

**3-D-Drucker im Alltags-Feldtest**  
**ZTM Peter Kappert, DentalAlliance**



# Wundertüte

## 3-D-Druck –

### da ist noch viel Luft nach oben ...

Veränderungen im dentalen Markt sind in der jungen Vergangenheit weitgehend digitaler Natur. In dieser Hinsicht interessante Neuentwicklungen sind die IOS-Systeme (Intraoralscanner) und der 3-D-Druck. Über die Ergebnisse des IOS-Alltags-Feldtests der DentalAlliance berichteten wir in DZW ZahnTechnik 11–12/17, nun stand der 3-D-Druck auf dem Prüfstand. Um es vorwegzunehmen: Die gedruckten Modelle stellen definitiv einen Schwachpunkt im digitalen Workflow dar.

Im Herbst 2017 initiierte die DentalAlliance den IOS-Alltags-Feldtest. Dabei ging es um die Frage: „Welches IOS-System sollen wir uns zulegen?“ Die Ergebnisse stießen bei Zahn Technikern ebenso wie bei Zahnärzten auf großes Interesse. Die IOS-Testphase deckte teilweise erhebliche Schwachpunkte im rein digital orientierten Arbeitsprozess auf. Der komplette IOS-Test ist auf der Webseite dental-alliance.de nachzulesen.

Während der damaligen IOS-Testphase mussten wir erstaunt feststellen, dass von den seinerzeit in unserem Auftrag bei einem Dienstleister (Dreive Dentamid, Unna) hergestellten sechs Modellen keine zwei Modelle identisch waren. Diese erschütternde Erkenntnis brachte uns dazu, einen eigenen Drucker-Feldtest zu starten. Dass die Druckergebnisse unsere Befürchtungen in negativer Hinsicht noch übertreffen würden, konnte zu Beginn dieses Tests niemand auch nur ansatz-

weise ahnen. Tatsächlich stellen die gedruckten Modelle einen großen Schwachpunkt im digitalen Workflow dar. Zahnarztpraxen und Dentallabore, die den kompletten digitalen Weg gehen möchten, müssen sich im Klaren sein, dass ein gedrucktes Modell, je nach Anwender und Fabrikat, nur als Orientierungshilfe oder bestenfalls als Trägermodell genutzt werden kann.

Leider müssen wir mit Stand September 2018 erkennen, dass „Modelldrucken“ teilweise bedeutet, mit Zufallsergebnissen leben zu müssen. Es liegt somit nicht unbedingt an dem jeweiligen Druckerfabrikat, vielmehr sind die Ergebnisse offensichtlich unter anderem davon abhängig, inwieweit der Anwender die Bearbeitungs- und/oder die Verfahrenshinweise korrekt beachtet. Da der Formlabs Form-2-Drucker einen gewissen Hype im Zahn technikerumfeld auslöste, haben wir verschiedene Formlabs-Anwender gebeten, unseren

#### Literatur

Alle in diesem Artikel zitierten Studien sind bei der DentalAlliance einsehbar.

# 24 MODELLE VON 8 DRUCKERN IM TEST



Referenz-Scan zu drucken. Die Erkenntnis, dass negative Ergebnisse nicht unbedingt nur am Fabrikat des Druckers festzumachen sind, zeigen die *Form-2*-Ergebnisse: Die Analyse-Rankings reichten von Platz 2 bis 23 – das macht absolut fassungslos.

## Teilnehmende Firmen und Dienstleister

Nach den Erfahrungen bei unserem IOS-Test war es uns bewusst, dass wir mit einem gewissen (auch juristischen) Widerstand seitens der Drucker- beziehungsweise Leistungsanbieter zu rechnen hätten, sollte das Ergebnis „nicht genehm“ ausfallen. So geschah es auch.

Letztlich haben wir 23 Modelle in unseren Test aufgenommen (**Abb. 1**). Aus Gründen der Fairness gegenüber allen Modelllieferanten (gegen Rechnung, wie kostenfrei) haben wir uns entschlossen, bei weniger positiven Bewertungen keine Namen oder Rankingpositionen zu nennen.

Der DentalAlliance ging es schlicht darum, ein wenig Licht in die derzeitige Grauzone „Sind gedruckte Modelle Zufallsergebnisse?“ zu bringen. Wir haben den Industrie- beziehungsweise Dienstleistern (Firmen wie beispielsweise Dreve, Labore oder Fräszentren) bewusst keine Ma-

terialvorgaben gemacht. Allen war anhand des Scans bewusst, dass es sich um die Herstellung eines Modells handelt. Somit oblag es den Firmen selbst, den Fokus entweder auf Qualität oder auf Massenproduktion zu legen. Das zumindest war der Eindruck, den wir angesichts der sehr unterschiedlichen Oberflächenqualität der gedruckten Modelle gewinnen mussten.

Optimale Modelle gelten in der Zahntechnik seit Jahrzehnten als notwendige Basis, einen perfekt sitzenden Zahnersatz herstellen und überprüfen zu können. Dies ist der Grund, warum wir hier ausschließlich Modelle testen wollten.

