Vestibulärscans oder Bewegung des Unterkiefers während des Scavorgangs. Softwarelösungen wie BiteFinder (Fa. Bite-Finder, Basel, Schweiz) oder MasterCP (Fa. r2 dei ex machina, Hamburg) ermöglichen die Korrektur des entstandenen Versatzes vom Unterkiefer zum Oberkiefer durch Verfahren, die auf künstlicher Intelligenz (KI) basieren. Wobei Bite-Finder eine reine Online-Anwendung ist, MasterCP hingegen wird auf dem lokalen Rechner (PC) installiert.

Zusammenfassung

In der Zahnmedizin werden immer häufiger Intraoralscanner verwendet. Viele Hersteller bewerben ihre Produkte mit dem Schlagwort „künstliche Intelligenz“ (KI), die in der Lage sei, fehlerhafte Okklusion zu berichtigen. Der Beitrag erklärt, was künstliche Intelligenz von maschinellem Lernen unterscheidet, welche Möglichkeiten diese Optionen bieten und warum der Blick eines erfahrenen Technikers/ einer erfahrenen Technikerin dennoch notwendig bleibt.

Indizes

Okklusion, Okklusionskontrolle, künstliche Intelligenz, maschinelles Lernen, Meisterkontrolle

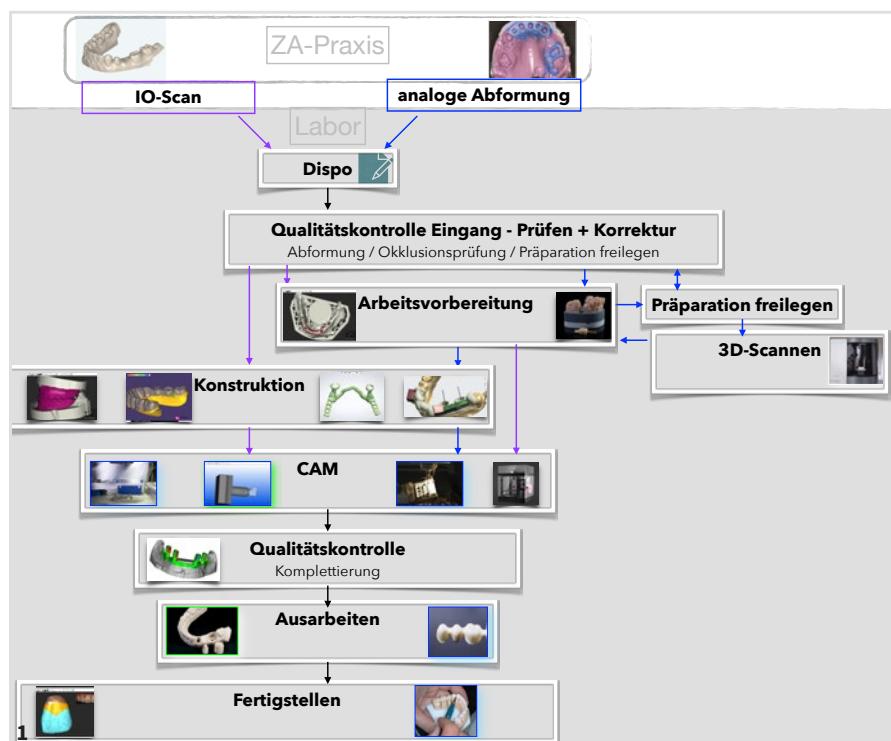


Abb. 1 Ob analog oder digital: Meisterkontrolle zu Beginn jeder Arbeit.

