

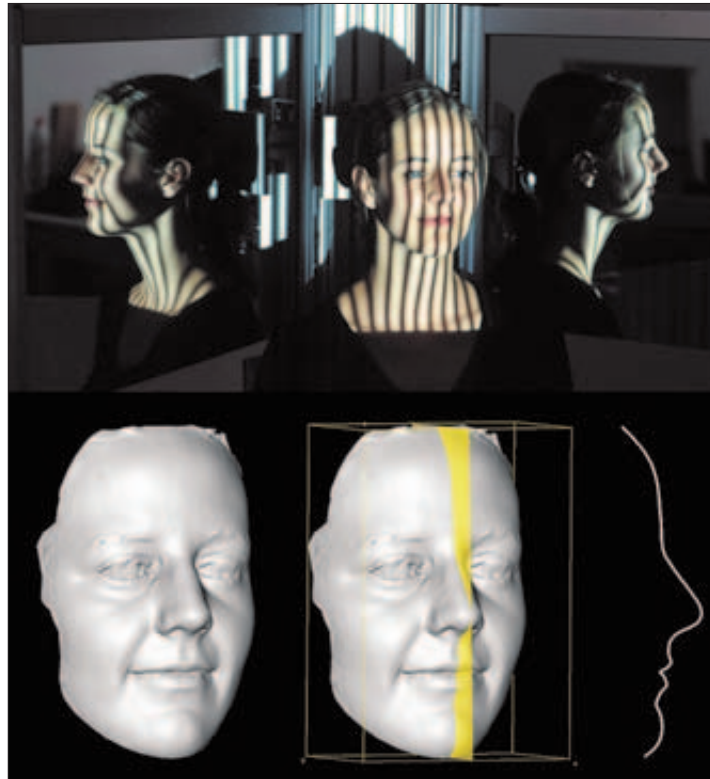
Enge Kooperation bei Problemlösung

„Möglichkeiten und Grenzen der optischen 3D-Formfassung in der Zahnheilkunde“ war das Thema des Vortrages von Prof. Dr.-Ing. Gerd Häusler auf der Jahrestagung der DGKFO – KN befragte ihn im Anschluss zu seiner Arbeit.

KN Die optische 3D-Erfassung hat in der Zahnmedizin gegenüber den technischen Fachrichtungen erst sehr spät Einzug gehalten. Welche Möglichkeiten bestehen derzeit für die Erfassung von weichen und spiegelnden Oberflächen (Haut, Schleimhaut) im Vergleich zu harten, stabilen Oberflächen (Modelle, Zähne, Gebisse)? Weiche Oberflächen sind nicht

ist die Messung inzwischen problemlos und für fast alle Fälle mit ausreichender Genauigkeit möglich. Für extreme Genauigkeitsforderungen ist Volumenstreuung ein Problem. Bei Zähnen misst man immer „zu klein“, weil das Licht eindringt. Deshalb wird ja auch mit Titandioxid gesprüht. Auch blaues Licht wird benutzt, das nicht so tief eindringt, oder farbiger Gips.

Optik, Information und Photonik, gleichzeitig Max Planck-Forschungsgruppe, versuchen wir genau das: in Kooperation mit Anwendern Sensoren zu erforschen und schließlich mit unserer Ausgründung 3D-SHAPE GmbH* zu bauen und zu vermarkten. Dabei darf man nicht vergessen, dass der Anwender nicht Sensordaten speichern, sondern Probleme lösen will. Das bedeutet enge Zusammenarbeit bei der Erforschung und Entwicklung von Algorithmen. Wir tun dies z.B. im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 603 bereits seit neun Jahren. Dort arbeiten wir mit vielen medizinischen Fachgebieten zusammen. Um etwas konkreter zu werden: Heutige Sensoren für den makroskopischen Bereich, d.h. für Kopf, Brust, Füße, funktionieren bereits recht gut. Die Genauigkeit reicht aus, wenn auch die Rundum-Erfassung immer noch zu lange dauert – dazu auch meine Bemerkung zur ersten Frage. Für ganze Menschen, gar in Bewegung, gibt es noch keine wirklich praktikable Lösung. Für Messungen im Mikrobereich, z.B. der Haut oder der Netzhaut, sogar tomographisch, entwickelt sich die „Optische Kohärenztomographie (oct)“ sehr schnell. Wir haben diese Methode seit 1993 erforscht. Inzwischen gibt es bei verschiedenen Herstellern kommerzielle Geräte.