Der Ordnung halber seien an dieser Stelle die Parameter der allseits bekannten, analogen Vorgehensweise noch einmal erwähnt: Der konventionelle Workflow beginnt mit einer Abformung. (In ihrer Dissertation beschreiben Ender et al. ermittelte Abweichungen von  $13,0 \mu\text{m} \pm 2,9 \mu\text{m}$  für A-Silikone.) Der nächste Schritt ist die Modellherstellung mit einem Klasse-IV-Gips. In der DIN EN ISO 6873 (2000) sind exakte Werte für die tolerierbare, lineare Abbindeexpansion festgelegt. Vielfache Messungen ergaben bei Klasse-IV-Gipsen eine lineare Abbindeexpansion von 0 bis zu 0,15 Prozent.

LEISTUNGSANBIETER & DRUCKER	
Dental-Design	8 x FORMLABS II
Zahnwerk	3 x STRATASYS (Prime/ D 700)
MA Fräszentrum	2 x DWS 28 D
DL Schmidt	1 x ENVISIONTEC
SeramicCam	1 x RAPID SHAPE D 30
dent-e-con	3 x ASIGA (PRO)
Bredent	1 x VOCO SolFlex 350 SMP
Cuspidus	1 x SHERA PRINT
CadSpeed	1 x VARSEO S
MedicalMilling Center	1 x PRODWAYS
rapidobject	1 x FIT PRODUCTION
FIT Production GmbH	1 x PROFI CAD SYSTEM (GIPS GEFRÄST)
DL Teuber	
Dreve	
Bego	
Dentona	
Formlabs	
Shera	
LOOX3D	

Abb. 1: Die 23 teilnehmenden Drucker- beziehungsweise Leistungsanbieter

Um nun die gedruckten Modelle anhand genauer Messwerte beurteilen zu können, stellten wir an diese Modelle die gleichen Anforderungen, wie sie für das uns vertraute Gipsmodell gelten. Ein Modell sollte eine maximale lineare Expansionsabweichung von 20 µm aufweisen. Das entspricht umgerechnet einer Expansion in Höhe von maximal 0,002 Prozent. Gedruckte Schienen, Funktionslöffel etc. verzeihen unter Umständen eine höhere Abweichung – ein Modell für die qualitative Überprüfung unserer zahntechnischen Produkte tut das definitiv nicht.

**Testparameter**

Bei der Überprüfung der Druckergebnisse ermittelten die Juroren ihre Bewertung anhand des bewährten Sheffield-Tests. Zusätzlich ließen wir, wie bereits zuvor bei unserem IOS-Test, von zwei

Abb. 2 und 3:  
Sheffield-Test  
gesamt und Schiene

23 Modelle	Sheffield Test	Juroren:	Note	
	Gesamtergebnis	Zahntechniker / Zahnärzte / Industrie	Bewertung	Position
Code Nr.	Lieferant gedr. Modell	Drucker Typ	Schiene	Rang
57	dent-e-con	Stratasys Dental 700	1,97	1
85	dentona	Asiga	2,46	2
31	DentalDesign	Formlabs II - 2017	2,61	3
33	LOOX3D	Voco SolFlex 350 SMP	2,8	4
71	MedicalMillingCenter	ProfiCadSystem	2,96	5
43	Zahnwerk	Formlabs II	3,11	6
67	Bredent	Formlabs II	3,35	7
75	rapidobject	Stratasys	3,49	8
53	Cuspidus	Asiga (dentona)	3,5	9
83	BEGO	Varseo S	3,59	10
69	Cad Speed	Envisiontec	3,8	11
88	Shera	Shera Print	3,84	12
95	DREVE	Prodways	3,94	13
35	DentalDesign	Formlabs II - 2018	3,97	14
81	FIT Production GmbH	Keine Angabe	4,02	15
37	SeramicCam	Stratasys Prime	4,06	16
47	DL Schmidt	Asiga Pro	4,24	17
91	DL Teuber	Formlabs II	4,49	18
			4,51	19
	Ab Rang 19	Keine Namensnennung	4,52	20
			5,04	21
			5,56	22
			5,58	23

23 Modelle	Sheffield Test	Juroren:	Note	
	SCHIENE	Zahntechniker / Zahnärzte / Industrie	Bewertung	Position
Code Nr.	Lieferant gedr. Modell	Drucker Typ	Schiene	Rang
57	dent-e-con	Stratasys Dental 700	2	1
75	rapidobject	Stratasys	2,28	2
31	DentalDesign	Formlabs II - 2017	2,48	3
85	dentona	Asiga	2,55	4
71	MedicalMillingCenter	ProfiCadSystem	2,68	5
33	LOOX3D	Voco SolFlex 350 SMP	3,76	6
67	Bredent	Formlabs II	4	7
37	SeramicCam	Stratasys Prime	4,04	8
83	BEGO	Varseo S	4,4	9
43	Zahnwerk	Formlabs II	4,44	10
			4,56	11
			4,6	12
			4,92	13
	Ab Rang 11	keine Namensnennung	5,16	14
			5,2	15
			5,2	15
			5,44	16
			5,44	16
			5,52	17
			5,68	18
			5,68	18
			5,8	19
			6	20

unabhängigen Firmen Bewertungen nach digital-analytischen Verfahren vornehmen. Durch diese zusätzliche externe Bewertung wurde das wichtige Kriterium der absoluten Unabhängigkeit erfüllt. Alle dafür anfallenden Kosten sowie personelle Manpower wurden komplett von der DentalAlliance getragen. Da wir bereits diverse Dissertationen für das Klinikum der Justus-Liebig-Universität Gießen (Direktor: Prof. Dr. B. Wöstmann) begleitet hatten, lag es nahe, Teile der dort angewendeten Prüfmethodik (vergleiche unter anderem Dissertation Viktor Sichwardt 2014) in unsere Vorgehensweise einfließen zu lassen.

