

dl-Technik-Edition

Roland Strietzel

# CAD/CAM von A bis Z

Orientierung im Dschungel der digitalen Verfahren



Verlag Neuer Merkur GmbH



Roland Strietzel

# **CAD/CAM von A bis Z**

**Orientierung im Dschungel der digitalen Verfahren**



Bibliografische Informationen der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

© 2015 Verlag Neuer Merkur GmbH

Verlagsort: Postfach 60 06 62, D-81206 München

Alle Urheberrechte vorbehalten. Vervielfältigungen bedürfen der besonderen Genehmigung.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmung und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Alle in dieser Veröffentlichung enthaltenen Angaben, Ergebnisse usw. wurden vom Autor nach bestem Wissen erstellt und von ihm und dem Verlag mit größtmöglicher Sorgfalt überprüft. Gleichwohl sind inhaltliche Fehler nicht vollständig auszuschließen. Daher erfolgen alle Angaben ohne jegliche Verpflichtung oder Garantie des Verlages oder des Autors. Sie garantieren oder haften nicht für etwaige inhaltliche Unrichtigkeiten (Produkthaftungsausschluss). Im Text sind Warennamen, die patent- oder urheberrechtlich geschützt sind, nicht unbedingt als solche gekennzeichnet. Aus dem Fehlen eines besonderen Hinweises oder des Zeichens ® darf nicht geschlossen werden, es bestehe kein Warenschutz.

Roland Strietzel

CAD/CAM von A bis Z - Orientierung im Dschungel der digitalen Verfahren

dl-Technik-Edition

1. Auflage 2015

Layout und Titelgestaltung: Simon Asselmann

ISBN 978-3-95409-022-8

Druck: Appel & Klingler, Schneckenlohe

## Vorwort

Was in den 1980er Jahren noch auf Skepsis stieß, ist heute längst in der dentalen Realität angekommen – nämlich CAD/CAM, das computerunterstützte Konstruieren und Fertigen von Zahnersatz. Weiterentwicklungen im Bereich der digitalen Technologien sind seit Jahren Anziehungspunkte in den Messehallen der Internationalen Dentalschau. Immer mehr scheint möglich zu sein, immer mehr wandelt sich dadurch aber auch das Berufsbild des Zahntechnikers. In Zukunft, meinen viele, werde es nicht mehr Zahntechniker, sondern Zahndesigner geben.



Wie jede technische Umwälzung setzt auch die CAD/CAM-Revolution viele Ängste und Befürchtungen frei. Das beste Mittel dagegen ist Information. Wer gut informiert ist, weiß, wo Risiken lauern, aber auch, welch enormes Potenzial an Möglichkeiten die digitale Technik bietet – unter der Prämisse, dass die Technik betriebswirtschaftlich klug eingesetzt wird.

Dr. Roland Strietzel ist ein profunder Kenner der Materie – der digitalen Technik ebenso wie der dentalen Werkstoffe, sind doch die Entwicklungsstufen bei CAD/CAM-Verfahren immer sehr eng mit der Werkstoffentwicklung verbunden. Anschaulich stellt er die einzelnen Herstellungsverfahren vor, skizziert die Entwicklung, den Status quo und wagt einen Ausblick in die dentale Zukunft von CAD/CAM.

Dieses Buch bietet wertvolles Basiswissen, gibt Orientierungshilfe in einem schier unüberschaubaren Markt und liefert Einsteigern sowie erfahrenen Anwendern viele nützliche Anregungen für den Laboralltag sowie für deren künftige betriebliche Strategien.

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	5
<b>Kapitel 1 CAD/CAM-Systeme – ein Systemvergleich</b>	
Einleitung .....	9
Allemeine Überlegungen .....	9
Ausblick .....	13
<b>Kapitel 2 CAD/CAM – Entwicklung, aktueller Stand und Ausblicke</b>	
Industrielle Herstellung von Zahnersatz .....	18
Der Scan-Prozess .....	19
CAD – die digitale Modellation .....	22
CAM – die industrielle Fertigung .....	24
CAD/Cast-Verfahren .....	26
<b>Kapitel 3 Additive und subtraktive Herstellungsverfahren</b>	
<b>Additive Verfahren</b>	
SLM-Verfahren .....	29
Galvanisches Abscheiden .....	30
Subtraktive Verfahren .....	33
Funkenerodieren .....	37
Kombinationen .....	37
Materialien .....	39
Indikationen .....	43
Ausblick .....	44
Fazit .....	45
<b>Kapitel 4 Vergleich von Halbzeugen für die Herstellung von EMF-Gerüsten</b> .....	47
Herstellungsvergleich	
In der unterschiedlichen Halbzeuge .....	48
Fräsbarkeit (Spanbarkeit) .....	54
Vergleich der Gefüge und der mechanischen Daten .....	55
Zahntechnische Verarbeitung .....	60
Korrosion und Biokompatibilität .....	61
Zusammenfassung .....	64
<b>Literatur</b> .....	66

