

Freiheit kann auch zum Problem werden

Wissenschaftler aus Großbritannien tüfteln am Kausimulator der Zukunft und lassen sich dabei vom menschlichen Vorbild leiten. Anderenorts sorgt so viel Naturverbundenheit für einiges Unverständnis.

(ms) – Bevor dentale Werkstoffe erstmalig in dem Mund von Patienten zum Einsatz kommen, werden sie unzähligen Tests unterzogen. Schließlich sollen Patienten bestmöglich vor unliebsamen Überraschungen geschützt werden. Seit vielen Jahren werden neben klinischen Untersuchungen auch Kausimulatoren genutzt, um wichtige Materialeigenschaften zu ermitteln. Neue Materialien bedeuten für existierende Geräte immer neue Herausforderungen und ziehen in der Folge eine kontinuierliche Weiterentwicklung nach sich. Oder aber sie führen zur Konstruktion neuer Maschinerien. Wie dem Kausimulator der Universität Bristol, welcher auf der letztjährigen Summer Science Exhibition der Royal Society in London zu sehen war (s. Abb. 1).

Alles Gute kommt von oben

Ein Team der Universität Bristol präsentierte seine Vision moderner zahnmedizinischer und zahntechnischer Forschung. Die Idee dazu stammt ursprünglich von Dr. Kazem Alemzadeh vom Institut für Maschinenbau und ist fast wortwörtlich aus der Luft gegriffen. Genauer gesagt haben ihn verschiedene Flugsimulatoren inspiriert. Deren Kabine ist oft auf einer Plattform in einigen Metern Höhe angebracht. Von dort aus führen sechs identische Hydraulikzylinder schräg nach unten zu einer weiteren Plattform, die größer ist und als eine Art Fundament dient. Die Hydraulikzylinder sind durch je ein Kardangelenk an beiden Plattformen verbunden und lassen sich in der Länge verändern. Das ermöglicht dem nachempfundenen Cockpit komplizierteste Bewegungen. Die sogenannte Stewart-Gough-Plattform geht auf die Briten V. E. Gough und D. Stewart zurück. Beide hatten in den 1950er- und 1960er-Jahren unabhängig voneinander entspre-

chende Konzepte entwickelt. Die Konstruktion wird in Anlehnung an die sechs beweglichen Streben auch als Hexapod bezeichnet. Aufgrund ihrer Fähigkeit, Bewegungen in allen sechs Freiheitsgraden zu realisieren,

Simulatoren sind anfälliger für unerwünschte Schwingungen.

Auf Entdeckungsreise

Mit derartigen Problemen hat sich bei dem Projekt aus Bristol

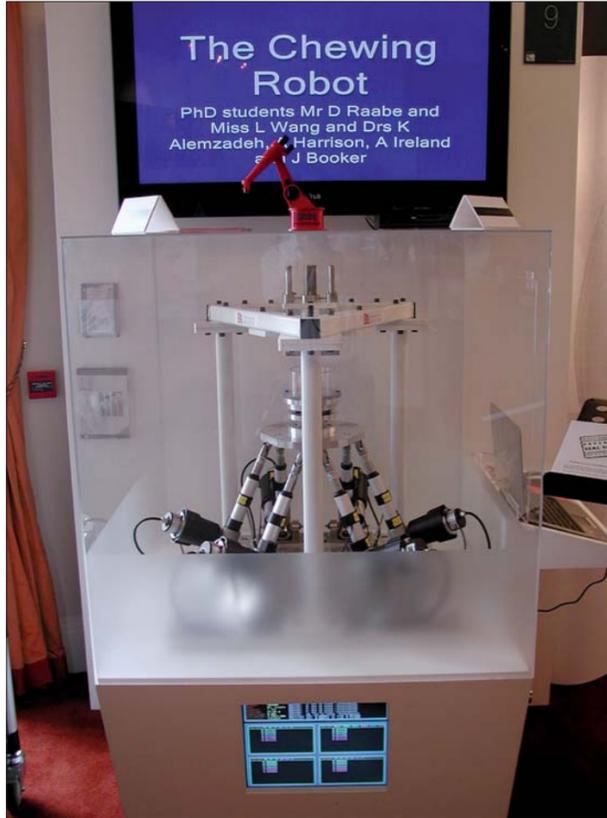


Abb. 1: Anfang Juli 2009, anlässlich der jährlichen Summer Science Exhibition der Royal Society, wurde der Kausimulator der Universität Bristol in London vorgestellt. (Fotos: © University of Bristol, Daniel Raabe)

