



Zahntechnik 2050

Teil 2: Das Nachbilden der Natur: von Gestensteuerung und Bio-Implantaten

Björn Maier, ZTM

Im zweiten Teil der Zukunftsvision Zahntechnik 2050 wird die fiktive Geschichte des Zahntechnikers Lars Bokelmann fortgeschrieben. Cloud-Computing ermöglicht vollkommen neue Formen der Zusammenarbeit. Dem uralten Traum, Zähne nachwachsen zu lassen, kommt man ein großes Stück näher ...

CAD-Software über Cloud-Computing^[1]

Dentaltechnologien nutzen mittlerweile die unterschiedlichsten CAD-Programme. Da gibt es zum einen die bekannten, leicht verständlichen und von den Softwareanbietern optimierten für den standardisierten Alltagsgebrauch. Zum anderen gibt es aber auch die von den Anwendern optimierte Open-Source-Software, deren Einsatzmöglichkeit sehr vielfältig ist.

Je nach Art der geplanten Konstruktion, greifen die Dentaltechnologien auf die entsprechende Software zu. Die Zeiten, in denen sich Anwender für ein Softwarepaket entschieden und käuflich erworben, sind vorbei. Über Cloud-Computing wird auf die einzelnen Softwaretools zugegriffen, für die Nutzungsgebühren bezahlt werden.

Um verschiedene Fertigungsmöglichkeiten für individuelle Planungstools anzupassen und zertifizierte Standards einzuhalten, fungiert die Dentalindustrie oft als „Stakeholder“^[2] von Open-Source-Programmen und entwickelt sich auf Basis dieser Technologie weiter. So hat sich im Bereich der Datenerfassung dank dieser Kooperationen eine optimierte Hardware etabliert.

Allerdings verläuft nicht nur die Optimierung digitaler Workflows über entsprechende Plattformen, sondern auch die Produktentwicklung bzw. Optimierung von zahnmedizinischen und -technischen Produkten. Diese lässt die Dentalindustrie aus Kostengründen oft über Crowdsourcing entwickeln. Das Ergebnis ist ein Produkt, in das der Verbraucher von Anfang an mit eingebunden ist.

Freeworker und Opensource

Auch Lars ist als autorisierter Freeworker^[3] zugelassen. In enger Zusammenarbeit mit seinen Kollegen optimiert er rund um den Globus das von ihm verwendete CAD-Programm. Dabei sind es nicht immer Probleme, auf die er selber in seinen Workflows stößt, sondern oft auch Themenbereiche, die von Kollegen an ihn herangetragen werden und bei denen er für eine Mitarbeit angefragt wird. Die Honorierung solcher Tätigkeiten hat unterschiedliche Ansätze. Sehr stark hängt sie natürlich vom Mehrwert für die Nutzer ab. Teilweise kommen auch direkte Anfragen eines Stakeholders, der ein Team für die Lösung eines Problems zusammenstellt. Teilweise sind es Prozessbereiche, die einzelne Nutzer für ihre Prozesskette optimieren wollen. Lösungen machen sich über den gewonnenen und am Markt erkannten Mehrwert in Form einer nutzerabhängigen Pauschale bezahlt.

Während Lars gerade Icons^[4] anlegt, um den CAD-Workflow zu optimieren, kommt ein neuer Auftrag herein. Er klinkt sich aus dem Team aus, um sich zu einem späteren Zeitpunkt wieder an dem Projekt zu beteiligen. An solchen Projekten wird gewöhnlich rund um die Uhr gearbeitet, da sich die zum Einsatz kommenden Freeworker um den gesamten Globus verteilen.

Bei dem eingegangenen Auftrag handelt es sich um eine altbekannte implantatbasierte Versorgung seiner Kundin aus Indien. Mit Teya Duggleby hatte er schon vor einigen Jahren Kontakt, als diese auf der Suche nach einem Zahntechniker war, der für ihren Patienten eine keramische Veneerversorgung herstellen konnte. Sie war sehr froh, jemanden gefunden zu haben, der diese individuelle und handwerklich basierte Restauration auf höchstem ästhetischen Niveau umsetzen konnte. Mit Lars hatte sie einen Partner gefunden, der nicht nur ihre erfassten Daten weiterverarbeiten konnte, sondern auch in kniffligen Situationen beratend zur Verfügung stand. Daraus entwickelte sich eine langjährige gute Zusammenarbeit.