## Einleitung

---

Die Zahntechnik befindet sich spätestens seit Anfang des neuen Jahrtausends vor starken Veränderungen. Zum einen wirken die maroden Finanzlagen der Gesundheits- und Finanzsysteme stark auf das Gesundheitswesen und damit auch auf die Zahntechnik ein. Zum anderen finden technologische Fortschritte statt, die die Arbeitsweisen der Zahntechniker stark verändern. Last but not least kommt neben dem Kostendruck aufgrund veränderter gesetzlicher Sachlage noch zunehmend starker Druck aus den Billiglohnländern, vor allem aus China. Der deutsche (europäische) Zahntechniker wird auf absehbare Zeit nicht in der Lage sein, mit den herkömmlichen Produktionsarten mit diesen Preisen mitzuhalten, ohne seine Arbeit (weit) unter Wert zu verkaufen und somit wirtschaftlichen Selbstmord zu begehen. Die Strategie mit Qualität Kunden zu halten wird aufgrund der eklatanten Preisunterschiede mittelfristig wohl nicht zum Erfolg führen, zumindest nicht für die Masse der Labors und Praxen, denn der „Premium-Markt“ ist mengenmäßig beschränkt und dürfte für die Masse der Dentallabors nicht ausreichen. Es ist einsichtig, dass 100 % der Dentallabore (Welches Dentallabor macht denn keine erstklassige Zahntechnik?) nicht 10 – 20 % des Marktes bedienen können, ohne dass hier ein gewaltiger Schrumpfungsprozess eintreten muss, der den bisherigen noch weit in den Schatten stellt. Daher stellt sich aus Sicht des Autors nicht die Frage, ob man sich mit CAD/

CAM-Systemen beschäftigen soll, sondern wann. Und selbst diese Frage ist eigentlich auch schon beantwortet – nämlich allerspätestens heute!

## Allgemeine Überlegungen

---

Steht man vor der Auswahl eines CAD/CAM-Systemes, gilt es viele Aspekte zu berücksichtigen<sup>1</sup> (Abb. 1). Die Idee/Vorstellung der Anschaffung eines solchen Systems lediglich aus Prestige-gründen sollte aufgrund der Vielzahl von bereits installierten CAD/CAM-Systemen verworfen werden und dürfte schon seit langer Zeit nicht mehr entscheidend sein. Im Jahre 2009 kann man davon ausgehen, dass sich CAD/CAM-Systeme etabliert haben.

Neben grundsätzlichen Erwägungen (z. B. zentrale/dezentrale Produktion) stehen selbstverständlich wirtschaftliche Erwägungen, denn mit einer solchen Investition soll schließlich Geld verdient werden. Dies ist nichts Ehrenrühriges, sondern die Pflicht eines jeden Unternehmers.

Eine der ersten Entscheidungen, die gefällt werden muss, ist die, ob man ein System mit zentraler oder dezentraler Produktion möchte. Bei der dezentralen Produktion gibt es die Möglichkeit direkt in der Zahnarztpraxis („chair-side“) oder im Dentallabor herzustellen. Hier muss erwogen werden, was im Falle eines Maschinenschadens passiert. Auch sind die Investitionskosten sehr hoch. Dadurch muss die Finanzierung besonders gut geplant werden und Finanzierungsan-