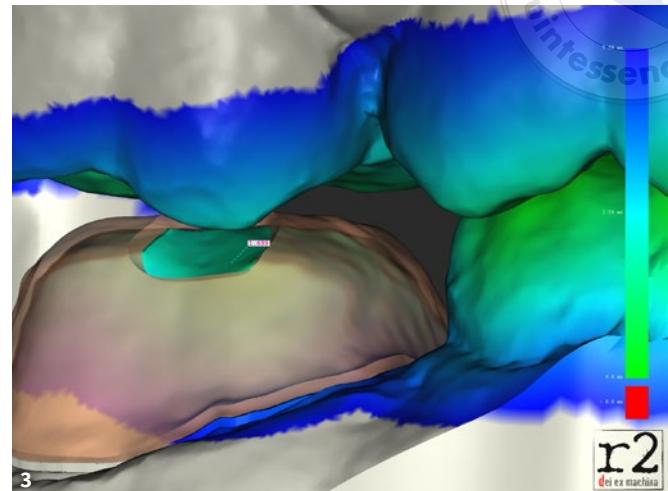
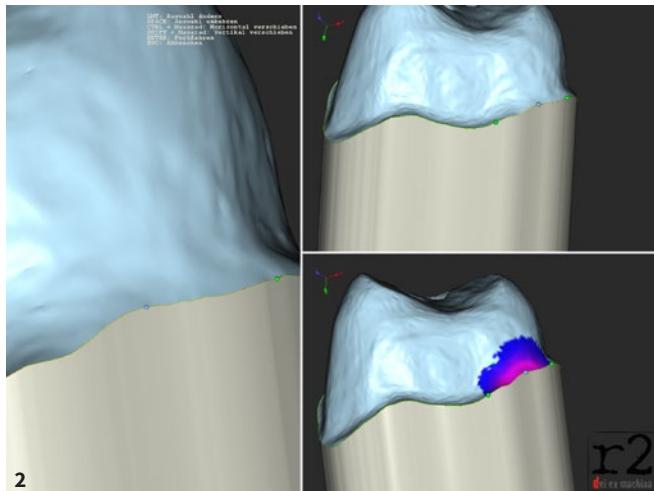


Abb. 2 Kontrolle und Freilegen der Präparationsgrenze. **Abb. 3** Bei zu geringem Platzangebot wird eine Einschleifkappe generiert.

Was ist eine KI-Lösung?

Künstliche Intelligenz (KI) ist ein Bereich der Informatik, der versucht, menschliches Denken nachzuahmen. KI-Systeme analysieren Daten, erkennen Muster und treffen Entscheidungen – ähnlich wie unser Gehirn, aber mit der Rechenpower eines Computers.

Es gibt zwei Hauptwege, wie KI funktioniert:

- regelbasiert: Hier wird fest programmiert, wie das System auf bestimmte Eingaben reagieren soll.
- maschinelles Lernen (ML): Die KI lernt eigenständig aus Daten und verbessert sich mit der Zeit.

Was ist maschinelles Lernen?

Maschinelles Lernen (ML) ist ein Teilbereich der KI. Statt dass jemand explizit vorschreibt, wie das System funktionieren soll, erkennt es eigenständig Muster in Daten und entwickelt sich weiter. Das Prinzip ist einfach:

- Das System bekommt eine große Menge an Beispieldaten.
- Es erkennt Muster und Strukturen darin.

- Es nutzt dieses Wissen, um zukünftige Daten besser zu verstehen oder Voraussagen zu treffen.

Überwachtes versus unüberwachtes Lernen

Es gibt zwei wichtige Ansätze im maschinellen Lernen:

- überwachtes Lernen: Die KI bekommt Daten mit vorgegebenen Antworten. Zum Beispiel lernt sie, Bilder von Hunden und Katzen zu unterscheiden, indem sie viele gekennzeichnete Bilder sieht.
- unüberwachtes Lernen: Die KI bekommt nur Daten, aber keine Vorgaben. Sie soll selbst Muster erkennen, zum Beispiel Gruppen von Kunden mit ähnlichem Kaufverhalten finden.

Deep Learning – das nächste Level

Deep Learning ist eine spezielle Form des maschinellen Lernens, die besonders leistungsfähig ist. Es nutzt sogenannte künstliche neuronale Netzwerke, die das menschliche Gehirn

nachahmen. Das funktioniert folgendermaßen:

- Eingangsschicht: Die KI erhält Rohdaten, zum Beispiel ein Bild.
- mehrere Verarbeitungsschichten: Jede Schicht des Netzwerks erkennt neue Details, zum Beispiel Formen, Farben oder Muster.
- Ausgangsschicht: Am Ende gibt die KI ein Ergebnis aus, zum Beispiel „Das ist eine Katze“.

Worin liegt der Unterschied?

