

Digitalisierung in der Zahntechnik

Moderne (Computer-)Technik in Zahnarztpraxis und Dentallabor: Für präzise, individuelle und hochwertige Ergebnisse

VORWEG:

Das Wort „Digitalisierung“ bezeichnet allgemein die Umwandlung (Codierung) von Schrift, Bild, Ton usw. in eine mit Computern bzw. in Computer-Netzwerken weiterverarbeitbare Form. (Früher wurden z. B. Fotos auf einen Film belichtet, die sog. „analoge“ Methode. Heute werden die Bilder als Daten z. B. auf einen Chip gespeichert: Diese sog. digitalen Daten können dann in Computern weiterverarbeitet und über Netzwerke ausgetauscht werden. Über einen Daten-Austausch kann man die Bilddaten an ein Fotostudio zum Ausdrucken senden, ins Internet stellen, an Freunde mailen. Je „offener“ die Daten sind, desto mehr Systeme lassen sich einbinden; man ist dann nicht nur auf die Geräte und Systeme eines Hersteller angewiesen.)

Jeder kann sein privater Objekt-Designer sein – und seine Objekte auch anfertigen lassen

„Mama, Papa – ich bin dann jetzt mal am Computer und lass mir meine selbst entworfene Fantasy-Figur ausfräsen und zuschicken!“ Was Ihr Sprössling da macht, ist ein Zugriff auf hochmoderne Fertigungstechnologie – „Fabbing“ genannt (das englische Wort „fabrication“ bedeutet „Fertigung“), im Industriebereich auch „Rapid Manufacturing“ (kurz: RM; „schnelle Fertigung“). Fabbing ist das Fabrizieren, das Herstellen von individuellen dreidimensionalen Endprodukten als Einzelstück oder in Klein(st)serien für den Konsumentenbereich. Konsumenten, wie Ihr Sohn oder Ihre Tochter, können heute Produkte nach ihren Vorstellungen selbst gestalten. Über Softwareprogramme (Tools), die z. B. gleich mit über das Internet verfügbar gemacht werden, entwerfen und bearbeiten sie ihre Vorlagen, die dann für sie von einem Anbieter individuell angefertigt werden. „Anfertigen lassen“ bedeutet, vereinfacht gesagt: Sie drücken einen Befehl, und wie über einen Drucker für Papier wird der Entwurf ebenfalls ausgedruckt – nur diesmal dreidimensional („3-D“) auf einen 3-D-Drucker (auch „Digital Fabricator“, kurz „Fabber“, genannt). Und statt Papier zu bedrucken, wird der Entwurf z. B. ausgefräst (über sog. „Subtraktive Fabber“) aus Materialblöcken der Wahl. Deshalb nennt sich das Ganze auch „dreidimensionaler Druck“ oder kurz: 3-D-Druck. Es gibt auch sog. „Formende Fabber“: Über sie wird das Material durch Anwendung äußerer Kräfte zum Gegenstand geformt. „Hybride Fabber“ kombinieren mehrere der vorher genannten Verfahren.

Sie möchten jetzt einmal Beispiele sehen?

___ www.figureprints.com beispielsweise bietet den „dreidimensionalen Druck“ von Fantasy-Figuren an, die jugendliche Kunden am PC zusammenstellen und einkleiden können.

___ Und unter www.ponoko.com kann man einfache Designs hochladen und sich die dreidimensionale Umsetzung dann zuschicken lassen.

Vorreiter für die Herstellung von Objekt-Klein(st)serien per Computer: die Industrie

Angefangen hatte die Herstellung von Klein(st)serien über den Computer bereits schon früher, im Bereich der Erstellung von Prototypen, mit dem sog. „Rapid Prototyping“ („schneller Prototypenbau“). Ein Prototyp ist ein Vorab-Exemplar einer späteren Serienfertigung und dient zur Erprobung von Eigenschaften.

Da sich das Rapid Prototyping mit Erfolg bewährte, folgte das „Rapid Manufacturing“ (kurz: RM; „schnelle Fertigung“) als kostengünstige, flexible Methode für die Erstellung von Klein(st)serien direkt aus dem Computer. (Diese Verfahren werden auch „generative Verfahren“ genannt, abgeleitet von dem lateinischen Wort „generare“: „herstellen“.) Das Interessante ist: Weder Sie noch Ihr Sprössling noch der Designer noch das Industrie-Unternehmen müssen eigene (teure) Werkzeuge und Materialien vorhalten, um in die Produktion einzusteigen. Das übernehmen die Fertigungs-Center. Als Grundlage der Fertigung dienen zumeist CAD-Daten. („CAD“ steht als Abkürzung für: „Computer Aided Design“; übersetzt etwa: „computergestützter Entwurf“ oder „computerunterstützte Konstruktion“, d. h. die Konstruktionsunterlagen wurden mit Hilfe von Software auf dem Computer erstellt.) CAD kommt zum Einsatz z. B. beim Anlagenbau, Maschinenbau (Kraftfahrzeuge, Flugzeuge, Schiffe), in der Architektur, im Bauingenieurwesen, in der Medizin (ebenfalls in der Zahnmedizin), Hörgerätetechnik, im Grafik- und Modedesign. Verwendete Materialien sind u. a. Glas, Metall, Keramik, Kunststoffe und neue Materialien. Die Medizintechnik ist einer der Vorreiter in diesem Bereich; ein weiterer Vorreiter ist der Bereich Flugzeugbau.

