

Intraoralscanner im Alltags-Feldtest ZTM Peter Kappert, DentalAlliance

Alles im grünen Bereich?

Intraoralscanner (IOS) werden den Markt verändern. Das kann als gesichert angesehen werden. Die Idee, einen realistischen IOS-Alltags-Feldtest durchzuführen, resultierte aus vielen Gesprächen mit unseren Kunden und den Gesellschaftern der DentalAlliance nach der diesjährigen Internationalen Dental-Schau (IDS). Dabei ging es um die Frage: „Welches IOS-System sollen wir uns zulegen?“

In der Diskussion kristallisierten sich folgende Fragestellungen heraus:

- Mit welchem Scanner können ganze Kiefer gescannt werden? Ein wichtiger Aspekt unter anderem für die Konstruktionen von Schienen und Suprakonstruktionen. Und kann unser DFC-Diagnose-System ohne Probleme sofort integriert werden?
- Welcher Scanner generiert absolut freie STL-Files ohne Qualitätsverlust?
- Welcher Scanner ist im Praxisalltag gut zu handeln, zudem preislich attraktiv, was die Updates und Nebenkosten angeht?

Maßgeblich ausschlaggebend für unsere Initiative war allerdings die Frage:

- Welche Relevanz haben die Aussagen in den „Hochglanzprospekten“ der Anbieter der IOS-Systeme? Im Umkehrschluss wollten wir letztlich die Frage beantwortet wissen: Halten die Scanner das, was die Hersteller im Prospekt versprechen? Der pure Selbstschutz vor Kaufenttäuschungen und ungenauen Scan-Ergebnissen hat uns bewogen, einen extrem aufwendigen und vor allem neutralen Test zu initiieren. Letztlich ging es uns darum, etwas „Licht“ in die derzeit am Markt meistdiskutierte Frage zu bringen: „Abformung – konventionell oder digital?“

Um diese Aufgabe anzugehen, beschäftigten wir uns mit bereits vorliegenden wissenschaftlichen

Studien. Da wir einige Dissertationen für das Klinikum der Justus-Liebig-Universität Gießen (Direktor: Prof. Dr. Bernd Wöstmann) begleitet haben, lag es nahe, Teile der dort angewandten Prüfmethodik einfließen zu lassen.

Als Maßstab unseres Feldtests formulierten und kommunizierten wir folgende Vorgaben:

- Es wird ausschließlich auf einem NEM-Prüfmodell gescannt.
- Phase 1: Es wird nur einmal gescannt. Die Daten werden per offenem STL-File an uns gesendet (Mail oder Stick).
- Phase 2: Aus Signifikanz-Korrektheit werden sieben Scans hintereinander erfasst (Datenübertragung siehe Phase 1).
- Drei Prüfkörper werden für die Bewertung durch die Juroren (Zahnärzte und Zahntechniker) geätzt.
- Die Prüfungen durch die Juroren finden unter anderem nach dem bekannten Sheffield-Test statt.
- Die digitale Bewertung (Matching mittels des Prüfprogramms *Geomagic* nach der Best-fit-Methode) wird von drei verschiedenen Firmen auf die Testphasen 2 und 3 angewendet.

Studienlage

Alle erwähnten Studien und Testgrafiken sind bei uns einsehbar; aus Platzgründen können sie hier leider nicht komplett zitiert werden. Aktuelle Studien kommen zu dem Schluss, dass moderne

Intraoralscanner konventionellen Abformungen überlegen sind.

Gemäß einer großangelegten Studie von Dr. Ingo Baresel und ZTM Florian Schmidt (Vergleichsstudien Passgenauigkeit, Oktober 2015) entschieden wir uns für eine „In-vitro-Feldstudie“. Es galt, bei diesem Test jegliche Möglichkeit einer Manipulation auszuschließen. Dazu gehörte, dass alle anfallenden Kosten und der Arbeitsaufwand aus Gründen der absoluten Unabhängigkeit von uns gestemmt wurden.