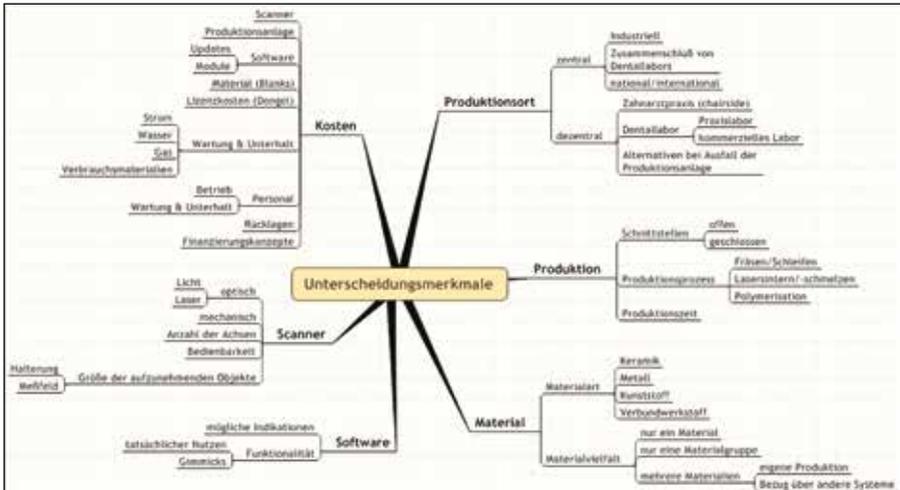


Abb. 1 Unterscheidungsmerkmale von CAD/CAM-Systemen

gebote der Anbieter gewinnen an Bedeutung. Durch die hohen Investitionskosten sinkt zum einen die Liquidität und zum anderen koppelt man sich evtl. von dem technischen Fortschritt ab, da man nicht ohne weiteres auf neue Produktionstechnologien ausweichen kann, da die Banken keine neuen Kredite gewähren werden. Auch darf der Begriff „Wertschöpfung“ nicht mit Gewinn gleichgesetzt werden. Grob gesprochen ist die Wertschöpfung der Wert der erschaffen wird, ohne dass die Kosten, die aufgewendet werden müssen berücksichtigt werden und Gewinn das was „hinten raus kommt“; also die Wertschöpfung abzüglich aller Kosten des Labors.

Bei der zentralen Produktion kann man unterscheiden zwischen industriellen Anbietern und Dentallaboratorien die Dienstleistungen anderen (z. B. Laborzusammenschlüsse) anbieten. Bei den industriellen Anbietern gibt es natio-

nale und internationale Anbieter. Letztere können ihre Produktionsstätten im Ausland besitzen (z. B. Procera mit Produktionsstätten in Schweden, die für den europäischen Markt produzieren sowie in Boston, welche für den US- und kanadischen Markt fertigen). Insgesamt muss auch berücksichtigt werden, ob irgendwelche Lizenzgebühren zu entrichten sind. So gibt es z. B. die Möglichkeit, dass bei jedem Produktionsgang über einen Dongel eine Gebühr abgerechnet wird. Diese Gebühr wird auch bei einer Fehlproduktion fällig. Dies führt neben dem Material- und Zeitverbrauch zu zusätzlichen Kosten. Eine weitere mögliche Kostenquelle sind jährliche Lizenzgebühren für die Software. Hier muss gegebenenfalls geprüft werden, ob dies gerechtfertigt sind. Plausible sind diese Gebühren, wenn Weiterentwicklungen und Verbesserungen („bug fixing“) damit abgedeckt werden.

Ein weiteres Entscheidungskriterium ist die Produktionsart. Hier sind Fertigungstechniken, wie sie beschrieben worden sind, Produktionszeiten und Schnittstellen zu beachten. Offene Schnittstellen haben den Vorteil, dass auf verschiedene Materialien und/oder Fertigungstechnologien zugegriffen werden kann. Neben der Produktionsart spielen auch die zu verarbeitenden Materialien eine gewichtige Rolle. Es gibt Systeme, die nur auf ein Material (und eine Produktionsmethode) beschränkt sind. Nun kann dies evtl. den Bedürfnissen entsprechen. Prinzipiell scheint eine hohe Flexibilität jedoch sinnvoller zu sein, d. h. je offener ein System konzipiert ist, desto zukunftssicherer ist es. Wie auch bei den Produktionstechniken sind für die Materialien offene Schnittstellen von Vorteil. Durch Zugriff auf andere Systeme stehen hierdurch dem Anwender verschiedene Welten offen. Hier kommen die Vorteile dezentraler Produktionsstätten voll zum Tragen. Hier kann aufgrund der höheren Auslastung wirtschaftlicher produziert werden und schneller auf neue Technologien und Materialien reagiert werden. Allerdings haben wirklich offene Systeme einen gravierenden Nachteil. Das Labor, welches sich die einzelnen Komponenten kauft, ist auch für die Funktion verantwortlich, denn jeder Anbieter der Einzel-Komponenten wird natürlich glaubhaft versichern, dass gerade seine Komponente fehlerfrei funktioniert. Um solche hoch komplexen Systeme reibungslos zum Laufen zu bringen (und zu halten!), bedarf es eines beträchtli-