Vorreiter bei der Nutzung der neuen Technologien: Medizintechnik – und auch Dentaltechnik

Rapid Manufacturing, die Produktion von Klein(st)serien direkt aus dem Computer, hat sich heute schon für die unterschiedlichsten Anwendungen und besonders auch für Nischenbereiche etabliert. Einer der Bereiche, in dem diese neuen Produktionstechniken besonders genutzt werden, ist die Medizintechnik. Die Anfertigungen sind vorwiegend Einzelanfertigungen individueller, patientenspezifischer Produkte. (Beispiel: die Herstellung von Schädelknochen-Ersatzteilen, besonders für Unfallopfer, Opfer von Angriffen und bei Berufsverletzungen z. B. bei Soldaten) Auf Fachkongressen, die u. a. auch in Deutschland stattfinden, gilt das Hauptaugenmerk der Operationsplanung, der Herstellung von Phantomen (ein „Phantom“ bezeichnet in der Medizin und Zahnheilkunde eine naturgetreue Nachbildung für Operationsübungen und Demonstrationen), Implantaten und Prothesen sowie Operationshilfsmitteln wie Schablonen, Materialien für künstliche Gewebe, Knorpeln und Knochen sowie der Entwicklung künstlicher Organe.

In diesem hochspezialisierten Fachbereich des Rapid Manufacturing ist ein Sektor die Dentaltechnik (auch „Zahn-technik“ genannt). Hersteller fokussieren sich mehr und mehr darauf, komplette Zahnersatz-Herstreckungen für Zahnärzte und Dentallabore anzubieten bzw. zu bedienen, in denen alles abgedeckt wird: vom Scannen (Aufnehmen der Zahn-/Kiefersituation per „professioneller Kleinstkamera“) über das Designen des Zahnersatzes am Computer bis hin zum Erstellen (der Basis) des Zahnersatzes über wiederum computergesteuerte Geräte. Das sog. Verblenden der Zähne, d. h. die Herstellung des Teils des Zahnersatzes, der von außen sichtbar ist, bleibt nach Information der Anbieter weiterhin fachliche Handarbeit. Die Natur lässt sich hier noch nicht per Knopfdruck nachbilden.

Im Bereich der Dentaltechnik, im Bereich der Herstellung von Zahnersatz, sind neben der präzisen Erstellung der Fertigungsdaten für den anzufertigenden Zahnersatz noch viele weitere, ganz besondere Faktoren zu berücksichtigen, die über die Anforderungen der computergestützten Fertigung von Objekten beispielsweise für den Konsumentenbereich weit hinausgehen. Zu den besonderen Anforderungen im Bereich der Herstellung von Zahnersatz gehören z. B.:

- ___ körperverträgliche Materialien,
- ___ hohe und sichere Qualität der Materialien (Belastbarkeit, Bruchfestigkeit, Langlebigkeit etc.),
- ___ ästhetische Aspekte,
- ___ Verträglichkeit mit anderen (bereits im Mundraum vorhandenen) Materialien,
- ___ rechtliche Aspekte,
- ___ Wirtschaftlichkeit.

Außerdem müssen alle in dieser digitalen Zahnersatz-Produktionskette mitarbeitenden Geräte „die gleiche Daten-Sprache“ sprechen bzw. die Daten untereinander ohne Informationsverlust „verstehen“ können: Wenn der Zahnarzt ein „digitales Werkzeug“ benutzt wie z. B. eine kleine mobile Kamera, um den präparierten Zahn, das Zahnumfeld und den Gegenspieler des Zahns im gegenüberliegenden Kiefer im Mund des Patienten aufzunehmen und die so gewonnenen Daten direkt in den Computer einspeichert, dann müssen diese Daten später auch vom weiterverarbeitenden Dentallabor verwendet werden können, um den Zahnersatz vorzubereiten oder am Computer zu konstruieren. Beide Beteiligten – Zahnarztpraxis und Dentallabor – müssen eine Daten-Sprache sprechen. Und dann natürlich auch das den Zahnersatz fertigende Unternehmen. Das wird das Dentallabor selbst sein, aber auch ein Zulieferer, der (im Auftrag des Dentallabors) dem Dentallabor Basisteile des Zahnersatzes liefert, die dann vom Dentallabor ästhetisch und funktional meisterlich fertiggestellt werden.

Wichtig ist für einen perfekt sitzenden, langlebigen und wirklich gut aussehenden Zahnersatz: Das Dentallabor sollte im kollegialen Team mit dem Zahnarzt die Produktion des Zahnersatzes in fachlicher Hand halten. Denn: Der Beruf des Zahntechnikers ist ein Ausbildungsberuf über mehrere Jahren mit intensiver Schulung, Materialkunde und der Gewinnung von ästhetischem Erfahrungswissen in der Fertigung. Und als Zahntechnik-Meister ist man in der Tat Meister dieses Faches. Dieses umfassende Erfahrungswissen kann keine Technik ersetzen.