Gesichtsscanning mit dem FaceSCAN3D-Sensor in 1/3-Sekunde von Ohr zu Ohr – 3D-Modell und Profilschnitt. (Quelle: 3D-SHAPE)

das Problem, wenn man sie ca. 300ms ruhigstellen kann. Man braucht also unbedingt einen schnellen Sensor. Schwieriger ist es, „weiche“ Oberflächen sequentiell aus verschiedenen Richtungen aufzunehmen (um sie später zu registrieren), weil sie sich möglicherweise während der Prozedur verformen.

Feuchte, spiegelnde Schleimhaut ist definitiv ein Problem, weil die Glanzlichter die diffuse Streuung überdecken. Da ist „trocknen“ angesagt.

KN Welche Probleme sind zu bedenken, um eine ideale 3D-Erfassung zu erreichen? Ideal heißt wohl einerseits,

KN Wie groß können die Objekte sein und mit welchen Verfahren können sie gescannt werden?

Wie gesagt, Brust, Rücken, Gesicht sind kein Problem, d.h. wir sprechen von Gesichtsfeldern bis etwa 1000mm x 600mm. Größere Objekte sind auch noch messbar, allerdings wird die Messung etwas länger dauern, weil es für schnelle Messungen nicht genug Licht gibt. Das ist aber kein fundamentales Problem. Das gängigste Verfahren ist die sogenannte Streifenprojektion, wir nennen es „phasenmessende Triangulation“. Für die Aufnahme des gesamten Körpers gibt es recht aufwändige (und nicht sehr schnelle) Laserscanner.

KN Welche Genauigkeit ist derzeit möglich und mit welchen Auflösungen muss man arbeiten, um kieferorthopädische Modelle insgesamt exakt genug wiedergeben zu können?

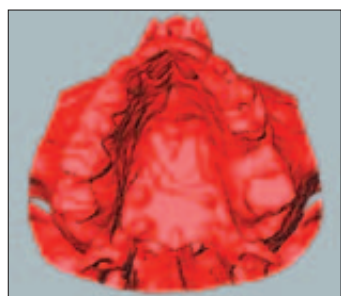
Die Messunsicherheit ist in der Praxis etwa 1/1000–1/2000 des Gesichtsfeldes. Ein Gesicht kann man also mit weniger als 0,3mm Fehler akquirieren. Für Zahnmodelle gehen die Forderungen in den Bereich 10–20 Mikrometer. 20 Mikrometer sind prinzipiell möglich, wir haben einen solchen Scanner im Programm. Die laterale Auflösung ist für extrem hochwertige Messungen oft ein Problem. Kameras haben gewöhnlich nur 1000x1000 Pixel. Das bedeutet, wenn man ein Zahnmodell mit 40x40 mm Feld abtastet, kann man nur 40 Mikrometer auflösbare Distanz erwarten. Aufgrund von Schärfentiefe-problemen und technischen Unzulänglichkeiten ist



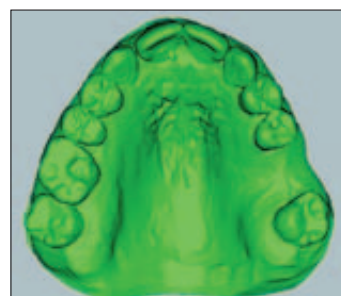
Optische 3D-Vermessung mit Farbtexur. (Die Darstellung als Dreiecksnetz wurde gewählt, weil sich sonst das Bild von einem Foto nicht unterscheidet) (Quelle: 3D-SHAPE)

Ein typischer Fall ist die Gesichtsmessung aus mehreren Richtungen, bei der eine Veränderung der Mimik auftreten kann. Aber mit etwas Geduld konnten wir durchaus Rundum-3D-Aufnahmen von Köpfen machen. Für Gesichter oder andere Teile des Körpers

dass die Anforderungen des Mediziners (bleiben wir bei der Medizin) erfüllt werden, das ist die Mindestforderung – und andererseits, dass wir Sensoren bekommen, die so gut sind wie die Physik und Informationstheorie es erlauben. In unserer Arbeitsgruppe am Institut für



3D-Modell eines Gebisses anhand einer CT-Aufnahme (Computer Tomographie)/ Bearbeitung: Stefan Zachow, www.zib.de.