Standardimplantat oder Bio-Zahnimplantate

Das titanbasierte Schraubenimplantat erfährt trotz verfügbarer Bio-Zahnimplantate noch immer rege Nachfrage. Dank nanotechnologischer Verfahren konnten die Oberflächenstrukturen der Implantate weiter optimiert werden. Damit erhöhten sich die Einheilquoten und die Belastbarkeit. Sogar ein Knochenwachstum wird dank entsprechender Beschichtungen möglich.

Vor allem im asiatischen Raum findet dieses Standardimplantat großen Absatz. Aufgrund des günstigen Preises gegenüber Bio-Zahnimplantaten entscheiden sich viele Personen für diese Variante.

Inzwischen ist das Durchschnittsalter der Weltbevölkerung auf 38,1 Jahre angestiegen. Der Anteil der über 60-Jährigen liegt bei 22 %. 2004 waren es noch 10 %^[5]. Dieser Anstieg ist hauptsächlich auf eine höhere Lebenserwartung dank besserer medizinischer Versorgung zurückzuführen. Indien ist inzwischen der bevölkerungsreichste Kontinent der Welt; in China ist ein Viertel der Bevölkerung über 60 Jahre alt. Der finanzielle Wohlstand asiatischer Länder liegt zwar auch im Jahre 2050 noch deutlich unter dem europäischen. Das Durchschnittseinkommen liegt zwischen 25000 und 45000 US-Dollar (*)^[6].

Bei dem eingegangenen Patientenfall handelt es sich um eine implantatgestützte Brückenversorgung auf herkömmlichen Implantaten, wie Lars sie auch schon während seiner zahntechnischen Ausbildung kennengelernt hat.

Glossar:

- [1] **Cloud-Computing**
Unter Cloud-Computing (deutsch etwa Rechner in der Wolke) versteht man das Speichern von Daten in einem entfernten Rechenzentrum, aber auch die Ausführung von Programmen, die nicht auf dem lokalen Rechner installiert sind, sondern eben nur in der (metaphorischen) Wolke (englisch cloud).
- [2] **Stakeholder**
Als Stakeholder (engl. Teilhaber) wird eine Person oder Gruppe bezeichnet, die ein berechtigtes Interesse am Verlauf oder Ergebnis eines Prozesses oder Projektes hat.
- [3] **Freeworker**
Als freier Mitarbeiter, in einigen Branchen englisch Freeworker oder Freelancer, wird ein Selbstständiger und Arbeitnehmer bezeichnet, der aufgrund eines Dienst- oder Werkvertrages für ein Unternehmen Aufträge in der Regel persönlich ausführt, ohne dabei in das Unternehmen eingegliedert zu sein. Da der freie Mitarbeiter kein normaler Arbeitnehmer ist, gelten für ihn gewisse Bestimmungen des Arbeitsrechts nicht.
- [4] **Icon**
Der englische Ausdruck Icon (von griechisch: eikón = Bild, in deutschen Übersetzungen von Computerprogrammen meist als Symbol bezeichnet) benennt im Computerbereich ein Piktogramm, das als Bestandteil einer grafischen Oberfläche einer Software oft eine Datei oder ein Verzeichnis repräsentiert, oder das auf einer Schaltfläche einen Befehl an die Software kennzeichnet.
- [5] Dr. Martin Textor auf www.zukunftsentwicklungen.de/Weltgeschehen
- [6] Zahlen laut DekaBank EmergenMarketInsight.
- [7] **Smartquill**
Nicht viel größer als ein Kugelschreiber, schreibt er mit Luft. Mit diesem Kuli-Computer können zukünftige Nutzer gestikulierend alles protokollieren. Der intelligente Stift erkennt die Handbewegungen und setzt diese automatisch in die gewohnten Befehle um.
- [8] **Videobrille**
Ein Head-Mounted Display (wörtlich „am Kopf befestigte Anzeige“), kurz HMD, ist ein auf dem Kopf getragenes visuelles Ausgabegerät. Es präsentiert Bilder entweder auf einem augennahen Bildschirm oder projiziert sie direkt auf die Netzhaut. Je nach Ausgestaltung nennt man das HMD auch Videobrille, Helmdisplay oder VR-Helm.
- [9] **Sensorgesteuerter Computerhandschuh**
Der Computerhandschuh, auch Datenhandschuh genannt, ist ein Eingabegerät in Form eines Handschuhs. Durch Bewegungen der Hand und Finger erfolgt eine Orientierung im virtuellen Raum. Die Anwendung geschieht meist in Kombination mit einem Datenhelm. Datenhandschuhe bieten heute neben der Funktion der Navigation und Orientierung durch den virtuellen Raum auch die Funktion des Er tastens und Erfühlens (Taktiles Feedback) eines Gegenstandes und die Erfahrbarkeit von Kräfte rückkopplungen (Force Feedback) an.