Zahnersatz: Wie kann eine digitale Fertigungskette für die Erstellung von Zahnersatz direkt aus dem Computer aussehen?

Ständige Neuentwicklungen in hochspezialisierten Berufen wie der Zahntechnik fordern von den Mitarbeitern Flexibilität, lebenslange Fortbildung und Offenheit. Heute gehören dazu die immer weiter zunehmende digitale Planung und auch Umsetzung des stets individuellen Zahnersatzes. Die computergestützten Technologien sollen Sicherheit, Präzision und Zuverlässigkeit in der Zahnheilkunde und in der Fertigung des Zahnersatzes erhöhen. Gleichzeitig wachsen die Anforderungen von Seiten der Patienten an den Zahnersatz: Neben der Wiederherstellung der Funktionalität (wieder kauen, schlucken, sprechen können) soll die natürliche Ästhetik wiederhergestellt oder sogar optimiert werden (natürlich-schöne Zähne, um wieder offen lächeln und frei lachen zu können). Zudem möchten immer mehr Patienten heute schon vor Behandlungsbeginn wissen, welche Auswahl-Möglichkeiten sie beim Zahnersatz haben, wie er später aussehen wird und welche Möglichkeit wieviel kosten wird. Kurz: „Welche Vorteile bietet welche Zahnersatz-Möglichkeit – und was kostet es?“ Bei der Anwendung der neuen digitalen Technologien sind Zahnarzt und Zahntechniker in ihrer kollegialen Zusammenarbeit stärker gefordert als je zuvor.

Bei der Digitalisierung im Bereich der Zahntechnik kommen in den Dentallaboren – und auch in den Zahnarztpraxen – u. a. zum Einsatz:

Digitale „Außen-“Kameras („Extraorale Kameras“; „extraoral“ = „außerhalb des Mundraumes“)

Den ersten digitalen Breiteneinsatz erfuhren die Patienten mit dem Aufkommen der professionellen Digital-Kameras: Die Zähne, die Mund-Situation und der äußere optische Eindruck für das Zahnerscheinungsbild konnten nun durch digitale Kameras aufgezeichnet werden. Der Nutzen dieser Aufnahmen: Es ist beispielsweise für den Zahntechniker sehr hilfreich, den Patienten vor der Behandlung zu sehen, um, bevor beispielsweise Zähne gezogen werden oder Teile eines Zahns vom Zahnarzt abgetragen werden, den Original-Eindruck der Zahnform, Zahnfarbe und Zahnstellung im Verhältnis zum gesamten Erscheinungsbild zu erfassen. Das ist mittels eines Abdrucks allein nicht gegeben. Meistens ist das persönliche Sehen des Patienten für den Zahntechniker aus rein praktischen Gründen im Organisations-Ablauf der Zahnarztpraxis nicht möglich. So nahm der Zahnarzt, teilweise auch der Zahntechniker bei Anwesenheit oder bei Übersendung des Patienten in das Dentallabor durch den Zahnarzt, über eine professionelle Digital-Kamera Bilder des Patienten auf, teils auch Videoaufnahmen. Bei der Fertigung des Zahnersatzes kann das Dentallabor somit möglichst stimmig im ästhetischen, natürlichen Gesamtbild des Patienten bleiben. Und mittels der digitalen Aufnahmen lassen sich über Spezial-Software ästhetische Möglichkeiten für den Patienten visualisieren: „So könnte es später aussehen.“ Aufnahmen über die Digital-Kamera während der Behandlung dienen zudem der Dokumentation (vorher – nachher).

Digitale Intraoral-Kameras („intraoral“ = „im Mundinnenraum“) – einschließlich „Digitales Intraorales Scannen“ (Mund-Scanner; „scannen“ = „berührungsfreies Abtasten von Objekten mit digitalen Aufnahmetechniken“)

Intraoral-Kameras

Intraoral-Kameras sehen oft aus wie ein dicker Kugelschreiber. Vorne, an der Spitze, wo beim Kugelschreiber normalerweise die Mine zu sehen ist, sitzt das hochpräzise Objektiv, das selbst kleinste Winkel im Mund genauestens erfassen kann. Die Bilddaten können (über ein an der Intraoral-Kamera befestigtes Kabel) direkt auf einen Computermonitor (der sich z. B. zur Ansicht auch für den Patienten direkt am Patienten-Behandlungsstuhl befindet) übertragen, gespeichert und dann an das Dentallabor übertragen werden. Mittels einer Intraoral-Kamera lassen sich Problematiken oder krankheitsbedingte Veränderungen der Mundhöhle am Bildschirm aufzeigen. Vorteile einer Intraoral-Kamera gegenüber dem Mundspiegel sind des Weiteren:

- ___ gleichmäßige Ausleuchtung (über die Kamera wird auch das Mundinnere beleuchtet – über spezielle LEDs),
- ___ räumliche Tiefe,
- ___ höchste Bildschärfe,
- ___ x-fache Vergrößerungsmöglichkeiten der gewonnenen Daten.