Die Vorgehensweise

Sieben führende Anbieter von IOS-Systemen wurden angefragt, ob sie sich einem Feldtest nach unseren Vorstellungen (NEM-Modell, geometrische, zahnähnliche Formen) stellen möchten (Abb. 1). Nach Bekanntgabe und Zusendung der Prüfkörper (per Bild oder physisch) sagten uns bedauerlicherweise vier Anbieter ab. An unserem IOS-Feldtest nahmen teil:

- 3M True Definition Scanner (3M Deutschland)
- Cerec AC Connect (Dentsply Sirona)
- 3Shape Trios III Color (3Shape)

Für die Jurorentätigkeit konnten insgesamt 24 Juroren, darunter vereidigte Gutachter (Zahnärzte, ZT, ZTM und Laborinhaber) gewonnen werden. Eine neutrale Person (kein Juror) nahm die Codierungen vor. Es wurde darauf geachtet, dass die dafür benutzten Buchstaben oder Zahlen – N9, 07 und R4 – keine Rückschlüsse auf das jeweilige System zuließen.

Als Prüfmethode (vergleiche Viktor Sichwardt, Dissertation 2014) übernahmen wir folgende Rahmenbedingungen, die wir mit unseren Vorgaben ergänzten:

- Raumtemperatur: 23 Grad Celsius \pm 1
- NEM-gefrästes Urmodell (Verhinderung von Abrasionen), matt angestrahlt
- Scanner *Imetric 104i* (als Prüfscanner geeignet)
- CNC-Maschine *DWX 50* und *51d* (Roland)
- STL-Files-Export der gewonnenen Scan-Daten in unser *Exocad*-Programm
- Digitale Prüfmethode: Best-fit-Analyse (Verwendung bei neuen Studien)
- Prüfung durch die Juroren nach der Sheffield-Methode (White, 1993); Überprüfung einer Spaltbildung zeigt Passung oder Fehlpassung eindeutig auf.

Das von uns konzipierte Urmodell unterschied sich durch seine Geometrie bewusst von realen Bedingungen. Damit wurde gewährleistet, die Grenzen der Intraoralscanner auszutesten. Eine für Zahntechniker wichtige Komponente, das di-

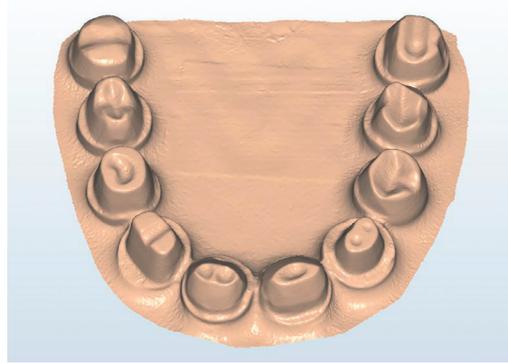


Abb. 1: Der digital konzipierte Prüfkörper



Abb. 2: Die gefrästen Prüfkörper



Abb. 3: Ein Juror bei der Arbeit

gitale Mastermodell, galt es, ebenfalls auf Wiederholungsqualität zu prüfen.

Exkurs: gedruckte Modelle

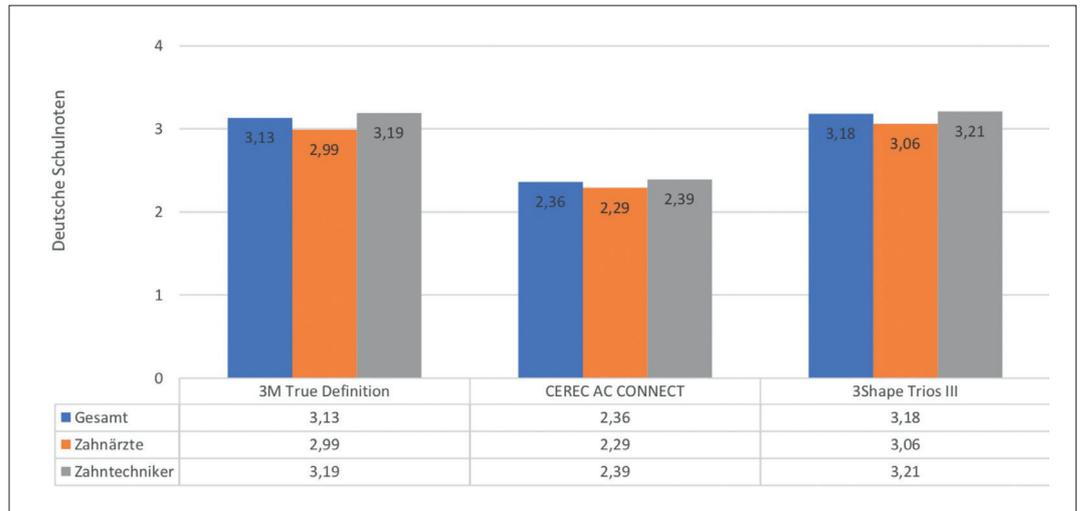
Von dem Datensatz des Originalprüfkörpers wurden für die Signifikanz-Analyse sieben stereolithografische Modelle in Auftrag gegeben (Drewe Dentamid). Ergebnis: Alle gelieferten Modelle wiesen Abweichungen unterschiedlicher Art auf. Man spricht in der Industrie gerne von „Trägermodellen“, das heißt, diese Modelle sind nur für eine Kontrolle geeignet, nicht zur Fertigung von Zahnersatz.