3D-Modell eines Gebissabdruckes anhand SCAN3D-Dateien mit deutlich besserer Detailtreue. (Quelle: 3D-SHAPE)

Fortsetzung auf Seite 10

Pharmatechnik 1/2 hoch rechts

Fortsetzung von Seite 9

dies wohl etwa die Grenze des im täglichen Betrieb Erreichbaren.

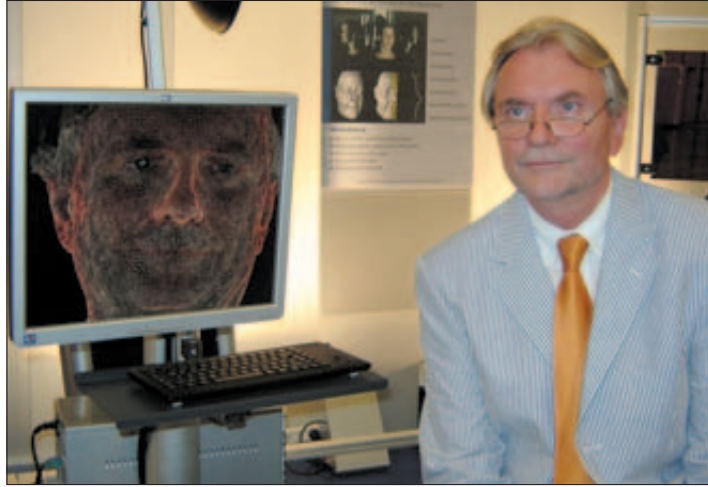
KN Können Objekte, die eine Ober- und Unterfläche haben, exakt gescannt werden, auch wenn stark „unter-sich-gehende“ Stellen existieren?

Ja, solche Objekte kann man erfassen, soweit man sie durch Drehung und Bewegung von allen Seiten messen kann. Durch sogenannte Registrierung werden die Ansichten zu einem „Rundum-3D-Objekt“ zusammengesetzt. Am Fürstenportal des Bamberger Domes kann man eine Kopie des Posaunenengels sehen, deren virtuelle Kopie (als Ausgangspunkt für die reale Kopie) von uns aus 200 3D-Ansichten zusammengesetzt wurde.

In engen Bohrungen kann man

natürlich nicht so einfach messen. Überhaupt sind Messungen an engen Plätzen – im Mund oder im Gehörgang – schwierig. Daran arbeiten wir intensiv.

KN Wie kann die Zahnmedizin den Fortschritt in den ande-



Sitz zur Veranschaulichung neben seiner eigenen 3D-Abbildung; apl. Prof. Dr.-Ing. Gerd Häusler.

ren technischen Fachrichtungen nutzen?

Wir arbeiten seit etwa 20 Jahren mit Zahnmedizinern, auch Kieferchirurgen und Kieferorthopäden zusammen. Ich habe große Hochachtung vor ihnen. Sie vereinen medizinisches Wissen mit enormem Ver-

ständnis von Technik; sie sind im Herzen wohl auch Ingenieure. Wir Physiker verstehen uns sehr gut mit ihnen. Insofern muss man nicht viel organisieren, damit die Zahnmedizin den Fortschritt der technischen Fachrichtungen nutzt. Gegenseitige Einladungen zu Vorträgen auf Tagungen sind sicher effektiv. Die Mediziner sind übrigens sehr früh auf uns zugekommen und haben die Entwicklungen der Sensorik nicht nur aufgegriffen, sondern sie auch aktiv vorangetrieben.

Um auf mein Arbeitsgebiet zu kommen, die optische Messtechnik: Ich denke, optische Messungen von Zähnen (demnächst wohl auch verstärkt intraoral), von Weichgewebe, und Gesichtern, sind bei einigen medizinischen Kollegen aus der Hochschule im Begriff, sich zu etablieren.