#### **Unsere Vorgaben für den Drucker-Feldtest**

- Basis der Überprüfung bildete unser gefrästes NEM-Mastermodell (durch die unempfindliche Metalloberfläche Vermeidung von Abrosionen), matt angestrahlt (wurde bereits in unserem IOS-Test verwendet).
- Für den Druck der Modelle erhielt jeder Teilnehmer den Originalscandatenatz unseres Mastermodells per E-Mail. Dieser wurde seinerzeit mit dem nicht validierten, aber weltweit anerkannten *Imetric-104i*-Scan-

**„Wer die  
Wahrheit sagt,  
braucht ein  
schnelles  
Pferd.“**

(Indianisches  
Sprichwort)

ner erzeugt und als Basis-Original im offenen STL-Format gespeichert.

- Für die händische Überprüfung wurden drei Prüfkörper aus PMMA auf den CNC-Maschinen Roland *DWX 50* und *DWX 51D* gefräst – das Design erfolgte über unsere Exocad-Software.
- Die händische Prüfung durch die Juroren (Zahnärzte und Zahntechniker) fand nach dem bekannten Sheffield-Test (White 1993) in unserer Zentrale statt.
- Die externen digitalen Bewertungen wurden mittels des Geomagic-Programms durch die Firma Camlog (Basel, Schweiz) und das auf 3-D-Scanner und -Software spezialisierte Ingenieurbüro Klib (Hasselbach) durchgeführt.
- Dafür wurden die von den Teilnehmern angelieferten gedruckten Modelle jeweils fünfmal mit dem *Imetric 104i* gescannt. Aus diesen fünf quasi deckungsgleichen Scans wurde jeweils einer für die Analysen ausgewählt und den externen Bewertern zur Verfügung ge-

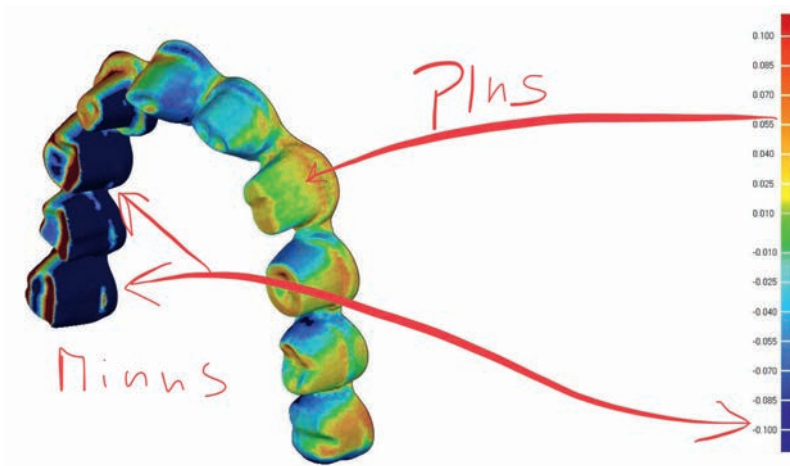


Abb. 4: Modellanalyse von Camlog

stellt. In den Grafiken ist der verwendete Scan mit seiner laufenden Nummer aufgelistet.

**Die Vorgehensweise**

1. Insgesamt 24 Juroren (Zahnärzte, Zahntechniker, Zahntechnikermeister und Laborinhaber) nahmen an dem Sheffield-Test teil. Darunter, was uns sehr wichtig war, auch vereidigte und somit anerkannte Gutachter.
2. Die Codierung der eingesandten Modelle wurde von nur einer Person vorgenommen. Es wurde darauf geachtet, dass jedes gelieferte und gedruckte Modell eine eigene Codierung erhielt.
3. Das von uns konzipierte NEM-Modell unterscheidet sich von realen Bedingungen durch seine spezielle Geometrie. Diese bewusst gewählte Extremsituation machte es möglich, die Grenzen der untersuchten Verfahren aufzuzeigen.

4. Die Parameter für die zu fräsenden Prüfkörper wurden für alle Fräsungen wie folgt definiert: Abstand 0,01 mm – Ausblocken 0,00 mm – Fräser-radius 0,7 mm – periphere Dicke 1,5 mm – okklusale Dicke 1,8 mm – Glättung 10. Die Prüfkörper wurden mit nur wenigen Millimetern Länge gestaltet, dadurch wurde ein einwandfreier Test auf Passung, vor allem auf Verzug (Sheffield-Test), ermöglicht. Eine sogenannte Klemmpassung wurde so verhindert.

Per Exocad-Design-Software wurden folgende Prüfkörper für den Sheffield-Drucker-Test konstruiert:

- zehn Anteile als Schiene
- drei Anteile als Schiene/Brücke
- zwei Anteile als Einzelkappen

Als Material für die Prüfkörper entschieden wir uns für ein durchsichtiges PMMA (*CopraTemp clear*, White Peaks Dental Solutions, Wesel). Durch die Transparenz des Materials war eine objektive Beurteilung möglich.