Anmerkung unseres Juroren, der den weitesten Weg auf sich genommen hat:

„Die Prüfung und Beurteilung der klinischen Brauchbarkeit von zahntechnischen Werkstücken unterschiedlicher Größenordnung, die nach Scan-Erfassung mit drei verschiedenen Intraoralscannern hergestellt worden sind, ist eine hochaktuelle Studie, in die ich gerne meine klinische Erfahrung einbracht habe, da die Vermeidung von Erwartungseinflüssen durch die Juroren insofern gegeben war, als man eine Codierung der jeweiligen Scanner vorgenommen hatte.“

Prof. Dr. Wolfgang Richter, Luzern/Schweiz

Abb. 4: Bewertung nach Jurorengruppen



Der NEM-Prüfkörper wurde mit dem nicht validierten, aber weltweit anerkannten *Imetric-104i*-Scanner gescannt und als Basis-Original im STL-Format gespeichert. Die Scans der IOS-Systeme wurden von Mitarbeitern der Hersteller vorgenommen.

Die Parameter für die zu fräsenden Prüfkörper wurden für alle Fräsungen wie folgt definiert: Abstand 0,01 mm – Ausblocken 0,00 mm – Fräseradius 0,7 mm – periphere Dicke 1,5 mm – okklusale Dicke 1,8 mm – Glättung 10. Die Prüfkörper wurden in der Länge mit nur wenigen Millimetern gestaltet, um eine einwandfreie Prüfung auf Passung und Verzug (Sheffield-Test) sicherzustellen.

Als Prüfkörper wurden 10er-, 4er- und 3er-Anteile mittels *Exocad* konstruiert. Wir entschieden uns für ein durchsichtiges PMMA-Material (*CopraTemp clear*, WhitePeaks Dental Solutions). Die Transparenz des Materials ermöglichte eine objektivere Beurteilung (Abb. 2).

Die A-Fräsungen wurden auf der neuen *DWX 51d* bei dem CNC-Hersteller Roland in Willich vorgenommen. Zudem wurden im DentalAlliance-Fräszentrum alle codierten Prüfkörper auf einer kalibrierten *DWX 50* gefräst – auch diese B-Varianten flossen mit in die Bewertung der Juroren ein. Jedem Scan wurden eine eigene Ronde und jeweils neue Fräser zugeordnet. Die Codierungsnummern wurden mit eingefräst, um Verwechslungen auszuschließen.

Die Prüfmethoden

- Pass- und Sheffield-Prüfung der drei gefrästen Prüfkörper durch die Juroren
- rein digitalbasierte Prüfung (Matching, Zusammenführen der Daten) nach der Best-fit-Me-

thode durch externe Firmen. Dieses Verfahren dürfte als die objektivste Methode für eine Bewertung gelten. Die gefrästen Prüfkörper wurden am 30. August 2017 von den Juroren aus den Ronden gelöst und die Testphase wurde eröffnet. Jeder Juror bewertete seine Prüfergebnisse nach dem deutschen Schulnotenprinzip von 1 – sehr gut, bis 6 – ungenügend (Abb. 3). Nach intensiver Begutachtung wurden die Prüfkörper jeweils in einen neuen Umschlag gegeben, mit Namen und Unterschrift des Prüfers versehen und versiegelt.