nehmen Hexapode in den Forschungs- und Entwicklungsabteilungen der Flug- aber auch der Automobilindustrie ihren festen Platz ein. Die Simulation dreier translatorischer sowie dreier rotatorischer Freiheitsgrade birgt jedoch nicht nur Vorteile. So stellt die Konfiguration der komplexen Parallelkinematik äußerst hohe Ansprüche an die verwandten Software- und Hardwarekomponenten. Je nach Einsatzzweck kann sich im Vergleich mit Robotern, deren Achsen seriell angeordnet sind, zudem das geringere Gewicht der Geräte negativ auswirken. Die

vor allem Daniel Raabe auseinandergesetzt. Der diplomierte Wirtschaftsingenieur und Master of Science im erweiterten Maschinenbau ist seit rund dreieinhalb Jahren maßgeblich für die technische Umsetzung verantwortlich. Sein dentales Fachwissen hat sich im Vorfeld der Arbeit kaum von dem eines Durchschnittsbürgers unterschieden. „Das war recht unproblematisch. Von Anfang an sind neben Experten aus dem Maschinenbau und der Informatik auch Fachleute der Zahnmedizin und der Zahntechnik wie Dr. Tony Irland vom Department of Oral and Dental Science die einzelnen Entwicklungsschritte gemeinsam gegangen“, sagt Raabe, Doktorand am Institut für Maschinenbau.

Aber was genau schwebte den Forschern vor? „Nun, am Ende unseres Forschungsprojektes wollen wir einen zuverlässigen Kausimulator präsentieren, welcher die sechs Freiheitsgrade vom Kauapparat und dessen okklusale Kräfte zuverlässig simulieren und steuerungstechnisch regeln kann. Unserer Meinung nach wird dies die Zuverlässigkeit von derzeitigen Kausimulatoren verbessern. Des Weiteren sind sechs Freiheitsgrade notwendig, um Mehrkontakt-Verschleißanalysen durchzuführen“, erklärt der 31-Jährige. Es gäbe zwar Grundstudien, die beleuchteten jenen Aspekt allerdings nur in Ansätzen.

Frei wie ein Unterkiefer

Da abgesehen von der Idee kaum nennenswerte Vorarbeiten existierten, begann für Raabe das Projekt mit dem typischen Einmaleins wissen-

schaftlicher Forschung. Das hieß grundlegende Literaturrecherche, formulieren mehrerer Konzepte, prüfen anhand von Fallstudien und Computersimulationen – bis sich ein Modell herauskristallisierte, das die besten Erfolgsaussichten hatte. In diesem Falle wurden beispielsweise alle einzelnen Kaubewegungen eines Unterkiefers mithilfe von Infrarot-Kameras sechsdimensional aufgezeichnet und in das Computermodell (s. Abb. 2) integriert. Ähnliches gilt für die verschiedenen Kaukräfte. Danach folgte die Konstruktion des mechanischen Modells. Am vorläufigen Ende stand ein Kauroboter, der einer Miniaturausgabe eines Flugsimulators ähnelt. Statt des Cockpits wird hier das Modell eines Unterkiefers bewegt, das mit sechs Freiheitsgraden ausgestattet ist. Es positioniert sich zu einem über ihm starr angebrachten Oberkiefer, womit ein komplettes menschliches Gebiss nachempfunden wird (s. Abb. 3). Ober- und Unterkiefer können von einem Behälter umschlossen werden. In diesen können die Forscher verschiedene Flüssigkeiten und Nahrungsmittel füllen. Diese künstliche Mundumgebung simuliert Speichel und Nahrung – je nach Untersuchungsaufgabe. Neben solchen Drei-Körper-Verschleiß-Untersuchungen – Zahn, Zahnersatz und Speichel bzw. Nahrung – sind auch einfachere Zwei-Körper-Verschleiß-Untersuchungen ohne die Berücksichtigung der Mundumgebung möglich. „Wir können also die Kaubewegungen, die Kaukräfte und