**Die Prüfmethode**

1. Pass- und Sheffield-Prüfung der gefrästen Prüfkörper durch die Juroren. Jeder Juror benotete seine Prüfergebnisse nach dem deutschen Schulnotenprinzip von 1 – sehr gut bis 6 – ungenügend (**Abb. 2 und 3**).
2. Rein digital basierte Prüfung durch Matching (Zusammenführen der Daten) durch externe Firmen. Diese Methode dürfte als die objektivste Methode für eine Bewertung gelten. Hierbei wird die mittlere positive, mittlere negative und die absolute Abweichung berechnet.

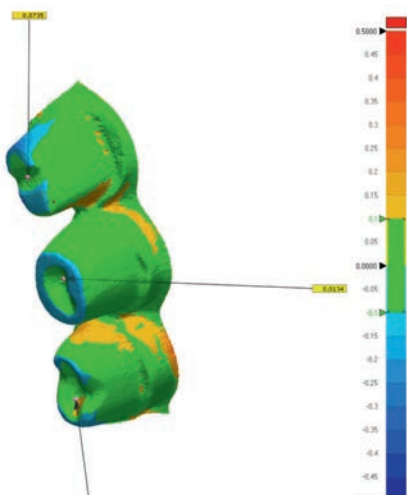


Abb. 5: Modellvergleich drei Elemente

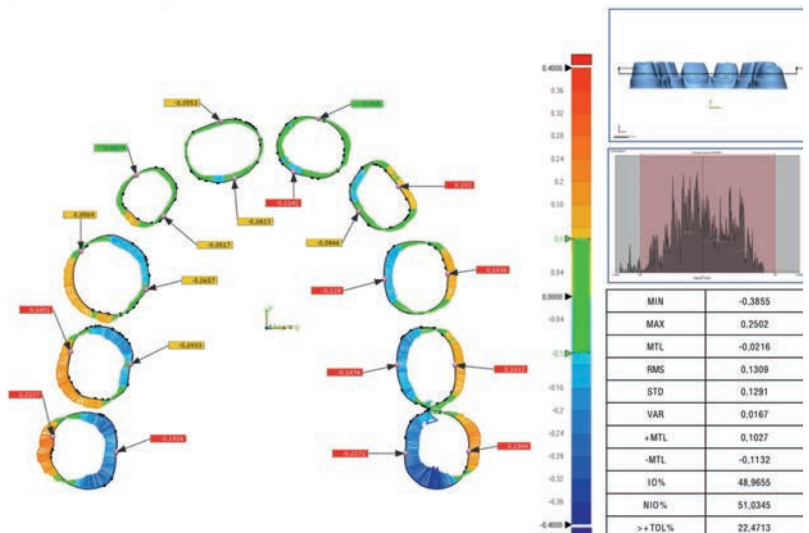


Abb. 6: Schnittvergleich Gesamtmodell

16 Modelle	Geomagic Analyse KLIB Büro	Analyse 1-2 Anteile			
		Modellanalyse	Ausgewählter	Standard	Position
Code Nr.	Lieferant gedr. Modell	Drucker Typ	Scan von 5 Scans	Abweichung mm	Rang
31	DentalDesign	Formlabs II - 2017	4	0,0198	1
71	MedicalMillingCenter	ProfiCadSystem	2	0,0259	2
67	Bredent	Formlabs II	4	0,027	3
33	LOOX3D	Voco SolFlex 350 SMP	5	0,0307	4
85	dentona	Asiga	3	0,031	5
43	Zahnwerk	Formlabs II	2	0,0343	6
95	DREVE	Prodways	1	0,0364	7
57	dent-e-con	Stratasys Dental 700	1	0,0401	8
45	MA Fräszentrum	Formlabs II	1	0,0413	9
91	DL Teuber	Formlabs II	3	0,0445	10
			2	0,0474	11
	Ab Rang 11	keine Namensnennung	3	0,0491	12
			4	0,0549	13
			1	0,065	14
			2	0,0692	15
			4	0,1221	16

Abb. 7: Geomagic-Modellanalyse (Klib), zwei Anteile bewertet

### Ergebnis der physikalischen Prüfung

Aus Sicht der Juroren ist der Sheffield-Test als objektiv anzusehen, in der Zusammenfassung der Ergebnisse sollte man ihn als lediglich begleitend, weil subjektiv, einstufen. Zur Erklärung sei hier ein Modell erwähnt, welches im Sheffield-Test-Ranking sowohl im Gesamtergebnis wie auch in der Königsdisziplin Schiene unter den vorderen zehn Plätzen zu finden war. Bei den Geomagic-Analysen durch Camlog und Klib allerdings lag dieses Modell auf den absolut hinteren Rängen. Wir fragten uns, wie es zu solch eklatant unterschiedlichen Ergebnissen kommen kann. Die Antwort liefert die Grafik der Geomagic-Analysen.