Hier die Aufschlüsselung der Codierungen:

- O7 – *3M True Definition*
- N9 – *Cerec AC Connect*
- R4 – *3Shape Trios III*

Test 1 – Ergebnis der physikalischen Prüfung durch Juroren

Die Bewertung durch die Juroren ergab in der Gesamtbetrachtung einen leichten Vorteil für das *Cerec*-System. Fast deckungsgleich, mit minimalen Unterschieden, lagen der *3Shape Trios III* und der *True Definition* von 3M zusammen. Interessant war, dass alle Juroren – unabhängig ob Zahnarzt oder Zahntechniker – keine signifikanten Abweichungen in ihren Bewertungen feststellten.

Die Juroren gingen methodisch unterschiedlich an die Testaufgabe heran. Bei den Zahntechnikern stand die Frage im Vordergrund: Ist das Objekt mit wenigen Schleifintervallen (die Objekte kamen ja direkt aus der CNC-Maschine) perfekt passend zu bekommen? Bei den prüfenden Zahnärzten stellte der Sheffield-Test (sind die Prüfkörper lagestabil?) ein wichtiges Kriterium dar. Die Klemmwirkung der Objekte war für die Zahnärzte ein bestimmendes Prüfelement, das unter-

Abb. 5: Camlog,
Test 2 Gesamtbewertung
(Maße in Millimetern)

Camlog				
Gesamtbewertung 1 Scan				
System	Wert +	Wert -	mittlere Abweichung	Standard-abweichung
Cerec AC	0,1	0,1	0,022 - 0,016	0,027
Trios III	0,1	0,1	0,031 - 0,024	0,035
True D. 3M	0,3	0,2	0,064 - 0,49	0,078

Abb. 6: KLIB,
Test 2 Gesamtbewertung
(Maße in Millimetern)

KLIB				
Gesamtbewertung 1 Scan				
System	Krone Standard-abweichung	Brücke Standard-abweichung	Schiene Standard-abweichung	durchschnittliche Abweichung
Cerec AC	0,0215	0,0217	0,0281	0,024
Trios III	0,0161	0,0262	0,0356	0,025
True D. 3M	0,0216	0,0296	0,087	0,046

schiedlich benotet wurde, während die Zahn-techniker stets den Aufwand im Fokus hatten, das Objekt durch wenige Schleifmaßnahmen zu optimieren. In der Summe jedoch deckten sich die Bewertungen beider Juroren-Gruppen fast (Abb. 4).

Test 2 – Matching-Prüfung eines Scans nach der Best-fit-Methode

Die Matching-Analysen Test 2 wurden mittels des *Geomagic*-Programms durch unabhängige Firmen wie Camlog und das Ing.-Büro KLIB vorgenommen. Das Ing.-Büro KLIB hat auf unseren Wunsch hin aus dem Gesamtscan zusätzlich einen Einzelzahn, eine Brücke und eine Schiene mittels des Prüfprogramms analysiert (Abb. 5 bis 12).

Ergebnis und Bewertung der Matching-Prüfung

In der Bewertung der Testphase 1 und 2 gingen wir im Vorfeld davon aus, dass es zu Abweichun-

gen zwischen dem subjektiven, manuellen Juroren-Test und den objektiven, digitalen Bewertungen mittels des *Geomagic*-Programms kommen müsste. Mitnichten! Das *Geomagic*-Programm lässt unterschiedliche Vorgehensweisen zu, was unseren Test erheblich aussagekräftiger macht. Camlog wertete auf elf Seiten je IOS-System jede minimale Abweichung statistisch und mit sich erklärenden Farbverläufen aus (vergleiche beispielhaft Abbildung 7).