Die sogenannte multimodale

Sensorik wird weitere große Fortschritte bringen. Damit ist die algorithmische Verschmelzung von CT-Daten, MR-Daten und SPECT Daten gemeint. Wir haben speziell begonnen, optische 3D-Daten von der Oberfläche des Körpers mit Ultraschalldaten zu verschmelzen. So können wir zumindest teilweise unter die Hautoberfläche schauen, und 3D-Modelle im Volumen generieren, gänzlich ohne – und das ist bemerkenswert – Strahlenbelastung. **KN**

KN Adresse*

3D-SHAPE GmbH
Henkestraße 91
91052 Erlangen
Tel.: 0 91 31/97 79 59-0
Fax: 0 91 31/97 79 59-11
E-Mail: info@3d-shape.com
www.3d-shape.com

KN Kurzvita

apl. Prof. Dr. Gerd Häusler

- 1944 in Buslar/Pommern geboren, aufgewachsen in Berlin, verh., 2 Kinder
- Physikstudium an der TU Berlin
- Diplomarbeit und Promotion am Optischen Institut der TU Berlin
- Promotion 1974, Thema: „Schärfentieferweiterung bei der optischen Abbildung“
- Seit 1974 an der Universität Erlangen, seit 1987 als außerplanmäßiger Professor
- 1981 Habilitation „Bildverarbeitung mit fernseh-optischer Rückkopplung“
- 2001 Gründung der Fa. 3D-shape GmbH gemeinsam mit 5 Mitarbeitern
- Seit 2004 an der Max-Planck Forschungsgruppe, Institut für Optik, Information und Photonik, Universität Erlangen
- Mehr als 200 Veröffentlichungen und etwa 15 Patente

Xerostomie, die Ursachen und verschiedene Therapiemöglichkeiten

Die ZMK-Tagung 2005 in Berlin eröffnete interessante Lösungsansätze für die verschiedensten Problemstellungen in der Mund-, Zahn- und Kieferheilkunde. So auch für ein Symptom, das Disziplinen übergreifend thematisiert wird: Die Xerostomie. Diese tritt beispielsweise bei Erkrankungen mit Störung des Wasserhaushaltes (Diabetes mellitus/insipidus etc.) auf und kann durch die Einnahme einer Vielzahl von Medikamenten verursacht werden. Am häufigsten ist die Mundtrockenheit jedoch bei Patienten nach tumortherapeutischer Bestrahlung im Kopf-Hals-Bereich zu beobachten. Die Einnahme von Speichersatzmitteln stellt bislang die wirksamste Methode zur Behandlung der Xerostomie dar. Allerdings unterscheiden sich diese in ihrer Zusammensetzung und Wirkung voneinander.

Von Dr. Peter Tschoppe, Dr. Hendrik Meyer-Lückel und Prof. Dr. Andrej M. Kielbassa – Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie, Charité Berlin.

Tumoren im Kop-Hals-Bereich stellen weltweit über 5% aller soliden Tumoren dar. Die Neuerkrankungsrate ist dabei weiter ansteigend. Ziel einer Radiatio ist die strahlentherapeutische Zerstörung von Tumorgewebe. Die wichtigsten Folgeschäden im Kopf-Hals-Bereich sind die Mukositis, die Xerostomie, der Geschmacksverlust, die „Strahlenkaries“, und die Osteoradionekrose [16]. Der Zahnarzt hat in Zusammen-

lenskizze ersichtlich. Dazu gehören bei Radiatio im Kopf-Hals-Bereich neben dem Zahnsystem die stark in Mitleidenschaft gezogenen Speicheldrüsen, die Mundschleimhaut sowie die masticatorische Muskulatur und die Alveolarknochen.

Mögliche Nebenwirkungen nach Radiatio

Da die Radiotherapie eine lokale Behandlung ist, sind

Hyposalivation in Verbindung stehen, persistieren häufig lebenslang und erhöhen damit das Risiko der Entwicklung oraler Infektionen. Sämtliche mit den Auswirkungen der strahlenbedingten Schädigung der Speicheldrüsen in Zusammenhang stehenden Nebenwirkungen haben nach gegenwärtigem Stand der Forschung einen Einfluss auf die Entstehung der „Strahlenkaries“. Diese nach einer durchgeführten Radiatio häufig zu beobachtende Komplikation kann innerhalb kurzer Zeit zur vollständigen Zerstörung der Dentition führen (Abb. 1) [16].