Klib wie Camlog zeigen auf, dass bei der Mehrzahl der angelieferten Modelle erhebliche Unterschiede im Plus- (rot) und Minus-Bereich (blau) festzustellen waren. Das hat zur Folge, dass in der händischen Analyse der Sitz der Schiene im Frontzahnbereich (hellgrün) zwar als unauffällig, im Seitenbereich allerdings als etwas strammer (dunkelblauer Farbbereich) empfunden wurde – ein Schaukeln des Objekts (Schiene) war dadurch kaum wahrnehmbar. In beiden Bereichen, rot und blau, sind Abweichungen von weit mehr als 100 µm (Abb. 4) zu verzeichnen. Ein Modell mit einer Abweichung von mehr als 100 µm ist für die Überprüfung von Zahnersatz absolut unbrauchbar.

Im Sheffield-Test bewerteten fast alle Juroren den Sitz der Einzelkappen und der dreigliedrigen Brücken positiver als den Sitz der zehngliedrigen Schiene. Mit relativ deutlichem Abstand und den Noten 1,97 und 2,0 (Schiene zehn Anteile) führt dent-e-con (Lonsee) im Sheffield-Test das Ranking vor dentona (Dortmund), Dental Design (Erlangen), LOOX3D (Gladbeck) und Rapid-object (Leipzig) an. Die Juroren bewerteten im Gesamtergebnis fünf Modelle mit einer Note von

schlechter als 4,5. Bei den Schienen wurden 13, also mehr als die Hälfte aller Modelle, schlechter als 4,5 bewertet. Ein Modell wurde dabei von allen Juroren mit einer glatten 6 bedacht. Das kann nur noch mit dem Begriff „gedruckter Offenbarungseid“ betitelt werden. Wir haben uns entschlossen, ab der negativen Note 4,5, also ab „nicht mehr ausreichend“, auf eine namentliche Nennung der Teilnehmer zu verzichten.

### Ergebnis der Geomagic-Analysen

Die Geomagic-Analysen sind frei von subjektiven Beeinflussungen und haben damit eine höhere Wertigkeit und Aussagekraft. Die Bewertung der Modellscans wurden zunächst von Camlog vorgenommen. Nach Erhalt der 23 Bewertungen wurde das Ingenieurbüro Klib beauftragt, die acht besten und die acht schlechtesten Bewertungen der Firma Camlog noch einmal einer speziellen Überprüfung zu unterziehen. Klib hat somit jeweils 16 Analysen der Einzelelemente (regio 12 und 13), der Seitenelemente (regio 25 bis 27) und des kompletten Modells vorgenommen (Abb. 5 und 6). Neben der Analyse des kompletten Modells wurde zusätzlich eine Schnittanalyse erstellt. Bei dieser Analyse liegen die vermessenen Referenzpunkte etwa im zervikalen Drittel des Objekts. Bei der Modellanalyse wird das komplette Modell vermessen.

In der Analyse Einzelkappen führte Dental Design, gedruckt mit dem Form 2 (von 2017), mit einer Abweichung von 19 µm das Ranking an, gefolgt von MMC (Köln), bredent (Senden), LOOX3D und dentona. Ab dem Platz 11 sind Abweichungen von mehr als 50 µm zu verzeichnen. Bei Platz 16 wurden Abweichungen von 122 µm gemessen. Auch hier wollen wir bei Abweichungen, die mehr als 40 µm betragen, auf die namentliche Nennung des Teilnehmers verzichten (Abb. 7).

Abb. 8 und 9:  
Geomagic-Schnitt-  
und Modellanalysen  
(Klib), drei Anteile

16 Modelle	Geomagic Analyse KLIB Büro	Analyse 3 Anteile			
		Schnitt-Analyse	Ausgewählter	Standard	Position
Code Nr.	Lieferant gedr. Modell	Drucker Typ	Scan von 5 Scans	Abweichung mm	Rang
71	MedicalMillingCenter	ProfiCadSystem	2	0,0134	1
67	Bredent	Formlabs II	4	0,015	2
85	dentona	Asiga	3	0,0157	3
31	DentalDesign	Formlabs II - 2017	4	0,0223	4
55	Formlabs Zentrale	Formlabs II	2	0,0251	5
33	LOOX3D	Voco SolFlex 350 SMP	5	0,0252	6
43	Zahnwerk	Formlabs II	2	0,026	7
91	DL Teuber	Formlabs II	3	0,0287	8
45	MA Fräszentrum	Formlabs II	1	0,0315	9
95	DREVE	Prodways	1	0,034	10
47	DL Schmidt	Asiga Pro	3	0,0377	11
			1	0,0419	12
			4	0,0448	13
			1	0,046	14
			4	0,0484	15
			2	0,0659	16

16 Modelle	Geomagic Analyse KLIB Büro	Analyse 3 Anteile			
		Modell-Analyse	Ausgewählter	Standard	Position
Code Nr.	Lieferant gedr. Modell	Drucker Typ	Scan von 5 Scans	Abweichung mm	Rang
31	DentalDesign	Formlabs II - 2017	4	0,0244	1
71	MedicalMillingCenter	ProfiCadSystem	2	0,0286	2
33	LOOX3D	Voco SolFlex 350 SMP	5	0,0325	3
67	Bredent	Formlabs II	4	0,0336	4
43	Zahnwerk	Formlabs II	2	0,0357	5
85	dentona	Asiga	3	0,0365	6
95	DREVE	Prodways	1	0,0391	7
57	dent-e-con	Stratasys Dental 700	1	0,0416	8
			1	0,0462	9
			3	0,0477	10
	Ab Rang 9	keine Namensnennung	3	0,0558	11
			2	0,0599	12
			1	0,062	13
			4	0,0666	14
			2	0,0821	15
			4	0,1315	16