chen Know-hows. Für die Materialauswahl ist auch der eigene Kundestamm von Bedeutung. Kann ich dessen Bedürfnisse mit einem solchen System befriedigen? Daher sollte man vorher die Bedürfnisse ermitteln. Dies gilt hinsichtlich Materialart und durchsetzbare Abgabepreise. Aufgrund dieser Werte lässt sich ein möglicher Umsatz errechnen, der dann den realen Anschaffungs- und Unterhaltskosten gegenüber gestellt werden muss.

Bei der Auswahl der CAD-Software ist neben der Benutzerfreundlichkeit auch die Funktionalität zu beachten. Bei letzterer ist zwischen wirklichem Nutzen und Gimmicks zu unterscheiden. Entscheidend sind die Benutzerführung und die möglichen Indikationen.

Vorteilhaft ist, wenn der Anwender möglichst einfach eine Vielzahl von Restaurationsarten praxisnah umsetzen kann. Neben der Kauflächengestaltung sind auch die Konstruktionen von Teilverblendungen, Girlanden etc. zu beachten. Im Idealfall sollte das gesamte Spektrum der Zahntechnik abgedeckt sein.

Es können sowohl intraorale als auch extraorale Verfahren interessant sein. Neben der grundsätzlichen Entscheidung, ob man das Modell mechanisch oder optisch digitalisieren möchte, oder Anzahl der Achsen ist auch die Größe der aufzunehmenden Objekte von Interesse.

Es gilt eine Vielzahl von Fragen zu stellen: Wie einfach können die abzutasenden Stümpfe positioniert werden? Sind aufwendige Justierungen erforderlich? Sind komplexe Geometrien erfassbar? Sind ganze Kiefer scanbar? Wie sieht es mit dem Gegenkiefer/Antagonisten aus? Wie wird mit der Frage der statischen/dynamischen Okklusion umgegangen? Sind spezielle Modellwerkstoffe erforderlich? Ist eine intensive Bearbeitung der Stümpfe (z. B. starkes Unterkehlen) nötig?

Bei der Kostenbetrachtung müssen ebenfalls viele Parameter bedacht werden. Der wohl größte Unterschied besteht generell zwischen Systemen mit zentraler und dezentraler Produktion<sup>1</sup>. Wichtig sind auch die Kosten, die nicht auf den ersten Blick auffallen. Diese liegen meist im Bereich Wartung und Unterhalt. Hier müssen die Verbrauchsmaterialien (Fräsen und/oder anderer Verschleißteile) mit eingerechnet werden. Auch das Säubern und Justieren einer Produktionsanlage muss in die Kostenrechnung miteinbezogen werden. Wie sieht es z. B. mit der Entsorgung von Schleifabfällen aus? Ist die Wartung durch einen eigenen (Zahn-) Techniker möglich oder benötigt dieser eine zusätzliche Schulung? Was kostet ein Wartungsvertrag?

Ein weiterer wichtiger Punkt für ein Fräszentrum ist, dass hier der Schritt vom handwerklich denkenden Dental-labor zu einem industriellen Produktionsort getan werden muss. Dazu gehört v. a. auch der Gedanke an eine eigene Entwicklungsabteilung, die den technischen Fortschritt beobachten und gegebenenfalls in den Pro-

duktionsprozess einfließen lassen muss. Werden hier technische Fortschritte negiert, wird dies mittelfristig wahrscheinlich zu gravierenden Problemen hinsichtlich der Wettbewerbsfähigkeit bezüglich Kosten, Zeit und Qualität kommen. Bei Systemen, die durch das Labor einzeln eingekauft werden, d. h. es gibt verschiedenen Anbieter der Systemkomponenten (Scanner, CAD- und CAM-Software, Produktionsgeräte) muss die (fortlaufende) Funktion gewährleistet werden. Hier zu ist es zwingend notwendig Know-how in der eigenen Firma aufzubauen. Beim Material sind bei zentraler Produktion die Kosten pro Einheit zu vergleichen. Bei einer dezentralen Produktion müssen die Kosten der Rohlinge (Blanks) verglichen werden, bzw. wie viel Einheiten können pro Rohling produziert werden. Aber auch die Beurteilung des möglichen System-Lieferanten ist von großer Wichtigkeit. WATAHA stellte eine Liste mit fünf grundsätzlichen Forderungen zur Auswahl von Legierungslieferanten auf<sup>2</sup>. Aus seiner Sicht sind folgende Anforderungen an einen Lieferanten von Dentallegierungen zu stellen:

1. Firma mit eigener Dentalabteilung und langer Erfahrung im Dentalbereich (mind. 20 Jahre)
2. Firma mit eigener Entwicklungsabteilung
3. Firma die auch biologische Daten liefert
4. Firma mit eigenem Service/ außendienst
5. Firma, die Informationen herausgibt und Hilfestellung leistet

All diese Forderungen lassen sich auch direkt auf die Anbieter von CAD/CAM-Systemen übertragen.

CAD/CAM-Systeme lassen sich nach verschiedenen Gesichtspunkten unterscheiden. Der potentielle Anwender muss sich nun überlegen, welche Parameter für ihn entscheidend sind. In der folgenden Tabelle (Tab. 1) ist ein Beispiel gegeben, wie ein individuelles Anforderungsprofil aussehen könnte. Die Aufstellung sollte natürlich noch weiter auf die jeweiligen Bedürfnisse des Dentallabors erweitert werden.

## Ausblick

---

Im Jahr 2009 sind die CAD/CAM-Systeme im zahntechnischen Alltag angekommen. Zirkoniumdioxid hat sich als neuer Gerüstwerkstoff in der Prothetik etabliert.

Allerdings muss er noch seine Langzeitstabilität zeigen. Auch die Eigenschaft als „Eierlegendewollmilchsau“ muss sich noch beweisen. Dem zahntechnischen Labor stehen noch einige große Herausforderungen bevor.

Der Preisdruck, begründet durch die politische Situation und dem großen Preisdruck durch preiswerten Zahnersatz z. B. aus China, wird den deutschen Zahntechniker zu neuen Denkweisen zwingen. So wie er seit Jahren konfektionierte Geschiebe bezieht, wird es wohl zu einem Großteil an industriell hergestellten Gerüsten kommen.

Eine weitere große Herausforderung werden die intraoralen Scanner sein. Der neue Rohstoff der Zahntechnik wird der digitale Datensatz sein.

Diesem gilt es sich zu sichern, um zu bestehen. Neue Materialien werden zukünftig Einzug in die Zahnmedizin erhalten. Neue Produktionstechniken werden zu effizienteren Arbeitsabläufen führen. Es wird zumindest nicht langweilig sich mit der Thematik CAD/CAM auseinander zusetzen.

MERKMAL	JA	NEIN
<b>HERSTELLER</b>		
Etabliert im Dentalmarkt (wie lange?)		
Erfahrung in Teilbereichen (z. B. Software-Entwicklung, Geräteproduzent)		
Erfahrungen zum Hersteller aus validen Quellen erhältlich?		
<b>PRODUKTIONSORT</b>		
Zentral Produktion im Labor/Praxis		
Dezentrale Produktion		
<b>PRODUKTIONSARTEN</b>		
Fräsen/Schleifen		
Rapid-Prototyp-Verfahren (z. B. Laserschmelzen)		
Andere		
Kombinationen		
<b>INDIKATIONEN</b>		
Veneers		
Inlays/Onlays		
Kronen		
Käppchen		
Gerüste mit reduzierte anatomischer Form		
Völlig unverblendet („Vollguß“, d. h mit Okklusion)		
Brücken		
Spannweite max. ____ gliedrig		
Völlig unverblendet („Vollguß“)		
Teilverblendung		
Vollverblendung		
Implantate		
Attachments		

Schablonen		
<b>MERKMAL</b>	<b>JA</b>	<b>NEIN</b>
<b>MATERIALIEN</b>		
Metalle		
EMF-Legierungen		
Titan		
EM-Legierungen		
Keramiken		
Zirkoniumdioxid (geht)		
Zirkoniumdioxid (im Grün-Zustand)		
Aluminium-basierte Keramiken		
Infiltrationskeramiken (z. B. In-Ceram-System)		
Reaktionskeramiken		
Kunststoffe		
Andere Werkstoffe		
<b>SCHNITTSTELLEN</b>		
Offenes System		
Geschlossenes System		
<b>SOFTWARE</b>		
Zufriedenstellende Bedienbarkeit		
Umsetzbarkeit aller gewünschten Indikationen		
Updatefähigkeit gesichert		
<b>ZEITAUFWAND</b>		
Weitgehend automatisiert		
Weitgehend manuell		
Arbeitsvorbereitung		
Wartung/Instandsetzung		
<b>KOSTENRAHMEN</b>		