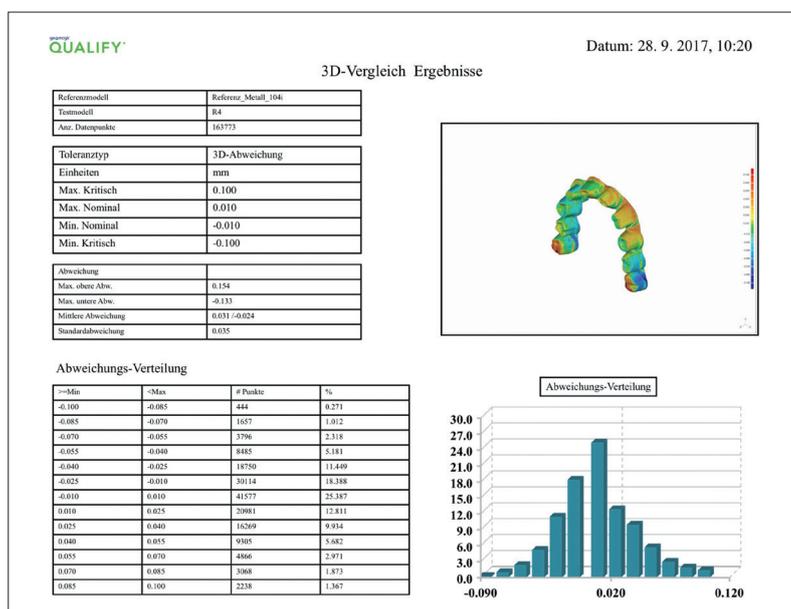
Das Ing.-Büro KLIB wertete zusätzlich aus dem kompletten Scan die Varianten „Krone – Brücke – Schiene“ aus. Beide Wertungen ergaben ein fast deckungsgleiches Ergebnis. Bei Camlog wie bei KLIB lag in der Gesamtbewertung „Test 2“ das *Cerec-AC*-System mit einer durchschnittlichen Abweichung von unserem Referenzscan (*Imetric*) mit 0,026 an der Spitze (siehe Abbildungen 5 und 6).

In der Einzelkronenbetrachtung von KLIB lag der Scan vom *Trios III* mit einer minimalen Abweichung von nur 0,016 mm vor den Scans von 3M und *Cerec AC* mit 0,021 mm. In der Brückenbewertung bei drei Anteilen lagen alle drei Scans mit einer Abweichung von 0,02 mm gleichauf. Ein signifikant perfektes Ergebnis. Von der DGZ-MK wurde 1999 eine Stellungnahme herausgegeben, wonach die Randschlussgenauigkeit bei Kronen 100 µm nicht überschreiten soll (von Kerschbaum/Faber in 2001 untermauert). Das als Maßstab genommen, liegen alle Messergebnisse bei den IOS-Systemen im absolut grünen Bereich.

Test 3 – Ergebnis und Bewertung der Scan-Wiederholbarkeit

Die dritte Testphase auf Basis von sieben Scans zeigte in den Analysen auf, wie qualitativ verlässlich die einzelnen Scans der IOS-Systeme sind.

Abb. 7: Geomagic-Analyse (Camlog) am Beispiel R4, Trios III



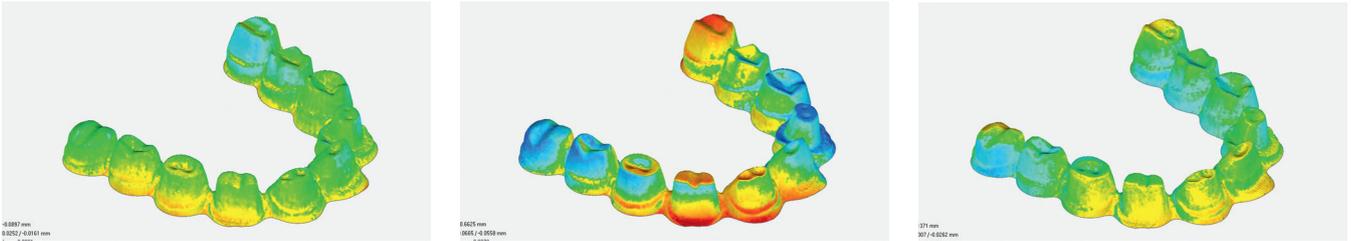


Abb. 8 bis 10: KLIB, Erklärung der Farbverläufe: Je heller der Farbverlauf (grün-gelb-blau-rot) desto weniger Abweichung von unserem Referenzscan, je dunkler der Farbverlauf, desto größer ist die Abweichung zu bewerten.

Alle Scan-Wiederholungen wurden nacheinander unter Aufsicht genommen. Wir möchten anmerken, dass es bei dem fünften Cerec-AC-Scan Stromprobleme gab. Das hat uns aus Fairness-Gründen bewogen, bei allen Systemen den schlechtesten Wert zwar sichtbar darzustellen, ihn allerdings aus der Bewertung zu nehmen (Abb. 13 bis 16).

Unsere erste Erkenntnis: Unser Referenzscanner *Imetric 107i* wurde, nach der Analyse zu urteilen, zurecht aus qualitativen Gründen (10-fach genauer als alle getesteten IOS-Scanner) von uns ausgewählt. In den Wiederholungen gab es eine Abweichung von nur 0,005 bis 0,007 mm. Kein Intraoralscanner weist nur annähernd einen sol-

chen Wert auf (vergleiche **Abbildung 13**).