Der größte Unterschied zwischen klassischem maschinellem Lernen und Deep Learning ist die Art, wie mit Daten umgegangen wird:

- Klassisches ML braucht strukturierte Daten (zum Beispiel eine Tabelle mit Zahlen) und oft menschliche Hilfe, um wichtige Merkmale zu definieren.
- Deep Learning kann selbst unstrukturierte Daten wie Bilder oder Sprache verarbeiten, weil es eigenständig Merkmale erkennt.

Kurz gesagt: Klassisches maschinelles Lernen ist wie ein Schüler, der klare An-

Tab. 1 Vor- und Nachteile von KI-Lösungsansätzen (Quelle: <https://datasolut.com/was-ist-deep-learning>).

	Machine Learning	Deep Learning
Datenstruktur	strukturierte Daten	unstrukturierte und strukturierte Daten
Datensatzgröße	klein – groß	groß
Hardware	funktioniert mit einfacher Hardware.	Braucht leistungsstarke Computer (mit GPUs); neuronale Netze multiplizieren Matrizen, die sehr viel Rechenzeit brauchen – GPUs beschleunigen den Vorgang.
Feature Extraktion	Sie müssen die Merkmale in der Regel verstehen.	Sie müssen die Merkmale nicht verstehen.
Laufzeit	ein paar Minuten bis Stunden	Bis zu Wochen und Monaten; künstliche neuronale Netze müssen enorm viele Gewichte berechnen.
Interpretierbarkeit	Einige Algorithmen sind leicht zu interpretieren (logistische Regression, einfache Entscheidungsbäume), andere sind fast unmöglich (SVM, XGBoost).	schwer zu interpretieren und oft unmöglich

weisungen braucht, während Deep Learning eher wie ein Forscher ist, der eigenständig Zusammenhänge entdeckt.

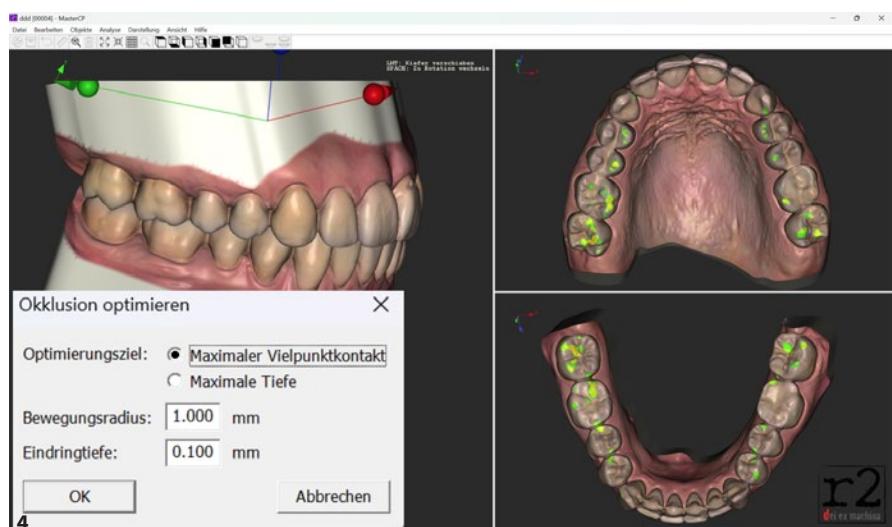
Vor- und Nachteile der einzelnen KI-Lösungsansätze können wie in Tabelle 1 zu sehen klassifiziert werden.

Anwendung

MasterCP kombiniert regelbasierte KI mit dem maschinellen Lernen. Hierbei wird zuerst das analoge Vorgehen ei-

nes Meisters/Technikers bei einer Bisskorrektur durch den Algorithmus imitiert. Die tiefstmögliche Verzahnung wird durch Auseinanderlegen und erneutes Zusammenführen ermittelt. Hierbei werden sowohl Verschiebungen als auch die Rotation des Unterkiefers in allen Achsen, ausgehend von der Okklusionsebene, berücksichtigt. Im zweiten Schritt wendet das System die relevanten Kontaktbeziehungen an, die es durch „Teachon“ gelernt hat, um

ein optimiertes Ergebnis zu erzielen. Da der Algorithmus zum Teil regelbasiert ist, lassen sich durch Definitionen unterschiedliche Resultate erzeugen. Zum einen gibt es die Möglichkeit, die Bisskorrektur auf „tiefst mögliche Verschlüsselung“ oder auf „maximalen Vielpunktkontakt“ auszurichten (Abb. 4). Um bei Freiendsituationen keine Gingivaanteile in die Berechnung mit einfließen zu lassen, kann der Suchradius zusätzlich eingeschränkt werden (Abb. 5 bis 10). Um