und 1.400-mal am Tag kaut, entspricht dies einem Zeitraum von rund einem Jahr. Hinterher folgt eine Zweitmessung. Der Vergleich mit der Ausgangssituation liefert wichtige Aufschlüsse über die Verschleißfähigkeit der Materialien.

Der Natur auf der Spur

Insgesamt kommen Raabe und seine Kollegen mit ihrem Modell in zahlreichen Punkten dem menschlichen Original erstaunlich nahe. Und diese Richtung wollen sie auch weiter verfolgen. „Der Roboter funktioniert. Bis er dem menschlichen Pendant entspricht, sind noch etliche Studien notwendig“, bestätigt Raabe. „Das hier ist aber kein abgeschlossenes Projekt. Wir arbeiten kontinuierlich etwa an der Verbesserung der Robotermechanik, der Steuerungs- und Regelungstechnik.“ So fehlt mit einer künstlichen Zunge ein wesentlicher Bestandteil des Kauapparates. Deren ganz spezielle Textur und Beweglichkeit lassen derartige Ideen als die berühmt-berüchtigte Zukunftsmusik erscheinen. Bis zu einer technischen Umsetzung werde es noch einige Jahre dauern.

Oder doch auf dem Holzweg?

Bereits jetzt stößt der britische Kausimulator bei Experten aus der Zahnmedizin auf Skepsis. Die komplexe Konstruktion laufe dem Wesen von Verschleißanalysen zuwider und

Zahnersatzmaterialien und hat an der Konstruktion mehrerer Kausimulatoren mitgewirkt. Er sieht in dem Projekt aus Bristol eher den Versuch, unter dem Stichwort „Science Marketing“ mit technischer Raffinesse Aufmerksamkeit zu erregen. Raabe verweist dagegen auf eine Reihe wissenschaftlicher Arbeiten, die sich mit dem Projekt beschäftigen, sowie ein vorliegendes Patent in den USA. Den Begriff „Science Marketing“ hält er in dem Zusammenhang für ungerechtfertigt.

Zweifler sind sich einig

Kunzelmann macht seine Kritik allerdings auch an konkreten Details fest. Nach dem Blick auf Darstellungen des Gerätes hält er u.a. die Lager für verschleißanfällig. „Bei den Streben am Lager scheint das Verhältnis zwischen Länge und Durchmesser nicht stimmig. Es wird zu ungewollten Schwingungen kommen, die gemeinsam mit dem Lagerspiel kaum exakte Messungen ermöglichen“, schildert er seine Eindrücke.

Mit Dr. Siegwald Dietmar Heintze äußert ein weiterer Fachmann ernsthafte Bedenken. Der Zahnmediziner in Diensten des Dentalherstellers Ivoclar Vivadent aus Liechtenstein beurteilt die Herangehensweise ebenfalls als kaum Erfolg versprechend: „Eine Annäherung an den menschlichen Kauapparat kann kein wirkliches Ziel sein. Jedes Gebiss und jeder Kauvorgang sind individuell geprägt, weisen unterschiedliche Bewegungsmuster, Zahnstellungen und Kräfte aus. Letztendlich wirken so viele Variablen, dass eine vernünftige Interpretation schon vorher ausgeschlossen werden muss.“ Unter dem Strich könne kein Gerät die klinische Prüfung ersetzen. Besser wäre eine einfachere Konstruktion, die ein standardisiertes Arbeiten erlaube. Wirklich wesentliche Aussagen ließen sich einfacher und schneller mit existierenden Geräten ermitteln.

Ist weniger mal wieder mehr?