Anschaffungspreis der Produktionsgeräte		
Unterhaltung (Strom, Wasser, Gase, Verbrauchsmaterial etc.)		
<b>MERKMAL</b>	<b>JA</b>	<b>NEIN</b>
Wartung/Unterhaltung (z. B. Wartungsvertrag)		
Lebensdauer der Anlage		
Preise für Material/Rohlinge		
Ausbildung des Personals (Fortbildung)		
Software-Updates		
<b>SONSTIGES</b>		
<b>Support</b>		
In deutscher Sprache		
Telefonischer Support		
Anbieter hat einen Außendienst vor Ort		
Internet		
Lieferzeit		
Der Anlage		
Der Verbrauchsmaterialien		
Ersatzteile		

Tab. 1: Beispiel einer (sicherlich unvollständigen) Checkliste für den Zahntechniker zur Entscheidungsfindung, welches CAD/CAM-System für ihn das geeignetste ist.

## Literatur

1. Lahl C. Der Einsatz der CAD/CAM-Technologie in der Zahnheilkunde - eine Literaturübersicht. Abt f exp Zahnheilkunde. Berlin: Freie Universität, 2002.
2. Wataha J. Selecting a manufacturer for dental casting alloys. Can J Dent Technol 2001:60-61.

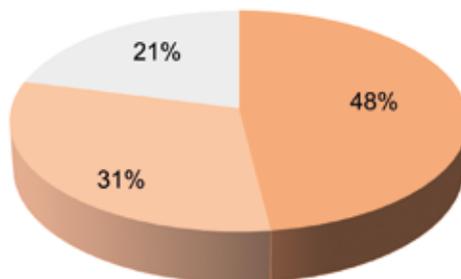
In den letzten Jahren haben sich einschneidende Veränderungen für die Zahntechnik ergeben: Neben politischen Vorgaben haben auch neue Materialien (zum Beispiel Zirkonoxid) und Produktionsverfahren (zum Beispiel das SLM-Verfahren) Einzug in die Zahntechnik gehalten. Die CAD/CAM-Fertigung ist mittlerweile zum Standard im Dentallabor geworden.

Anfänglich wurde CAD/CAM mit dem Fräsen gleichgesetzt. Entwicklungen auf dem PC-Sektor und die Einführung des Zirkons rückten die CAD/CAM-Technologie Mitte der Neunzigerjahre in den Mittelpunkt. Seitdem haben sich moderne Materialien und Produktionsverfahren um diese Technologie gebildet und ihren Platz im Dentallabor gefunden. Die Zeiten, in denen ein CAD/CAM-System lediglich als Status-Symbol angeschafft wurde, sind längst vorbei: In Deutschland benutzten 2011 zirka 80 Prozent aller Dentallabors in irgendeiner Form die CAD/CAM-Technologie (Abb. 1).

Das Standardverfahren im Labor ist die Herstellung von Gerüsten und deren Verblendung. Der CAD/CAM-Prozess kann an unterschiedlichen Stellen des konventionellen zahntechnischen Prozesses eingreifen (Abb. 2). Was aber ist für das jeweilige Dentallabor sinnvoll? Die Geschichte der CAD/CAM-Technologie reicht bis in die Siebzigerjahre zurück. Arbeitsgruppen um Duret [1-4], Rekow [5-14] und Brandestini/Mörmann [15-19] leisteten hier Pionierarbeit und nahmen schon viele Entwicklungen vorweg.

Technisch waren aber die Ideen zum Teil nicht umsetzbar, weil unter anderem die Rechengeschwindigkeiten zu langsam und die Speicherkapazitäten zu teuer und nicht ausreichend waren.

**Abb. 1** Laut der Gesellschaft für Konsumforschung (GfK) kauften 2011 48% der Dentallabore Leistungen von einem Produktionszentrum (Fräszentrum) ein, 31% hatten ein eigenes CAD/CAM-System. Lediglich 21% der Dentallabore nutzten keine CAD/CAM-Systeme.