Abb. 10:  
Geomagic-  
Schnittanalyse  
(Klib), zehn Anteile

18 Modelle	Geomagic Analyse KLIB Büro	Bewertung Schiene 10 Anteile					
		Schnitt-Analyse	Ausgewählter		Standard	Position	
Code Nr.	Lieferant gedr. Modell	Drucker Typ	Scan von 5 Scans	Wert +	Wert -	Abweichung mm	Rang
71	MedicalMillingCenter	ProfiCadSystem	2	0,0155	0,0088	0,0173	1
85	dentona	Asiga	3	0,0201	0,0119	0,0197	2
31	DentalDesign	Formlabs II - 2017	4	0,0219	0,026	0,0291	3
67	Bredent	Formlabs II	4	0,0296	0,0153	0,0292	4
91	DL Teuber	Formlabs II	3	0,0386	0,0319	0,0427	5
43	Zahnwerk	Formlabs II	2	0,325	0,0488	0,0476	6
			1	0,0459	0,0331	0,0507	7
			1	0,0874	0,0325	0,0635	8
			2	0,0595	0,0392	0,0643	9
	Ab Rang 7 von 16	keine Namensnennung	4	0,1019	0,0217	0,0652	10
			1	0,0684	0,0804	0,0892	11
			3	0,0942	0,0895	0,1049	12
			1	0,0875	0,1078	0,1135	13
			4	0,1013	0,1097	0,1187	14
			5	0,1027	0,1132	0,1291	15
			2	0,171	0,1533	0,1891	16

In der Bewertung regio 25 bis 27 sind zwischen der Modell- und der Schnittanalyse auf den vorderen Plätzen des Rankings kaum Unterschiede festzustellen. Wie bei der Bewertung der 1-2-Anteile liegen auch hier die Modelle Nr. 71, 67, 85 und 31 im Ranking dicht beieinander. MMC, bredent und dentona erzielen mit lediglich 13 bis 15 µm Abweichungen einen Top-Wert. In der Modellanalyse jedoch stiegen die Werte ab Platz 1 schon über 20 µm an (**Abb. 8 und 9**).

Wenden wir uns der Königsdisziplin zu: der Bewertung eines Gesamtmodells mit zehn Anteilen. In **Abbildung 6** haben wir die von Klib erstellte Schnittanalyse in einem Ranking dargestellt. In der Schnittanalyse überzeugte MMC (Gipsfräsung) vor dentona mit einem Top-Wert von 17 bis 19 µm. Deckungsgleich sind die Plätze 3 und 4 von Dental Design und bredent; Zahnwerk und Dentallabor Teuber liefern akzeptable Ergebnisse. Bereits ab dem 7. Platz bei 16 Modellen verzichten wir auf eine Nennung der Leistungsanbieter, da Abweichungen von 50 µm und mehr für uns keinen akzeptablen Wert darstellen (**Abb. 10**).

Für die Camlog-Analyse ließen wir, gleichzeitig mit den gedruckten Modellen, zwei von der DentalAlliance hergestellte Gipsmodelle (Nr. 2 und Nr. 4) und ein ebenfalls von uns hergestelltes gefrästes Modell (Nr. 3) im direkten Vergleich bewerten (**Abb. 11**). Bei beiden Analysen führte MMC (gefrästes Modell) das Ranking vor dentona und Dental Design an.

Die Erkenntnis, dass nur sechs Modelle die von uns geforderte Norm einer maximalen Abweichung von 50 µm erfüllen konnten, ist ernüchternd. Eine Abweichung von 50 bis 80 µm bedeutet für uns, dass diese Modelle als Träger- oder Orientierungsmodell nur bedingt verwendbar sind. Modelle mit einer gemessenen Abweichung größer gleich 80 µm sind – zumindest für uns – „für die Tonne“ produziert. Zahntechnische Produkte müssen – schon allein aus Gründen des Patientenschutzes – exakt überprüfbar sein, bei einer Abweichung von mehr als 80 µm ist das definitiv nicht möglich.

Dass eine Alginatabformung (qualitativ – wiederum aus unserer Sicht – nicht für die Herstellung des Gegenmodells akzeptabel) noch den 14. Platz von 26 bewerteten Modellen belegt, ist ein Armutszeugnis für die angelieferten Modelle. Festzuhalten ist leider, dass einige der gedruckten Modelle dem gefrästen Objekt angepasst werden müssen – und nicht umgekehrt.