**Abb. 4** KI-basierte Korrektur auf maximale Tiefe oder maximalen Vielpunktkontakt.

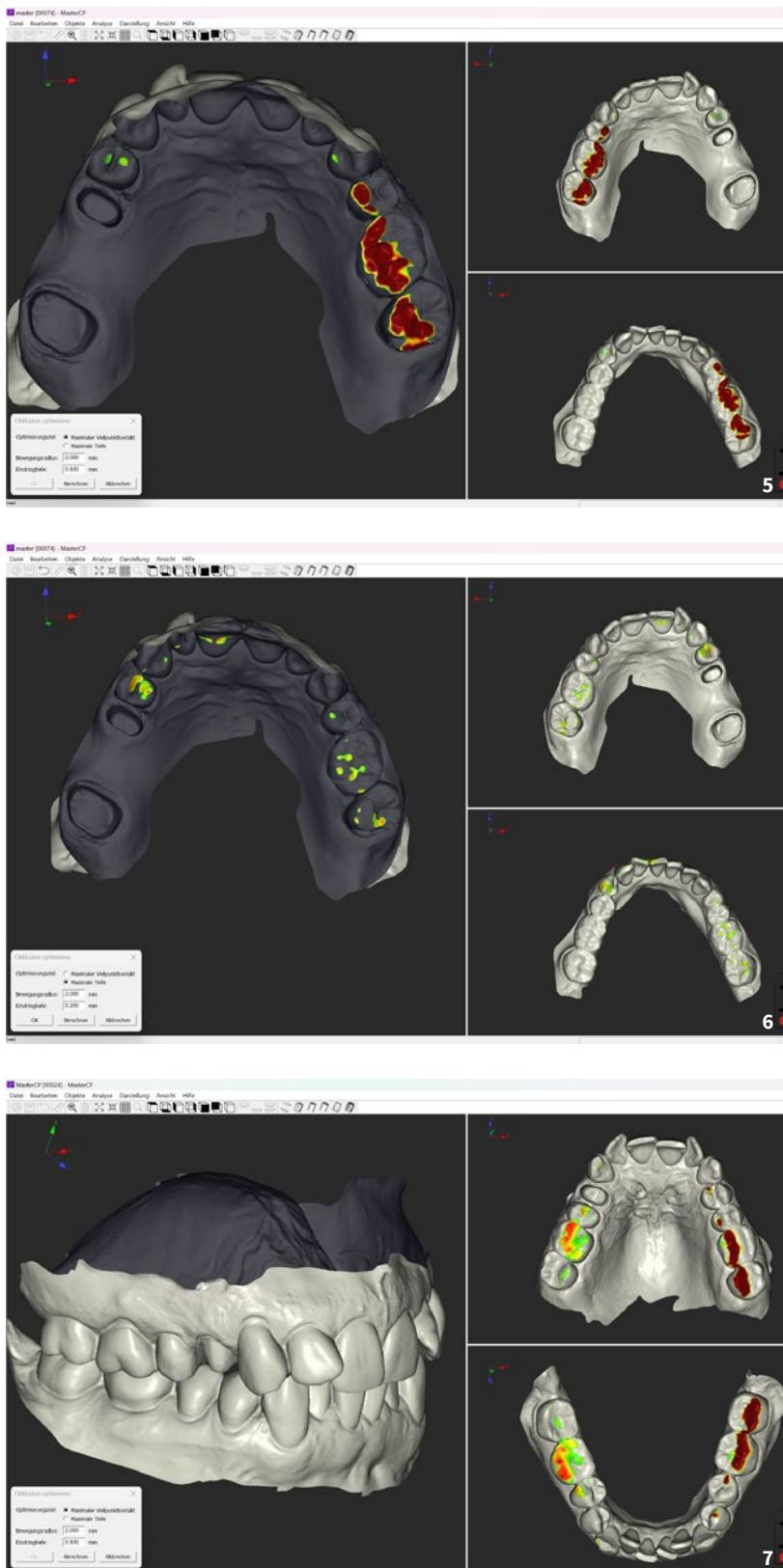


Abb. 5 Kieferbezogenes prozentuales Einschleifen. **Abb. 6** Ausgangssituation: Einseitig starke Durchdringungen, Gegenquadrant ohne okklusale Kontakte. **Abb. 7** KI-Berechnung der Korrektur.

ein Einschleifen zu ermöglichen, lassen sich die Kiefer zueinander bis zu einem festgelegten Wert durchdringen. Diese Durchdringungen werden dann entsprechend einer prozentualen Angabe von dem jeweiligen Kiefer abgezogen (Abb. 11).