Die Erkenntnis Nummer 2: Ist es „Russisch Roulette“, sich auf einen Scan zu verlassen? Wenn von 21 Scans der drei Topsysteme definitiv sechs Scans (etwa 28 Prozent) weit über der magischen 100-Mikrometer-Vorgabe liegen, wie soll das zu bewerten sein? War es purer Zufall oder Glück, dass die Scans der Testphase 1 und 2 einfach nur im optimalen, qualitativ akzeptablen Bereich lagen? Im Arbeitsalltag ist es kaum zumutbar, mehrere Scans zu nehmen, auswerten zu lassen, um irgendwann die Frage beantworten zu können, welcher Scan der optimale ist.

Dr. Horst Beyer (CEO Imetric) hat jeweils den ersten Scan als Referenz genommen und mit den anderen Scans in der Wiederholbarkeit verglichen. Ludger Klein (Camlog) hat den Vergleich über den ersten *Imetric*-Scan (auch in Testphase 1 und 2) vorgenommen. Somit haben wir einen weiteren aussagefähigen Testansatz. In der Analyse von Camlog kann sich bei sechs gewerteten Scans der *Trios III* mit 0,05 mm Abweichung als Sieger fühlen, gefolgt vom *True Definition* mit 0,14 mm und dem *Cerec AC* mit 0,16 mm Abweichung. Die Wiederholungsanalyse der Firma Imetric sieht den *True Definition* im RMS-Wert (Quadratisches Mittel) mit 0,07 mm vor dem *Trios III* mit 0,11 mm und dem *Cerec AC* mit 0,15 mm Abweichung vorne.

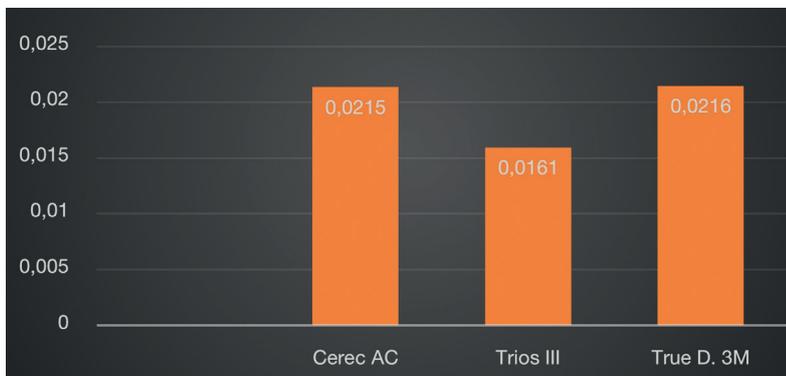


Abb. 11: Bewertung KLIB, Standardabweichung Krone

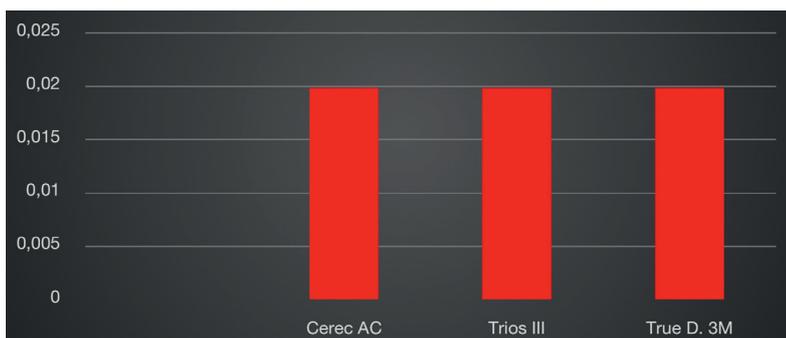


Abb. 12: Bewertung KLIB, Standardabweichung Brücke (abgerundet)

In der zusätzlichen Bewertung aller sieben Scans (*Imetric*-Referenzscanner), basierend auf der Bewertung von drei Anteilen (Abb. 17), liegt der *Trios III* mit 0,12 mm vorne – *Cerec AC* 0,16 mm und *True Definition* 0,20 mm. Die Scan-Ergebnisse lagen weit auseinander (siehe **Abbildungen 14 bis 16**). Dennoch lassen die Ergebnisse eine Bewertung zu. Betrachtet man die besten Scans, liegt der *Cerec AC* mit 0,019 mm vorne, gefolgt vom *Trios III* mit 0,026 mm und dem *True Definition* mit 0,085 mm. In einer Negativ-Tabelle ist der *Cerec AC* mit 0,55 mm, gefolgt vom *Trios III* mit 0,242 mm und dem *True Definition* mit 0,226 mm, zu bewerten. Seltsam, was Platz 1 positiv und Platz 1 negativ angeht, verhält sich aber so.