[10] Gestensteuerung

Gestenerkennung ist die automatische Erkennung von durch Menschen ausgeführten Gesten mittels eines Computers. Ein Teilgebiet der Informatik beschäftigt sich mit den Algorithmen und mathematischen Methoden zur Erkennung von Gesten und der Nutzung von Gesten zur Mensch-Computer-Interaktion. Jede Körperhaltung und Körperbewegung kann dabei prinzipiell eine Geste darstellen. Die größte Bedeutung hat jedoch die Erkennung von Hand- und Kopfgesten. Eine Variante der Gestenerkennung ist die Erkennung sogenannter Mausgesten.

[11] Lasergrinding

Das zugrunde liegende Verfahren ist die Laser-Ablation, durch die in einem geschlossenen 3D-Verfahren und integrierter Qualitätskontrolle Materialien per Laser „gefräst“ werden. Daher auch die Bezeichnung „Laser Milling“. Dabei kommen als Materialien moderne Komposit-, Glaskeramik- und Zirkondioxid-Blöcke zum Einsatz.

Lars spielt den Fall situationsbezogen auf seinem OLED-Bildschirm durch. Um die einzelnen Datensätze bearbeiten zu können, steuert er die Software über einen „Smartquill“^[7]. Der Stift, der einem Kugelschreiber ähnelt, erkennt seine Handbewegungen, die er wie auf einem Touchscreen umsetzt. Auf diese Art kann er die Konstruktion überproportioniert in einem Abstand von drei Metern betrachten und sich die einzelnen Ansichten gleichzeitig gegenüberstellen lassen.

Diese Darstellung liegt Lars mehr als die Betrachtung durch eine Videobrille^[8], welche sich inzwischen in jedem Haushalt befindet und hauptsächlich zur Unterhaltung genutzt wird.

Einige Kollegen schwören anstelle des Smartquills auf einen sensorgesteuerten Computerhandschuh.^[9] In diesem sieht Lars zwar klare Vorteile für chirurgische Tätigkeiten, da diese Handschuhe mit Drucksensoren ausgestattet sind und somit ein hohes Maß an haptischer Realität wiedergeben. Für die reine CAD-Konstruktion bevorzugt er jedoch den Smartquill, den er jederzeit aus der Hand legen kann. Ein anderer Ansatz ist die reine Gestensteuerung^[10], die Handgesten durch die Verwendung von Infrarotkameras erkennt und in Echtzeit umsetzen kann.

Nachdem Lars den Patientenfall konstruiert hat, übermittelt er die Daten an seine Kundin. In diesem Fall verwendet er eine standardisierte Dentalsoftware, mit der er über den Ansatz des Backward planning die optimale Versorgungssituation erarbeitet hat. Dabei hat er sich an der Gesichtsgeometrie des Patienten orientiert. Die designte Morphologie wurde auf Funktion überprüft. Die Software änderte die detaillierte Form anhand der Funktion. Anschließend optimiert Lars die von der Software vorgeschlagene Implantatsituation.

Den detaillierten Verlauf von Implantatstruktur und -gerüst bzw. Zahnkrone betrachtet er abschließend dreidimensional und sendet den Konstruktionsvorschlag an seine Kundin. In einer Videokonferenz wird die Planung mit Patient und Behandler besprochen und nach deren Zustimmung in Auftrag gegeben.

Entsprechend der Konstruktion lässt Lars passend zur Implantatsituation die Bohrschablone berechnen. Abschließend sendet er die beiden Datensätze an seinen Industriepartner. Hier werden die Bohrschablone und die monolithische Brückenrestauration gefertigt und seiner Kundin zur Integration zugesandt.

Das Bio-Zahnimplantat

Vom natürlich nachwachsenden Zahn träumt die Menschheit schon lange. Bei Nagetieren und Hai-fischen schieben sich ununterbrochen neue Zahnreihen nach. Auch die Backenzähne von Elefanten werden fünf Mal erneuert.