Ein IO-Scan mit Farbinformation, bei dem im Vorfeld intraoral die Kontaktpunkte mit Okklusionsfolie markiert wurden, ist eine sehr gute Möglichkeit, um die Kieferlage zu verifizieren. Dies kann dann einfach im Labor anhand des digitalen Durchdringungsprotokolls erfolgen (Abb. 12).

Zusammenfassung

KI-unterstützte Bisslagekorrektur bietet eine Möglichkeit, fehlerhafte Lagezuordnungen neu zu justieren. Der Begriff KI vereint verschiedene Verfahrensweisen, um eine Problemlösung zu generieren. Welche Form des unter dem Oberbegriff KI eingesetzten Verfahrens in einer Software wirklich Anwendung findet, ist häufig nicht ersichtlich.

Der Einsatz von KI-Lösungen erweitert die zahntechnische Anwendung nicht nur im Bereich der Bilderkennung/Segmentierung oder bei administrativen Prozessen, sondern auch in der CAD-Konstruktion/Funktion. Das Beheben einer fehlerhaften Bissregistrierung ist hierbei ein Ansatz, bei dem eine gut „geteachte“ KI optimierte Ergebnisse erzielen kann. Trotz der fortschrittlichen Möglichkeit, KI-basierte Verfahren zur Bisslagekorrektur einzusetzen, bleibt die Verifizierung des Korrekturergebnisses auf der Anwenderseite. Attrition durch Angewohnheiten, fehlerhafte ältere Restaurationen, Zahnbeweglichkeit etc. können die Ergebnisse negativ beeinflussen. Grundsätzlich muss eine Abstimmung im Behandlerteam erfolgen.