■ DL die bei Fräszentren einkaufen ■ DL mit eigenem CAD/CAM  
 ■ DL ohne CAD/CAM

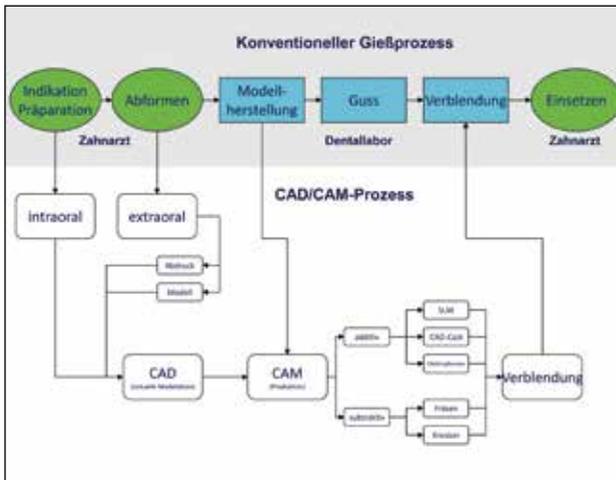


Abb.2 Gegenüberstellung: Konventionelle Herstellung von Gerüsten mit Verblendung und CAD/CAM-Prozess

So dauerte die Berechnung eines einfachen Kappchens im Jahr 1998, als die Entwicklung für das Bego Medical System begann, etwa sieben Stunden! Viele der heute angepriesenen Neuheiten wurden bereits in der Vergangenheit angedacht bzw. sind schon lange auf dem Markt. Auch das Scannen in der Mundhöhle (intraorales Scannen) ist schon seit Mitte der Siebzigerjahre bekannt. Das Cerec 1 System arbeitete damals mit einem intraoralen Scanner [20,21].

## Industrielle Herstellung von Zahnersatz

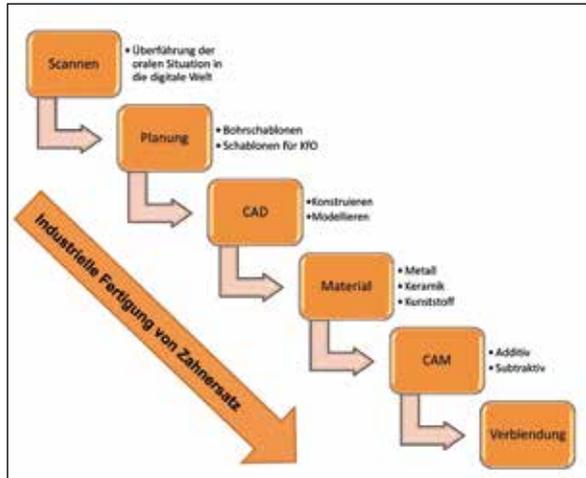
CAD/CAM in der Zahnheilkunde meint letztendlich die industrielle Herstellung von Zahnersatz. Die Problematik: Es handelt sich um die industrielle Produktion von Unikaten bei einer Vielzahl an Indikationen und Materialien. Im Gegensatz zur Produktion von Autos, Fernsehern oder Schrauben sieht jedes Produkt anders aus.

Zentrale Aspekte für die Herstellung mit CAD/CAM sind:

- Präzision (im  $\mu\text{m}$ -Bereich)
- Zulassung (Medizinprodukte)
- Mechanik
- zahntechnische Ver- und Bearbeitbarkeit
- chemische Eigenschaften (Korrosion, Löslichkeit, Verfärbung) und
- Biokompatibilität.

Der gesamte Prozess der industriellen Herstellung von Zahnersatz umfasst mehrere Schritte (Abb. 3), die unter Umständen an unterschiedlichen Orten stattfinden. Zunächst wird die orale Situation digitalisiert. Dann kann die Versorgung geplant und konstruiert werden. Zur Verfügung stehen mehrere Verfahren sowie Materialien. Der industrielle Prozess stellt andere Anforderungen als das handwerkliche Vorgehen. Eine Serienproduktion muss möglichst hoch automatisiert, die Arbeitsschritte optimiert werden,

Abb. 3 Prozessschritte der industriellen Herstellung von Zahnersatz



um die Investitionen abzudecken und die Preise der hergestellten Produkte zu senken. Ab einer gewissen Stückzahl ist jeder Cent relevant.