Nach intensiven Forschungsarbeiten ist das Heranzüchten von Zähnen inzwischen durch Anregung der Stammzellen mittels Laserlichtimpulse gelungen. Allerdings ist das direkte Nachzüchten von Zähnen im Kieferknochen des Patienten mit Risiken verbunden. Das gezielte Steuern der angeregten Stammzellen ist problematisch. Weiterhin besteht das Risiko eines nicht ausreichend steuerbaren Wachstums von entsprechenden Gewebearten – im schlimmsten Fall sogar von krebsartigen Wucherungen.

Aus diesen Gründen werden auch 2050 die Bio-Zahnimplantate außerhalb des Mundes gezüchtet und bei Erfolg dem Patienten implantiert.

Beim nächsten eingehenden Auftrag handelt es sich um eine Zahnlücke in der Region 11. Der verlorengegangene Zahn soll mithilfe einer Bio-Zahnimplantat-Rekonstruktion wiederhergestellt und nach dem Einsetzen mithilfe einer aufgebrauchten keramischen Verblendschale an die Restbe-zah-nung angeglichen werden.

Dabei wird die Konstruktion nicht in Zahnkrone und Implantat geteilt, sondern beide Komponenten müssen wie beim natürlichen Zahn designt werden. Die einzelnen Datensätze aus DVT-Scan, Intra-oral-Scan, Facescan und Axiografie werden in der CAD-Software überlagert und die vorhandenen Platzverhältnisse und das Knochenvolumen begutachtet.

Lars lässt sich einen ersten Konstruktionsvorschlag von der Software erstellen, der ihn jedoch nicht zufrieden stellt. Aufgrund des leicht reduzierten Knochenvolumens weiß er aus Erfahrung, dass der Konstruktionsvorschlag ohne Knochen-Transplantation längerfristig zu einer Destabilisierung führen würde.

Er spielt unterschiedliche Implantatstellungen und Ausformungen durch, bis er seiner Meinung nach die optimale Positionierung des Bio-Implantats gefunden hat. Die Zahnkrone wird über das File-splitting um 0,5 mm reduziert. Die aus einem Hochleistungspolymer gefertigte Kronenkappe dient dem späteren Schutz des eingesetzten Bio-Implantats. In diesem Fall war sie nur als Provisorium geplant, da der Anspruch des Patienten entsprechend groß war und somit die definitive Fertigstellung individuell in Hybridkeramik erfolgen sollte. Die fertige Konstruktion wird zur Draufsicht an den Auftraggeber übermittelt und nach dessen Freigabe an die Dentalindustrie zur Heranzüchtung weitergegeben.

Hier wird der Konstruktionsdatensatz aufbereitet, um über den additiven Fertigungsansatz das poröse (wabenartige) Gerüst aus einem biologisch abbaubaren Polymer zu fertigen. Durch die wabenähnliche Struktur ist das Gerüst durchlässig für die patienteneigenen Zellen. Diese werden in einer Zentrifuge angereichert und in einem Gel verteilt.

Anschließend wird die Wabenstruktur mit dem Gel gefüllt und unter Druck und Körpertemperatur beginnen Deck- und Bindegewebszellen zahnartiges Knochenmaterial zu bilden.

Drei Monate später kann der Behandler mit einer von Lars abgestimmten Navigationsschablone das Zahnimplantat in den Kieferknochen einsetzen. Anschließend wird das Bio-Implantat durch ein Bleachverfahren an die Grundfarbe der Restbeziehung angeglichen.

Keramische Restaurationen in der digitalen Fertigung

Zur Herstellung der individuellen 360°-Keramikschaale wird nach der Inserierung des Bioimplantats ein digitaler Farbgleich durchgeführt. Dabei werden die Grundfarbe der Nachbarzähne, die Lichttransmission von zervikal nach inzisal gemessen und die daraus resultierenden Farbeigenschaften festgehalten.

Diese Daten kann Lars anschließend in eine zur Herstellung von Keramikrestaurationen erstellte Software einspielen. Die Entwicklung dieser Software hat er mit großer Spannung beobachtet, da er bis dahin oft das Problem hatte, von Kunden, die mehrere tausend Kilometer entfernt waren, detaillierte Farbinformationen zur Umsetzung von Teilsanierungen zu bekommen. Manchmal musste er bei den Abschlussbildern feststellen, dass sich seine Restauration nicht hundertprozentig in die vorhandene Situation integrieren ließ. Auch diese, nun cloudbasierende Software, ist vor ein paar Jahren über ein „Crowdproduction-Projekt“ entstanden und wird auf diesem Weg weiterentwickelt.