Moderne Intraoral-Kameras bieten verschiedene Einstellungs-Möglichkeiten:

- ___ Man kann entweder einzelne Zähne aufnehmen.
- ___ Oder größere Bereiche des Mundinnenraumes (z. B. Unterkiefer und Oberkiefer im Zusammenbiss).
- ___ Oder die Intraoral-Kamera kann umgeschaltet werden für extraorale Aufnahmen („Intraoral-/Extraoral-Kamera“).
- ___ Neben Standbildern können auch bewegte Bilder (Videos) aufgezeichnet werden.
- ___ Und sie arbeiten teilweise auch als sog. „Digitale Scanner“ (siehe dazu weiter unten).

Digitales Intraorales Scannen (Mund-Scanner; „scannen“ = „berührungsfreies Abtasten von Objekten mit digitalen Aufnahmetechniken“)

Ein Scanner ist ein Eingabegerät für den Computer, das Bereiche abtastet und, im Bereich der Zahntechnik, in digitale „dreidimensionale“ Informationen übersetzt, die dann im Computer weiterverarbeitet werden können (z. B. für das „Rapid Manufacturing“ [RM]; s. o.). Die äußere Form dieser Intraoralen Scanner ist bekannt von den Intraoralen Kameras: Die Form gleicht der eines dicken Kugelschreibers. Dort, wo normalerweise die Mine zu sehen ist, sitzt das hochpräzise Objektiv, das selbst kleinste Winkel im Mund genauestens erfassen und an den Computer weiterleiten kann. Teilweise muss im Mundraum ein sog. „Scan-Spray“ verwendet werden, bevor die Daten aufgezeichnet werden können. Die aufgezeichneten Daten gehen dann zu dem Dentallabor, das den Zahnersatz anfertigt. Das Dentallabor plant den Zahnersatz auf der Basis der gelieferten Daten und gibt, je nach eigenen Fertigungs-Schwerpunkten, Teile der Fertigung z.B. an ein Fertigungszentrum weiter, das z. B. die tragenden Gerüste (den nicht sichtbaren „Innenteil“) für den späteren Zahnersatz herstellt. Diese Gerüste werden in das Dentallabor zurückgeschickt, um dort in Handarbeit verblendet (die Außenseiten werden fachmännisch und meisterlich erarbeitet) bzw. fertiggestellt zu werden. Wichtig ist für einen perfekt sitzenden, langlebigen und wirklich gut aussehenden Zahnersatz: Das Dentallabor sollte im Team mit dem Zahnarzt die Produktion des Zahnersatzes in fachlicher Hand halten.

Ein Vorteil des Digitalen Intraoralen Scannens („digitaler Abdruck“): Auf einen tatsächlichen Abdruck mit Abdruckmasse kann zumeist verzichtet werden. Aus den ausreichenden und stimmigen Scan-Daten lässt sich auch nachträglich ein (Kiefer-)Modell erstellen, auch ohne den tatsächlichen Abdruck. Inwieweit dieser „digitale Abdruck“ den tatsächlichen Abdruck ersetzen kann, hängt von vielen Faktoren ab (siehe dazu auch unten).

(Frühere) Kritikpunkte am Digitalen Intraoralen Scannen waren: Fehler beim Scannen (beim Einlesen der Daten); Lieferung zu geringer Daten-Informationen; die Tatsache, dass trockene Bereiche am besten gescannt werden können (was nach der zahnärztlichen Behandlung mit Speichel und auch ggf. vorhandenem Blut im Mundraum nicht immer der Fall ist); der Scanner kann nicht unter die Schleimhaut sehen; mangelnde Kontrolle des Gegenbisses (was durch einen Abdruck mit anschließender Modellerstellung vorher weitgehend vermieden wurde). FAZIT: Aufgrund nicht stimmiger Scan-Daten hatte das Dentallabor oft große Probleme, wirklich passenden Zahnersatz herzustellen: Dem Dentallabor fehlte die nachprüfbar kontrollierte Überführung von einem vom Zahnarzt gelieferten Abdruck und das dann auf der Basis des Abdrucks erstellte Modell.

Digitales Röntgen („röntgen“ = das Durchstrahlen eines Körpers mit Röntgenstrahlen unter Verwendung eines Röntgenstrahlers; die gewonnenen Bilder werden zumeist auf geeignetem Filmmaterial [Röntgenfilm] sichtbar gemacht)

Beim herkömmlichen Röntgen werden Röntgenstrahlen (das sind elektromagnetische Wellen, die einen Röntgenfilm schwärzen können) durch den Körper gesendet. Dabei werden sie durch den Körper teilweise abgeschwächt, und das wiederum verändert das Bild auf dem Röntgenfilm. Der Grad der Strahlen-Abschwächung hängt vom Gewebe ab: Weiches Gewebe wie Fett, Muskeln und Haut nimmt weniger Strahlung weg; das harte Gewebe wie Knochen nimmt viel Strahlung weg. Deshalb wird ein Knochen auf einem Röntgenbild auch als weißes „Objekt“ dargestellt. Zum Einsatz kommen zudem sog. Röntgenkontrastmittel: Sie erhöhen den Kontrast von Organen und Organsystemen, damit man später zwischen Geweben mit ähnlicher Röntgendichte unterscheiden kann. Röntgenstrahlen durchdringen alle Gewebe des menschlichen Körpers und können zu Schädigungen führen, vor allem dadurch, dass sie die Zellteilung beeinträchtigen. Knochenmark und Keimzellen können geschädigt werden. Gibt es eine Röntgenstrahlen-

Einwirkung auf die Haut, können Verbrennungen verschiedenen Grades entstehen. Strahlenschutz ist deshalb ein Muss für Patienten und Personal.