#### **Auch interessant: das Langzeitverhalten der gedruckten Modelle**

Für unsere Juroren stellte sich die Frage, wie sich der Zustand der gedruckten Modelle, eine einwandfreie Lagerung vorausgesetzt, wohl nach einer gewissen Zeit verändern würde: fünf Modelle wurden nach einer Lagerdauer von fünf Monaten daher noch einmal gescannt. Direkt nach der ersten Auslieferung an uns wurde jedes Modell codiert und gesondert verpackt, ferner bei normaler Raumtemperatur von 22 bis 24 Grad Celsius dunkel gelagert. Für die erneute Untersuchung verglich Camlog den Originalscan vom Mastermodell mit fünf neuen Scans vom August 2018. Klib wiederum verglich den jeweiligen Modellschscan von Februar/März 2018 mit dem aktuellen Scan von August 2018. Die Ergebnisse dieser beiden Untersu-



Abb. 11: Gesamt-Modellanalyse (Camlog)

23 Modelle	Geomagic Analyse Camlog	Schiene 10 Anteile	Ausgewählter	max. obere	max. untere	Standard	Position
Code Nr.	Lieferant gedr. Modell	Modellanalyse	Scan von 5 Scans	Abweichung Wert +	Abweichung Wert -	Abweichung mm	Rang
71	MedicalMillingCenter	ProfiCadSystem	2	0,123	0,299	0,018	1
85	dentona	Asiga	3	0,175	0,223	0,02	2
2	DentalAlliance	Gips Kl. IV Picodent ausgegossen	1	0,324	0,016	0,024	3
31	DentalDesign	Formlabs II - 2017	4	0,127	0,121	0,031	4
3	DentalAlliance	Modell gefräst Roland DWX 50	1	0,212	0,104	0,034	5
88	Shera	Shera Print	1	0,176	0,139	0,038	6
57	dent-e-con	Stratasys Dental 700	1	0,469	0,189	0,045	7
67	Bredent	Formlabs II	4	0,283	0,176	0,048	8
			3	0,256	0,14	0,05	9
			3	0,299	0,191	0,051	10
			2	0,239	0,172	0,053	11
			2	0,179	0,192	0,054	12
			5	0,21	0,251	0,055	13
4	DentalAlliance	Alginat Abf. - Picodent Kl. IV	1	0,685	0,339	0,057	14
			1	0,767	0,249	0,074	15
			5	1,044	0,414	0,081	16
			2	0,366	0,235	0,082	17
			4	0,229	0,238	0,087	18
			1	0,262	0,301	0,09	19
			3	0,226	0,337	0,093	20
			3	0,324	0,302	0,11	21
			1	0,354	0,344	0,117	22
			4	0,402	0,322	0,119	23
			5	0,423	0,453	0,136	24
			4	0,687	0,297	0,138	25
			2	0,61	0,501	0,182	26

Abb. 12: Vergleich Scan Februar/März 2018 mit Scan August 2018 (Klib)

5 Modelle	Geomagic Analyse KLIB Büro	Analyse März Scan & August Scan	Ausgewählter	Standard	Position
Code Nr.	Lieferant gedr. Modell	Drucker Typ	Scan von 7 Scans	Abweichung mm	Rang
71	MedicalMillingCenter	ProfiCadSystem	2	0,0082	1
45	MA Fräszenrum	Formlabs II	1	0,0272	2
95	DREVE	Prodways	1	0,0343	3
67	Bredent	Formlabs II	4	0,0357	4
31	DentalDesign	Formlabs II - 2017	4	0,0366	5

**Danksagung**

Ich möchte mich bei meinem DA-Kollegen ZTM Christoph Hellenthal für die große Unterstützung bedanken. Die DentalAlliance dankt allen Drucksystem-Anbietern und unseren zahntechnischen Kollegen, die sich diesem mit Schwierigkeitsgraden gespickten Test gestellt haben. Unser Dank gilt ferner den Juroren für ihren Zeiteinsatz und die Bereitschaft, zu uns nach Essen zu kommen. Wir danken Daniel Winkelmann (Ing.-Büro Klib) und Ludger Klein (Camlog) für die aufwendigen und aussagestarken Geomagic-Analysen.

chungen weichen nur unwesentlich voneinander ab (Abb. 12).

Erwartungsgemäß zeigte das Modell Nr. 71 (Gips gefräst) bei beiden Analysen keinerlei Abweichung. Für die übrigen Modelle galt, dass selbst bei perfekter Lagerung innerhalb von fünf Monaten Abweichungen von bis zu 36 µm zu verzeichnen waren. Es möge jeder für sich beantworten, ob es sinnvoll ist, diese Art von Modellen für eine Überprüfung von zahntechnischen Produkten längerfristig aufzubewahren.

Ergänzend zu dieser digitalen „Nachuntersuchung“ führten wir aktuell am 10.09.2018 eine einfache optische Kontrolle der Modelle durch. Dazu wurde mit dem bewährten Silikon *picodent twinduo* ein Kontrollschlüssel über das Mastermodell gefertigt, klassisch beschnitten und nach einer Wartezeit von 15 Minuten auf sechs ausgewählte Modelle (die Ranking-Plätze 2, 3, 4 sowie drei Vertreter der hinteren Plätze) platziert und das Ergebnis fotografisch festgehalten (technische Ausführung: ZTM Britta Schulz).

Die Ergebnisse (Abb. 13 bis 19) sprechen für sich. Wir ersparen es uns, die Qualität der namentlich nicht benannten Modelle zu kommentieren.