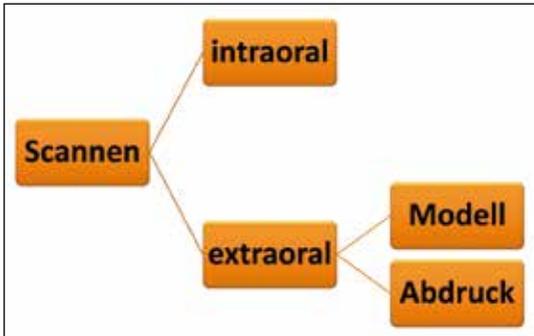
### Der Scan-Prozess

Es gibt viele Arten, Zahnersatz zu fertigen: Er lässt sich direkt im Mund herstellen, zum Beispiel durch Verwendung plastischer Füllungsmaterialien (Amalgame, Kunststoffe).

Bei den indirekten Verfahren ist immer die Abformung als Grundlage für ein Modell notwendig. Die herkömmliche Abformung generiert der Zahnarzt, indem er die orale Situation mithilfe eines plastifizierbaren Materials abbildet. Hierbei handelt es sich meist um Silikone oder Polyether, aber auch andere Materialien lassen sich verwenden. Die Abdrucknahme ist für die Patienten oft unangenehm.

Zudem kann das Material beim Herausnehmen aus dem Mund gestaucht werden.

Dies führt im schlimmsten Fall zu einem Druckverformungsrest, und das Modell stimmt nicht mehr mit der Mundsituation überein. Auch eine falsche Verarbeitung (Anmischen der Abformmaterialien, zu frühes Entnehmen ...) oder unzureichende Ausbildung des Abdrucknehmenden können zu erheblichen Fehlern führen. Sogenannte intraorale Scanner sollen das vermeiden. Die Systeme bergen jedoch Nachteile [22]: Neben dem hohen Preis sind die Scanner unhandlich und benötigen noch das Einpudern der Zähne.



**Abb. 4** Intraoral oder extraoral? Extraoral können entweder die Abformung oder das Modell gescannt werden

Der Abformende muss wissen, auf was er achten soll, denn: Kann er die analoge Abformung nicht sachgerecht vornehmen, wird er auch mit einem digitalen System keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzielen. Allerdings kann er bei Letzterem das Ergebnis am Bildschirm kontrollieren. Um mit einem CAD/CAM-System arbeiten zu können, muss eine virtuelle Abbildung der oralen Situation vorliegen. Dies kann durch das intraorale oder durch das extraorale Scannen geschehen (Abb. 4). Das extraorale Scannen ist ineffizient, denn es wird die Abformung gescannt. Die moderne Technik ist die Digitalisierung von Gipsmodellen mit licht-optischen Systemen oder Lasern durch den Zahntechniker. Das mechanische Erfassen ist möglich, aber recht zeitaufwendig und daher nicht verbreitet. Ein Problem von licht-basierten Scannern sind Reflexionen und Unterschnitte.

Hier geben die Hersteller unterschiedliche Lösungsansätze vor, zum Beispiel das Nachscannen von nicht erfassten Arealen oder ausgeklügelte mehrach-

sige Scannersysteme. Auch der Modellwerkstoff kann zu Problemen führen: Ist er zu dunkel, wird Licht zu stark absorbiert (verschluckt), und es kommt zu Fehlmessungen.

Gipse mit Kunststoffanteilen oder reine Modellkunststoffe können auch zu Schwierigkeiten führen, weil das Licht oder der Laserstrahl in das Modell eindringen und es somit ebenfalls zu Fehlmessungen kommen kann [23]. Fehlmessungen beim Abtasten mit Laserstrahlen können entstehen, wenn die Rauigkeit des Modellwerkstoffes in derselben Größenordnung wie die Wellenlänge des abtastenden Lasers liegt (Speckle-Effekt). Während beim extraoralen Scannen entsprechende Modellwerkstoffe entwickelt werden können, ist man beim intraoralen Scannen naturgemäß festgelegt.

Die herkömmlichen Scanverfahren erfassen die oberflächlichen Weichgewebe und Zähne. Grundsätzlich ist das für die konventionelle konservierende und prothetische Zahnheilkunde ausreichend. Soll implantologisch gearbeitet werden, sind mehr Informationen notwendig: Wo verlaufen die Nerven? Wie ist das Knochenangebot? Daher kommen sogenannte bildgebende Verfahren ins Spiel. Durch Röntgen, Computertomographie oder digitale Volumetomographie sind weitere Informationen erfassbar (Abb. 5). Nachteilig ist jedoch eine zusätzliche Strahlenbelastung des Patienten.