Im Bereich der Zahnmedizin und für die spätere zahntechnische Herstellung des Zahnersatzes können geröntgt werden:

- ___ einzelne Zähne,
- ___ begrenzte Kieferbereiche,
- ___ aber auch der gesamte Kiefer (sog. „Panorama-Aufnahmen“).

Das Digitale Röntgen dient zur Diagnose und zur Verlaufskontrolle. Besonders bei Karies können durch digitales Röntgen erkrankte Stellen sichtbar gemacht werden, die bei normaler Betrachtung im Mund noch nicht erkennbar sind. Auch z. B. vor Behandlung einer Parodontitis, bei einer Wurzelbehandlung, beim Einsetzen von Kronen oder vor dem Ziehen von Zähnen können Röntgenaufnahmen hilfreiche Informationen liefern. Dem Zahntechniker bieten sich wichtige Informationen für die Planung und Erstellung des Zahnersatzes.

Beim Digitalen Röntgen ohne Röntgenfilm kommen andere Geräte zum Einsatz als beim herkömmlichen Röntgen.

- ___ Z. B. kann – für bestimmte Aufnahmen ausreichend – ein Sensor an die betreffende Stelle gehalten werden, und nach wenigen Sekunden sind die Daten in den Computer eingelesen.
- ___ Geröntgt wird für 3-D-Röntgenaufnahmen (dreidimensionale Röntgenaufnahmen) ebenfalls über größere Geräte, wie Computertomographen (s. u.) oder Digitale Volumetomographen (s. u.).

Computertomographen (Computertomographie = kurz „CT“) ermöglichen es, das Knochenangebot zu vermessen und die Knochenqualität zu analysieren. Es sind zudem Schnittbilder möglich, auf denen Höhe und Breite des Knochens direkt abgemessen werden können.

Digitale Volumetomographen liefern Schichtbilder: Die Aufnahmeapparatur dieses speziellen Gerätes macht Aufnahmen, während es um den Kopf des Patienten fährt. Die Aufnahmen haben gegenüber dem CT oft Vorteile im Bereich der Darstellung des Hartgewebes. Die Aufnahme-Ergebnisse ermöglichen unterschiedlichste Ansichten am Computer, z. B. für die dreidimensionale, plastische Darstellung für die Diagnose, Planung und das Einsetzen von Implantaten. Darüber werden dann besonders auch die für das Setzen von Implantaten benötigten Informationen über Quantität und Qualität der Knochen gewonnen sowie Detaildaten auch über das Weichgewebe.

Unterschiede des Digitalen Röntgens gegenüber dem herkömmlichen Röntgen über Röntgenfilm:

- ___ geringere Strahlendosis im Vergleich zu konventionellen Röntgengeräten (oft bis zu 80 Prozent weniger Strahlenbelastung; aber auch hier gelten Strahlenschutzvorschriften für Patienten und Personal);
- ___ die Bilder haben meist eine bessere Qualität als über das herkömmliche Röntgen, so dass eine sehr aussagekräftige Basis für eine diagnostische Aussage geliefert wird;
- ___ weitestgehende Vermeidung von Fehlbelichtungen (und damit unnötige weitere Strahlenbelastungen) durch vorherige Kontrollaufnahmen;
- ___ sofortiges Röntgenergebnis (da keine Filme mehr entwickelt werden müssen; der Einsatz von Chemikalien fällt weg);
- ___ problemloses Archivieren der gewonnenen Daten (nicht mehr so aufwendig wie das Archivieren von Röntgenfilmen);
- ___ schnelle Weiterleitung der Daten (über Datenaustausch);
- ___ umfangreiche Bearbeitungsmöglichkeiten der gewonnenen Daten am Computer;
- ___ geringerer Zeitaufwand.

- ___ **Digitale Axiographie (digitale Aufzeichnung von Kiefergelenkbewegungen),**
- ___ **Virtueller Artikulator (ein mit Hilfe von Computerprogrammen wirklichkeitsgetreu nachgeahmter Mechanischer Artikulator, einem Gerät zur Nachahmung der Kiefergelenkbewegung des Patienten),**
- ___ **T-Scan zur Kontrolle des Zusammenbisses**