Die Basis zur Entwicklung dieser Software war die seit einigen Jahren mögliche Fertigung von keramischen Kronen und Veneers über den additiven Ansatz in Kombination mit Lasergrinding-Technologie. Lange Zeit war hierbei das Problem, dass die über das Lasersintern hergestellte Keramik eine zu grobe Oberflächenstruktur hatte und zeitintensiv nachgearbeitet werden musste. Erst durch die neue Generation von Universalmaschinen, die über den additiven Ansatz die Objekte aufbauen und über Lasergrinding^[11] die Oberfläche veredeln, wird dieser Fertigungsprozess möglich.

An diesem Punkt wurde nun noch eine Software benötigt, welche die an den Nachbarzähnen erfasste Lichtdynamik registriert und diese auf die zur Verfügung stehende Kronenstärke unter Berücksichtigung des Unterbaus umrechnet. Die Herausforderung an diese ebenfalls durch Crowdfunding entstandene Cloud-Software ist, die genaue Materialstärke zu erkennen und die daraus resultierende Lichtdynamik zu errechnen. Nur so kann über den digitalen Weg eine individuell aufgebaute keramische Verblendung entstehen.

Lars setzt dieses cloudbasierte Softwaretool inzwischen sehr oft ein, da er viele ästhetisch anspruchsvolle Restaurationen zu bearbeiten hat, bei denen eine individuelle keramische Oberflächenstruktur erwünscht wird.

Wenn natürliche Zähne mit Reposition-Overlays versorgt werden sollen, muss Lars jedoch noch des Öfteren auf die handwerkliche Umsetzung zurückgreifen, da die digitale Fertigung Grenzen hat, beispielsweise dann, wenn eine Mindeststärke von 0,5 mm benötigt wird, um die Schalen über den industriellen Ansatz fertigen zu können. Auch die Oberflächenstruktur erarbeitet Lars noch im Detail von Hand, da ihm die Struktur des Lasergrinding-Verfahrens zu undefiniert ist.

Im vorliegenden Fall lässt sich dank der optimalen Backward-planning Situation die Einzelversorgung ohne Probleme herstellen. Allerdings passt er die Struktur noch händisch ein wenig an die Nachbarzähne an. Nach dem Fertigstellen des 360°-Veneers ersetzt dieses die ästhetisch nur bedingt zufriedenstellende Hochleistungspolymerkappe.

Lesen Sie in der nächsten Ausgabe des ddm, wie im Jahr 2050 Tumorpatienten rehabilitiert werden und warum trotz digitalisierter Arbeitswelt die persönlichen Kontakte so wichtig sind.



Björn Maier

- Jahrgang 1976
- Von 1992 bis 1995 Ausbildung zum Industriemechaniker Fachrichtung CNC Technik und Feinmechanik
- Von 1995 bis 1999 Ausbildung zum Zahntechniker im elterlichen Betrieb, anschließend dreimonatiges Praktikum bei Dentallabor Mitch Unrath in Arizona (USA)
- Von 1999 bis 2001 Zahnmedizinische Universitätsklinik in Ulm
- Von 2001 bis 2006 in zwei gewerblichen Laboren und einem Praxislabor mit Schwerpunkt Implantologie und CAD/CAM in der Schweiz tätig, 4. Platz bei internationalem KunstZahnWerk-Wettbewerb der Firma Candulor, zahlreiche Veröf-

- fentlichungen in nationalen und internationalen Fachzeitschriften, erfolgreiche Teilnahme beim 3M Espe Talent Award
- Von 2006 bis 2007 Meisterschule Stuttgart
- Im Frühjahr 2007 Eröffnung des Dentallabors „Zahntechnik Björn Maier“, Mitautor der Bücher „Frontzahn-Restauration“ und „CAD/CAM-Technik“ (Verlag Neuer Merkur)
- Januar 2010 bis Dezember 2011 Mitarbeit an der Zahnmedizinischen Universitätsklinik München (Schwerpunkt CAD/CAM), Mitautor des Buches „Prothesenzähne und -kunststoffe“

Kontakt

Zahntechnik
Björn Maier
Ludwigstr. 10
89415 Lauingen
Telefon: 09072 / 4352
Email: info@bjoern-maier.com