**Diskussion**

Die Idee, einen 3-D-Drucker-Feldtest zu initiieren, war allein der ursprünglichen Frage geschuldet: „Auf welches gedruckte Modell, von welchem Hersteller kann ich mich im Alltagseinsatz wirklich verlassen?“. Wir haben uns bemüht, einen fairen und anspruchsvollen Test zu organisieren, und wir denken, dass uns dies gelungen ist. Wichtig war uns auch, die in den Hochglanzprospekten der Druckeranbieter getroffenen Aussagen auf ihren Wahrheitsgehalt zu prüfen. Können sie ihre Versprechungen halten? Oder liegen negative Druckergebnisse nicht an den Druckern, sondern ausschließlich an der Handhabung?

Wir haben allen Anbietern einen identischen Datensatz gesendet und ein Modell bestellt. Dass uns letztlich eine Wundertüte an unterschiedlichsten Qualitäten geliefert wurde, übertraf unsere schlimmsten Befürchtungen. Auffallend war

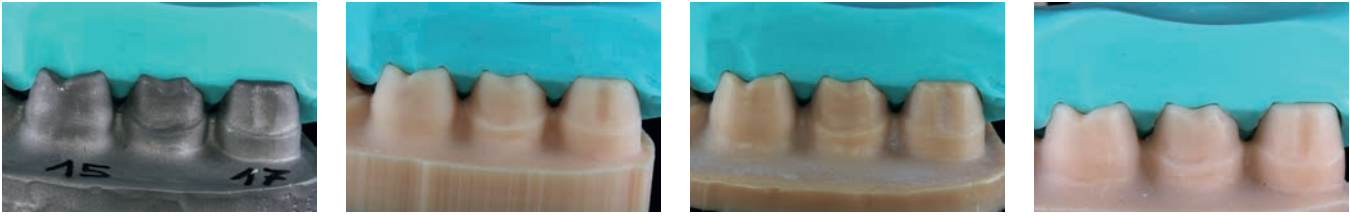


Abb. 13 bis 16: (von links) Mastermodell, dentona, Dental Design, LOOX3D



Abb. 17 bis 19: *Passung – oder besser Nicht-Passung – hintere Platzierungen*  
Fotos: Kappert

zudem, dass je schlechter ein Modell im Test abschnitt, umso höher der Preis war, der uns berechnet wurde (in der Spitze 35,00 bis mehr als 50,00 Euro für ein Modell). Bei einem der Anbieter gaben wir bewusst ein Modell in Auftrag, für das uns eine Druckgenauigkeit von 50 µm garantiert wurde (Rechnung liegt vor, Kosten für das Modell: 54,13 Euro).

Das Modell hatte in der Bewertung eine negative Abweichung von 138 µm, mithin 88 µm zusätzliche Abweichung zu den versprochenen maximal 50 µm. Das ist eine Abweichung um 76 Prozent zu den garantierten (und in der Rechnung noch einmal erwähnten) maximalen 50 µm! So viel zu den Versprechungen einiger Anbieter!

Von sekundärer Bedeutung war es für uns, ob additive Verfahren (wie die Stereolithografie) eingesetzt wurden, oder ob mit einer photosensitiven Epoxydharz-Matrix ausgehärtet wurde. Wir wollten ein gedrucktes Modell erhalten, das einem Gipsmodell der Klasse IV ebenbürtig ist. Einigen Teilnehmern ist dies erfreulicherweise gelungen, der Beweis ist in den Ranking-Tabellen der verschiedenen Kategorien abzulesen.

Wir sehen in den digitalen Verfahren natürlich nach wie vor die Zukunft. Unserer Meinung nach ist allerdings bei der Entwicklung der Modelldrucker noch extrem viel Luft nach oben. Unsere Empfehlung lautet: Lassen Sie sich von allem inspirieren, aber lassen Sie sich nicht blenden von den Aussagen der Hochglanzprospekte der Druckeranbieter. Jedes Druckerfabrikat, welches nicht – garantiert und nachweisbar – mit mindestens 15 bis 20 µm Genauigkeit druckt, ist aus unserer Sicht eine Fehlinvestition.

Die Qualität einer CAD/CAM-gefertigten Restauration hängt – zum Glück – nicht nur von den eingesetzten Scan- oder Druckersystemen ab, sondern nach wie vor, und vor allem, vom funktionierenden Team Zahnarzt/Zahntechniker. Das ist tröstlich. Und vielleicht regt ja auch folgende Bemerkung einer unserer Juroren, ZA Marcel Menzen, ein wenig zum Nachdenken an: „Wenn ich mir das ganze digitale Gedöns anschaffe, frage ich mich, kann ich damit optimal arbeiten, oder bin ich nur modern?“

### Eine persönliche Schlussbemerkung

Wenn wir Zahntechniker unsere fertigen Produkte – approximal wie okklusal – mit einer Genauigkeit von 12 µm kontrollieren (und das tun wir!), dann kann und darf es nicht sein, dass wir gedruckte Modelle mit einer mittleren Abweichung von mehr als 20 µm tolerieren. Wer dies akzeptiert, hat in diesem Moment den Pfad der High-End-Qualität verlassen.

**ZTM Peter Kappert, federführend für die Gesellschafter der DentalAlliance, Kontakt: [info@dental-alliance.de](mailto:info@dental-alliance.de)**