Der Unterkiefer ist nicht fest mit dem Oberkiefer verbunden, sondern über ein bewegliches Gelenk. Das Gelenk wird gesteuert über einen komplizierten Muskel- und Faserapparat. Um perfekt sitzenden Zahnersatz herzustellen, ist es notwendig, nicht nur den Zusammenbiss von Unter- und Oberkiefer mittels eines Modelles zu erfassen, sondern auch die Bewegungen des (Unter-)Kiefers (sog. „Axiographie“): Wie finden die Zähne des Unter- und Oberkiefers zusammen? Gibt es Störungen im Zusammenspiel von Kiefergelenken, Muskeln und Zähnen? Die gemessenen Daten werden in einen sog. (mechanischen oder virtuellen; „virtuell“ = „von einem Computer wirklichkeitsgetreu nachgeahmt“) Artikulator übertragen. Artikulatoren sind Geräte zur Nachahmung der Kiefergelenkbewegung. Dafür werden Gipsmodelle der Zahnbögen des Ober- und Unterkiefers in den Artikulator montiert. Anschließend kann die Bewegung der Kiefer zueinander nachgeahmt werden. So weiß der Zahntechniker genau, wie der Zahnersatz erstellt werden muss.

Die Digitale Axiographie ist die digitale Version der Axiographie: Es ist ein elektronisches, nichtinvasives Messverfahren („nichtinvasiv“ = die Geräte werden nicht in den Körper eingebracht), mit der die Bewegungsbahnen des Unterkiefers aufgezeichnet werden. Dazu wird ein Messgestell, ein so genannter Gesichtsbogen, an bestimmten Punkten des Gesichts abgestützt. Das Gerät misst dann elektronisch die Kieferbewegungen und die Beziehung, das Zusammenspiel beider Kiefer zueinander.

- ___ Im Dentallabor werden dann hergestellte Modelle des Ober- und Unterkiefers in dreidimensional korrekter Lage in eine spezielle zahntechnische Apparatur eingesetzt, in den sog. Mechanischen Artikulator, der die Kiefergelenkbewegung des Patienten nachahmen kann. Die über die vorher durchgeführte digitale Axiographie gewonnenen Daten werden dann überspielt. Jetzt lassen sich mögliche gestörte Bewegungsmuster des Unterkiefers genau überprüfen.
- ___ Doch auch der herkömmliche mechanische Artikulator selbst kann ersetzt werden durch einen „Virtuellen Artikulator“. In „Spektrum der Wissenschaft“ stand bereits am 1.12.2002 in einem Artikel „Zahntechnik: Der virtuelle Artikulator“: „Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Graphische Datenverarbeitung in Darmstadt, der Universitätsklinik Greifswald und des Medizintechnik-Unternehmens Kettenbach in Eschenburg entwickeln (...) einen „Virtuellen Artikulator“, der patientenspezifische Vorgänge wie das Verschieben des Unterkiefers im Detail simuliert und auf einem Monitor darstellt. Als Datenbasis dienen Ultraschall-Messungen individueller Bewegungsmuster. Dazu klebt der Zahnarzt mit einem für den Mundraum zugelassenen Sekundenkleber Ultraschallsensoren an den Unterkiefer, deren Positionen relativ zu einem Referenzpunkt an der Stirn während der Kaubewegung gemessen werden. Die Bewegungen der Messpunkte werden auf Kiefermodelle übertragen, die zurzeit noch durch einen räumlichen Scan konventionell gefertigter Gipsabdrücke entstehen. Künftig sollen intraorale Kameras solche Daten direkt im Mund des Patienten erheben.“ Diese „Virtuellen Artikulatoren“ sind also mit Hilfe von Computerprogrammen wirklichkeitsgetreu nachgeahmte Mechanische Artikulatoren – und sie sind heute Wirklichkeit.

Um den Zusammenbiss zwischen Zähnen im Ober- und Unterkiefer zu prüfen, kennen die meisten Patienten von ihrem Zahnarzt das beim Überprüfen des Sitzes des Zahnersatzes zwischen Ober- und Unterkiefer gehaltene blaue oder rote Papier (Okklusionspapier). Auch die Passgenauigkeit kann man heute mit einem Scanner überprüfen (sog. „T-Scan“). Das T-Scan-System besteht aus einem Handstück (verbunden mit dem Computer), in welches eine druckempfindliche Kontaktfolie für die gesamte Aufzeichnung des Zusammenbisses der betreffenden Zähne eingesetzt wird (sog. Okklusionsaufzeichnung), und der dazugehörenden Software.

CAD/CAM-Technologie zu digitaler Behandlungsplanung, zum digitalen Planen des Zahnersatzes und zur digitalen Vorbereitung der Zahnersatz-Herstellungsdaten

___ „CAD“ steht als Abkürzung für: „Computer Aided Design“; übersetzt etwa: „computer-gestützter Entwurf“ oder „computerunterstützte Konstruktion“, d. h. die Konstruktionsunterlagen werden mit Hilfe von Software auf dem Computer erstellt.

___ „CAM“ steht als Abkürzung für „Computer Aided Manufacturing“; übersetzt in etwa: „computergestützte Fertigung“.

Die CAD/CAM-Technologie dient dem digitalen Planen des Behandlungsablaufes, dem digitalen Planen des Zahnersatzes und auch der Vorbereitung der Herstellungsdaten des Zahnersatzes mit Hilfe der computergestützten Konstruktion. Auf der Basis der zumeist durch digitale (Mess-)Methoden gewonnenen Daten (über z. B. Digitale Intra-/Extraorale Kameras, Digitales Intraorales Scannen, Digitales Röntgen, Digitale Axiographie, Virtuelle Artikulatoren, T-Scan...) können nun verschiedene Maßnahmen abgeleitet werden (s. u.).