Wie die des bayerischen Herstellers SD Mechatronik. Kunzelmann zählt die Simulatoren aus Feldkirchen-Westerham zu den weltweit am häufigsten angewandten Geräten. Und auch Heintze spricht den Geräten einige der Eigenschaften zu, die einen guten Kausimulator kennzeichnen würden. Ein idealer Simulator, der standardisierte und damit vergleichbare Ergebnisse hervorbringe, müsste aus seiner Sicht folgende Kriterien erfüllen: zwei realisierbare Bewegungsrichtungen, eine geringe Wartung, Kräfte von mindestens 1.000 N, bei einer Frequenz von zwei bis zehn Hz, eine entsprechende Kraftregelung, mehrere Kammern, die eine gleichzeitige Untersuchung mehrerer Prüfkörper in einem flüssigen Medium erlauben. Auch Raabe kennt diese Liste und meint: „Einen Großteil dieser Eigenschaften sehe ich in unserem Gerät realisiert.“

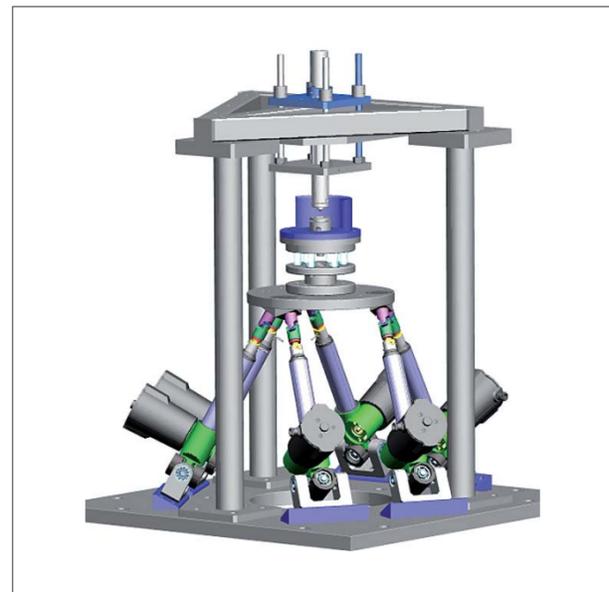


Abb. 2: Eine der wichtigsten Entwicklungsstufen markierte die Erstellung eines kompletten Modells per CAD-Technologie.

die orale Umgebung regulieren“, sagt Raabe und zählt den Roboter zu den modernsten Kausimulatoren weltweit. Obwohl das Gerät ganz unterschiedliche Eigenschaften wie die Bruchfestigkeit oder Härte eines Werkstoffes messen könne, lege man in Bristol das Augenmerk verstärkt auf den Faktor Verschleiß. Die zu analysierenden Brücken, Kronen oder Totalprothesen werden in der an die Universität angeschlossenen Zahnklinik angefertigt und vor dem Einsetzen per Scanner digital vermessen. Anschließend durchlaufen die Komponenten rund 250.000 Kauzyklen. Von der Annahme ausgehend, dass jeder Mensch durchschnittlich zwischen 800-

erschwere eine zweckgemäße Interpretation der Daten. Details des Roboters erweckten den Eindruck einer ungenügenden technischen Lösung. Der Versuch, sich dem menschlichen Kauvorgang anzunähern, sei kaum zukunftsreich. Zum Beispiel sieht Prof. Dr. Karl-Heinz Kunzelmann gravierende Mängel an dem Konzepts: „Sechs Freiheitsgrade klingen vielleicht ganz toll. Zur Auswertung später werden allerdings nur ein oder zwei gemeinsam herangezogen. Außerdem sehe ich kein Kiefergelenk, das sich um drei Achsen drehen könnte.“ Der Wissenschaftler der Ludwig-Maximilians-Universität München testet seit rund 20 Jahren selbst



Abb. 3: Der bewegliche Unterkiefer verfügt über sechs Freiheitsgrade und kann so alle Bewegungen nachahmen, die ein menschlicher Unterkiefer während des Kauvorgangs aufweist.