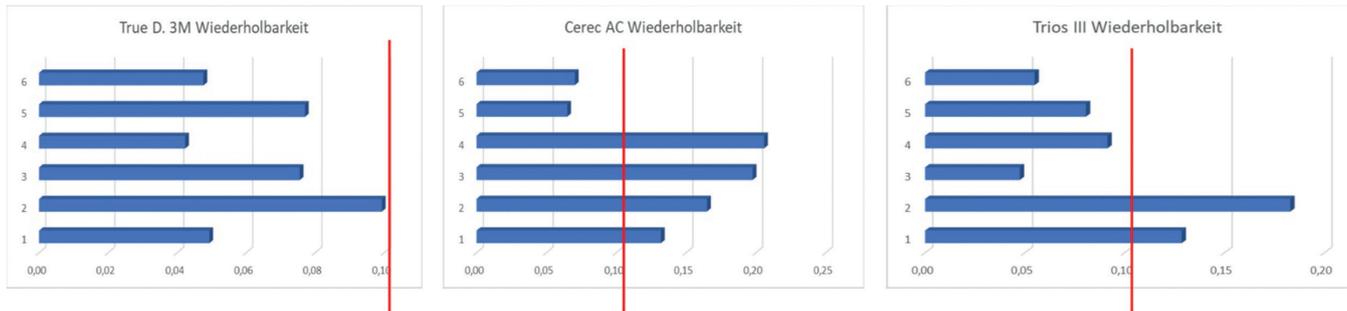


Abb. 13: Wiederholbarkeit der IOS-Systeme (Analyse durch die Firma Imetric). Die rote Linie zeigt die Grenze (Toleranz DGZMK) von 100 Mikrometern oder 0,10 Millimetern an.

Abb. 14 bis 16:
Abweichungen der
Systeme (Analyse
durch Camlog)

3D Matching Camlog - Analyse Ref.: imetric 104i zum CEREC AC		Einheiten in mm Scan	mittlere Abweichung	maximale obere Abweichung	maximale untere Abweichung	Standard- abweichung	
Durchschnittliche 3D - Abweichung CEREC AC	Cerec AC - 1		0,061 -0,052	0,322	0,233	0,075	
	Cerec AC - 2		0,168 -0,127	0,844	0,522	0,2	
	Cerec AC - 3		0,216 -0,150	1,165	0,608	0,243	
	Cerec AC - 4		0,330 -0,220	1,883	1,21	0,406	
	Cerec AC - 5		0,482 -0,310	2,184	1,351	0,55	Minus
	Cerec AC - 6		0,020 -0,016	1,015	2,62	0,036	
	Cerec AC - 7		0,017 -0,012	0,144	0,076	0,019	BEST
Bewertung ohne Scan 5			0,218				
Bester Scan 0,019		0,16	mit allen 7 Scans				

3D Matching Camlog - Analyse Ref.: imetric 104i zum TRIOS III		in mm Scan	mittlere Abweichung	maximale obere Abweichung	maximale untere Abweichung	Standard- abweichung	
Durchschnittliche Abweichung TRIOS III	Trios III - 1		0,042 -0,041	0,295	0,187	0,053	
	Trios III - 2		0,071 -0,072	0,0397	0,307	0,092	
	Trios III - 3		0,192 -0,163	0,739	0,744	0,242	Minus
	Trios III - 4		0,019 -0,021	0,177	0,125	0,026	BEST
	Trios III - 5		0,045 -0,040	0,372	0,213	0,058	
	Trios III - 6		0,037 -0,036	0,203	0,254	0,046	
	Trios III - 7		0,029 -0,023	0,252	0,109	0,034	
Bewertung ohne Scan 3			0,079				
Bester Scan 0,026		0,05	mit allen 7 Scans				