Digitale Behandlungsplanung

Sie dient besonders in bestimmten Bereichen (wie z. B. der Implantologie) für mehr Sicherheit und Präzision für den Patienten. Alternativen werden am Computer erarbeitet, auf dem Bildschirm oder per Ausdruck veranschaulicht. Die digitale Behandlungsplanung bietet eine verlässliche, sichere Basis für die interdisziplinäre (= mehrere Bereiche einbeziehende) Kommunikation zwischen den an der Zahn-Restauration beteiligten Teammitgliedern wie Zahnarzt, Chirurg, Zahntechniker; besonders auch bei der präzisen Planung und exakten Positionierung von Implantaten (künstliche Zahnwurzeln) in der sog. Implantatprothetik. Und die Bilder und Modelle (auf dem Monitor oder als Ausdruck) können zur Abstimmung der Wünsche des Patienten mit dem Patienten besprochen werden.

Ein Beispiel für die digitale Behandlungsplanung: das Setzen eines Implantats (künstliche Zahnwurzel) in den Kieferknochen. Durch die Kombination der vorher gewonnenen digitalen Informationen kann im Rahmen der digitalen Behandlungsplanung z. B.:

___ die Quantität und Qualität der Knochen bewertet werden, in die ein Implantat gesetzt werden soll (zum Setzen von Implantaten muss eine bestimmte Knochen-Menge und eine bestimmte Knochen-Qualität vorhanden sein),

___ die Lage von Nervenkanälen und die genaue Position der Kieferhöhlen bestimmt werden,

___ die optimale Position im Kiefer für das Setzen des Implantats bestimmt werden,

___ die Länge und Dicke und Art des Implantats sowie der Winkel des Setzens des Implantats festgelegt werden,

___ die exakte Bohr-Schablone/OP-Schablone erstellt werden, über die der Knochen für das Setzen des Implantats angebohrt wird. Die Bohr-Schablone ist eine nach dreidimensionaler (3-D-)Vermessung des Kiefers (z. B. über Computertomographie) hergestellte Schablone für das exakte Setzen von Implantaten in optimaler, präziser Position. Die Bohr-Schablone wird vor dem Bohren in den Kieferknochen exakt und sicher auf dem Kiefer befestigt. Die Bohr-Schablone enthält auch die ideale Bohrrichtung für das Implantat. Mit Hilfe dieser Bohr-Schablone kann der Chirurg/Zahnarzt nun den Kieferknochen für das Implantat exakt aufbohren.

___ ein Navigationssystem über die gewonnenen Daten gesteuert werden, das, verbunden mit einem Bohrer, vergleichbar mit einem Navigationssystem im Auto, das korrekte Auffinden genau der Stellen im Kieferknochen ermöglicht, an denen das Implantat gesetzt werden soll. Der Chirurg/Zahnarzt ist für das Bohren verantwortlich. Der Bohrer empfängt über Sensoren Daten von dem „Kiefer-Navigationssystem“ auf dem Computer, so dass der Chirurg/Zahnarzt in Form eines dreidimensionalen Bildes alle Bohrer-Bewegungen am Monitor genauestens kontrollieren kann.

Digitale Planung des Zahnersatzes und digitale Vorbereitung der Herstellungsdaten für das Gerüst (die Basis) des anzufertigenden Zahnersatzes bzw. für den fertigen Zahnersatz selbst.

Da die Datensätze der Zahnersatz-Konstruktion gespeichert werden, sind die Ergebnisse reproduzierbar. Die Daten können zugleich oft für den vorläufigen (temporären) als auch für den endgültigen Zahnersatz verwendet werden.

Mit Hilfe der CAD/CAM-Technologie lässt sich am Computer u. a. folgender Zahnersatz planen:

- ___ Veneers (hauchdünne, filigrane Verblendschalen aus Keramik, die auf die Zähne aufgeklebt werden),
- ___ Inlays (Einlagefüllungen),
- ___ Kronen (die natürliche Zahnkrone ist der obere Anteil eines Zahnes, der aus dem Zahnfleisch herausragt; die künstliche Zahnkrone umfasst Teile bzw. den gesamten „Stumpf“ eines Zahnes oder wird auf ein Implantat gesetzt (s. u.),
- ___ Brücken (Zahnersatz, der durch die angrenzenden Zähne getragen wird; Brücken überbrücken den Platz eines fehlenden Zahnes oder mehrerer fehlender Zähne),
- ___ Teil- und Vollprothesen,
- ___ Suprakonstruktionen (auf Implantaten, d. h. auf künstlichen Zahnwurzeln befestigter Zahnersatz; die Implantate werden in den aufgebohrten Kiefer gesetzt und verwachsen dort innig mit dem Knochen, wie eine natürliche Zahnwurzel) und sog. „Abutments“ (Teile der Suprakonstruktion: das Bindeglied zwischen dem Implantatkörper, der im Knochen einwächst, und dem auf dem Implantat befestigten Zahnersatz),
- ___ Langzeitprovisorien.