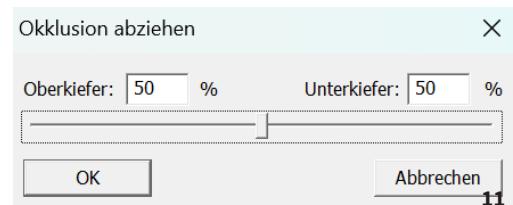
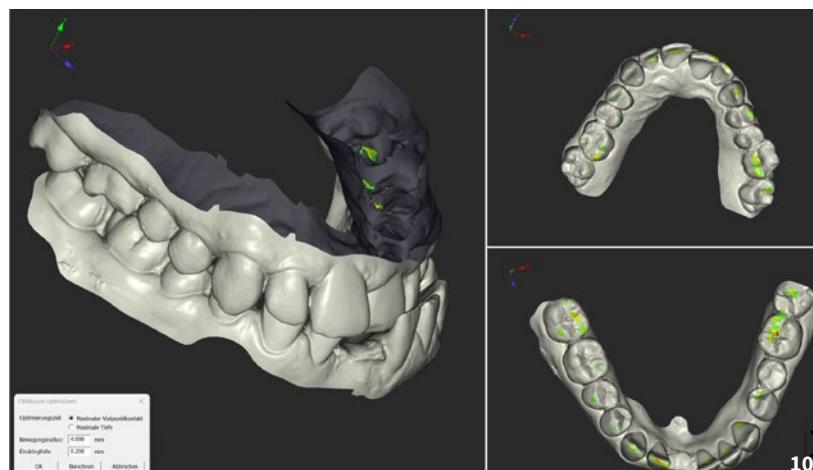
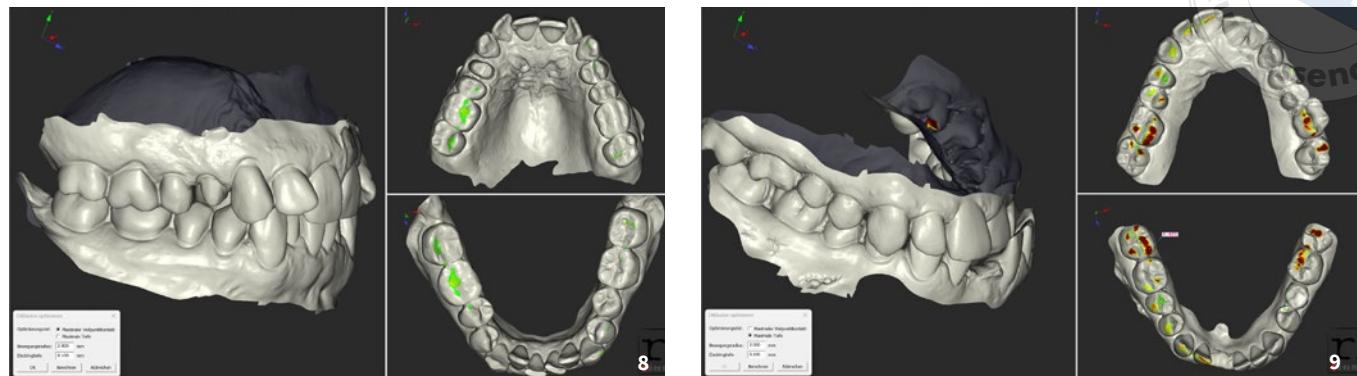
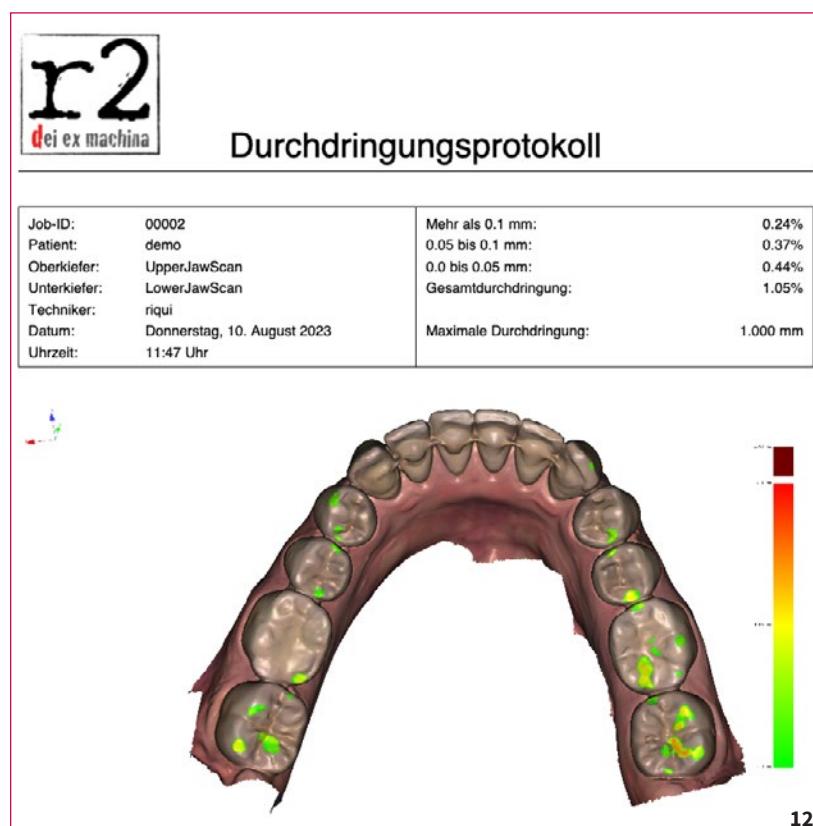


Abb. 8 Ausgangssituation mit einseitig zu starken Durchdringungen. **Abb. 9** Ausgeglichene Situation nach KI-Berechnung. **Abb. 10** Ausgangssituation mit beidseitig zu starken Durchdringungen.

Abb. 11 Korrigierte Situation nach KI-Berechnung.

Abb. 12 Durchdringungsprotokoll zur Auswertung der okklusalen Kontakte nach Farbscan.



Ralph Riquier

ZTM
r2dental, CAD/CAM-Consultant
Korrespondenzadresse:
Niemandsberg 77
75196 Remchingen
E-Mail: riquier@r2dental.de

Andreas Gesewsky

Dipl.-Inform.
r2 dei ex machina
Hamburg