3D Matching Camlog - Analyse Ref.: imetric 104i zum True Definition		Einheiten in mm Scan	mittlere Abweichung	maximale obere Abweichung	maximale untere Abweichung	Standard- abweichung	
Durchschnittliche Abweichung True Definition 3M	True Def. - 1		0,108 -0,101	1,409	0,444	0,137	
	True Def. - 2		0,108 -0,094	1,142	0,38	0,13	
	True Def. - 3		0,182 -0,164	1,279	0,62	0,226	Minus
	True Def. - 4		0,069 -0,057	1,239	0,184	0,085	BEST
	True Def. - 5		0,122 -0,113	1,433	0,503	0,156	
	True Def. - 6		0,153 -0,148	1,365	0,962	0,201	
	True Def. - 7		0,088 -0,078	1,051	0,366	0,11	
Bewertung ohne Scan 3			0,149				
Bester Scan 0,085		0,14	mit allen 7 Scans				

Danksagung

Wir danken den teilnehmenden Firmen, dass sie sich diesem mit Schwierigkeitsgraden gespickten Test gestellt und uns bezüglich der Testmodalitäten völlig freie Hand gelassen haben.

Unser Dank gilt den Juroren für ihren persönlichen Zeiteinsatz. Wir danken Dr. Baresel für einige Zitate, und zu guter Letzt möchten wir uns bei Daniel Winkelmann (Ing.-Büro KLIB), Ludger Klein (Camlog) und Dr. Horst Beyer (Imetric) für die aufwendigen und aussagestarken Geomagic-Analysen bedanken.

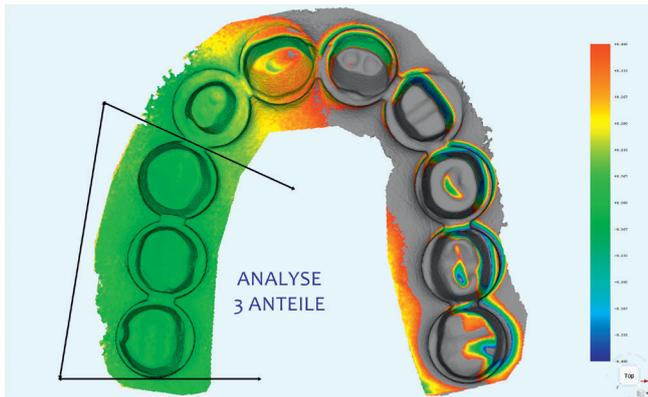


Abb. 17: Drei Anteile

Fotos: Kappert

Und die Moral von der Geschichte ...

Die Entscheidung, ob ein IOS-System in die Praxis einzieht, wird stark von der Genauigkeit, der Präzision und dem problemlosen Handling im Praxisalltag abhängig sein. Zeitgewinn, Patientenzufriedenheit durch einen angenehmen Abform-Workflow und die sofortige Kontrolle der Präparation dürften positive Argumente sein, sich mit einem Intraoralscanner-System zu beschäftigen. Ein weiterer Nutzen in der digitalen Prozesskette ist eine exakte Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.

Dieser Feldtest sollte allein die Frage klären: „Welcher Scanner überzeugt im Alltagseinsatz?“ Darunter haben wir verstanden, einen fairen wie anspruchsvollen Drei-Phasen-Test zu organisieren. Unser Fazit: Wir haben aussagefähige Antworten gefunden. Diese werden wir unseren Kunden vermitteln.

Wie sagte ein zahnärztlicher Juror: „Ich kaufe dann, wenn ein Intraoralscanner qualitativ einer guten Abformung ebenbürtig ist, er muss nicht einmal besser sein.“ Wir sehen die Zukunft eindeutig in der digitalen Abformung, trotz der Unsicherheit, die uns die Testphase 3 offeriert hat.

Unserer Meinung nach ist in den Entwicklungen der Scanner und der Modelldrucker noch viel Luft nach oben. Beim Preis sicher nicht. Wir können schlussendlich nur anregen: Bevor Sie einen Intraoralscanner kaufen, lassen Sie über ein Prüfmodell (alternativ eine *Mini-Ritter-Sport-Schokolade* scannen) einen Scan vornehmen, bevor das böse Erwachen einsetzt.

ZTM Peter Kappert, federführend für die Gesellschafter der DentalAlliance, Kontakt: info@dental-alliance.de