Die CAD/CAM-Daten werden verwendet für:

- ___ das Fräsen der Zahnersatz-Basis bzw. des gesamten Zahnersatzes aus vorbereitetem Material (z. B. aus hochfesten Hightech-Keramik-Blöcken wie Zirkoniumoxid, kurz Zirkonoxid oder Zirkon),
- ___ z. B. in Lasersinter-Anlagen („sintern“ bedeutet, vereinfacht: „durch Materialschmelzung hergestellt“) zur Herstellung von Kronen- und Brückengerüsten (z. B. aus CoCr-Legierungen – Kobalt-Chrom, eine Nicht-Edelmetall-[NEM-]Legierung) und anderem. Umgesetzt werden können damit auch Formen, die sich nicht fräsen lassen.

In Computer-Datenbanken sind bereits viele Zahnformen vorhanden, auf die als Basis zurückgegriffen werden kann, um sie zu individualisieren (auch um z.B. die Kauflächen anatomisch zu gestalten).

Die digitalen Daten für die Fertigung des Zahnersatzes werden dann weiterverarbeitet:

- ___ über Fertigungsmaschinen im eigenen Dentallabor,
- ___ oder in externen Fertigungszentren, an die die Dentallabore die Daten weiterleiten, um z. B. die Gerüste für Kronen und Brücken fertigen zu lassen.

Das Finishing der Gerüste, die perfekte meisterliche funktionale und ästhetische Fertigstellung, erfolgt dann individuell von Zahntechniker-Hand im Dentallabor.

Mit Hilfe der digitalen Zahnersatz-Fertigung lassen sich heute kostengünstig besonders auch die von immer mehr Patienten gewünschten vollkeramischen Zahnersatz-Lösungen fertigen: Bei vollkeramischem Zahnersatz werden der „Kern“ des Zahnersatzes (das sog. Gerüst) und die Verblendung (die von außen sichtbaren Flächen) vollständig aus Keramik gefertigt. Die von den Patienten gewünschten Vorteile des Vollkeramik-Zahnersatzes gegenüber Zahnersatz mit Metall:

- ___ Keramik gleicht von der Anmutung her dem natürlichen Zahn,
- ___ die Lichtdurchlässigkeit (Transparenz) ist wie die eines natürlichen Zahnes,
- ___ Keramik ist absolut körperverträglich,
- ___ Keramik leitet keine störenden elektrischen Ströme im Mundraum,

___ das Zahnfleisch, das mit der Keramik Kontakt hat, wird nicht dunkel verfärbt,
___ an Keramik haftet Plaque weniger stark an.

Einblick – Ausblick

Die Zeiten, in denen sich ein Patient vor eine an seinen Computer angeschlossene Digital-Kamera setzt,
___ selbst Aufnahmen von seinem defekten Zahn macht,
___ diese Daten dann über das Internet in ein Spezialprogramm hochlädt
___ und sich dort online bei einem „Automatisierten-Zahnbehandlungs-Studio“ in seiner Nähe einen Termin holt,
___ wo ihm auf der Basis der von ihm eingesendeten Daten automatische Behandlungs-Roboter die Zähne präpa-
rieren bzw. ziehen,
___ der Patient sich dann anschließend vor Ort am Computer seinen Zahnersatz selbst aussucht, online bestellt,
___ wobei der Zahnersatz im angeschlossenen Fertigungszentrum gleich einen Gang weiter sofort erstellt wird,
___ und dann, wiederum vom automatischen Behandlungs-Roboter, ebenfalls sofort eingesetzt wird:
Diese Zeiten sind noch nicht gekommen. Und mit größter Wahrscheinlichkeit werden sie auch nicht kommen.

Denn: Immer wird man fachlich hoch qualifizierte Menschen benötigen, um aus den technischen Möglichkeiten das für den Patienten Beste herauszuholen. Erprobtes Wissen PLUS moderne Technik führen zum Mehr-Wert für den Patienten – im Sinne von Gesundheit und mehr Lebensqualität für den Patienten. Wenn bei der Planung und dem dreidimensionalen Druck einer Fantasy-Figur des Sprösslings einmal etwas nicht richtig läuft, dann ist das Resultat schlimmstenfalls ein kurzer Wutausbruch. Der verraucht. Bei Eingriffen in den Körper und bei Objekten, die körpereigene Funktionen wiederherstellen sollen, ist es bei einer „Fehl-Konstruktion“ mit einem kurzen Wutausbruch nicht getan: Hier kann ein Fehler im wahrsten Sinne des Wortes „lebens-gefährlich“ werden. Die neuen digitalen Technologien im Bereich der Zahntechnik zum Beispiel gehören deshalb in die Hände von Menschen, die auch ohne die Technik keinesfalls „hilf-los“ sind, sondern die die Technik als MEHR-WERT für das Wohl des Patienten nutzen können. Und das sind Fachleute aus Zahnmedizin/Medizin und Zahntechnik.