Veränderung des Knochens

Die schwerwiegendste Komplikation der Bestrahlung ist die Osteoradionekrose. Die lebenslang bestehende Gefahr der Osteoradionekrose sollte immer berücksichtigt werden, auch wenn die Inzidenz dieser Komplikation in den letzten Jahrzehnten deutlich zurück gegangen ist [16]. Durch die heutzutage übliche Bestrahlung mit relativ hohen Energiedosen, im Vergleich zur konventionellen Strahlentherapie mit niedrigen Energiedosen, wird die Energie nur zu einem geringen Ausmaß vom Knochen absorbiert und das Risiko für die Entwicklung einer Nekrose des Knochens minimiert. Trotzdem ist das Risiko auch beim Einsatz höherer Strahlendosen immer noch gegeben und die Osteoradionekrose kann als ernsthafte Komplikation in Verbindung mit der Behandlung maligner Tumoren auftreten. Auf Grund der monoarteriellen Versorgung des Unterkiefers kommt die Osteoradionekrose weitaus häufiger im Unterkiefer als im Oberkiefer vor [2].

Auswirkung der Bestrahlung auf die Zahnhartsubstanz

Die therapeutischen Maßnahmen bei Detektion der „Strahlenkaries“ richten sich nach dem Schweregrad (Abb. 1, 2). Frühe Schmelzveränderungen sollten eine Intensivierung von Mundhygiene und Fluoridierung zur Folge haben. Bei umschriebenen Veränderungen ist eine Füllungstherapie möglich. Liegen multiple Läsionen an einem Zahnhals oder ein zusätzlicher kariöser Befall der okklusalen Fläche vor, sollte eine Überkronung, bzw. bei fraglicher Erhaltungswürdigkeit die Extraktion erfolgen. Ist das Pulpakavum eröffnet, sollte zur Vermeidung einer Osteoradionekrose die Extraktion erfolgen. Bei prothetisch wichtigen Pfeilerzähnen kann eine Wurzelkanalbehandlung sinnvoll sein. Zähne mit Lockerungsgrad II oder Furkationsbefall Grad II sollten unter gleich-

der Mundspeicheldrüsen manifestiert sich meist in einer mehr oder weniger stark ausgeprägten Mundtrockenheit, der sogenannten Xerostomie [6]. Die Folgen der Xerostomie können das Lebensgefühl der Patienten stark einschränken. Kau-, Schluck-, Sprechbeschwerden, Geschmacksstörungen, Zahnfleisch- oder Zungenbluten, Brennen im Mundbereich sowie Unverträglichkeit der Prothesen und Druckstellen sind nur einige Symptome [7]. Veränderungen der Geschmacksempfindungen sind ein früh auftretendes Symptom der Radiotherapie und gehen meist der Mukositis und der Hyposalivation voraus. Die überwiegende Anzahl der Patienten klagt über einen partiellen oder kompletten Verlust der Geschmacksempfindungen während der Bestrahlungstherapie [22]. Diese können innerhalb eines Jahres nach der Bestrahlung auf ein normales oder nahezu normales

die stimulierte Speichelfließrate von normalerweise 1–3 ml/min bereits nach der ersten Behandlungswoche auf unter 0,5 ml/min, und kann bis auf 5 % des Ausgangswertes absinken. Alter und Geschlecht sowie die ursprüngliche Speicheldrüsenaktivität des Patienten beeinflussen die Auswirkungen der Bestrahlung. Eine primär hohe Speichelfließrate vermindert sich weniger als eine, die vor der Bestrahlungstherapie bereits erniedrigt war [20]. Der Speichel wird darüber hinaus auch qualitativ verändert. Er wird dickflüssig und erhält ein unterschiedliches Aussehen (von weißlich bis bräunlich). Zusätzlich sinkt der pH-Wert von ursprünglich 6,8 auf bis zu unter 5,0 ab [3, 5]. Daraus resultiert eine stark verminderte Remineralisationsfähigkeit, eine reduzierte antibakterielle Wirkung und eine drastisch gesenkte Pufferwirkung des Speichels [11]. Daher ist eine ausreichende Flüssigkeitszufuhr sehr wichtig, die im Durchschnitt 2,5–3 l/Tag betragen sollte [4], um weitere Nebenwirkungen wie Mukositis, Heiserkeit, Kau-, Schluck- und Sprechbeschwerden zu minimieren.

Zur palliativen Therapie der Symptome der Xerostomie stehen verschiedene Möglichkeiten wie z. B. die Einnahme systemisch (z. B. Pilocarpine) oder lokal (Kaugummi, Lutschbonbons etc.) wirkender Speichelstimulanzien zur Verfügung. Die meisten Patienten mit Xerostomie leiden jedoch vor allem nachts unter einer Mundtrockenheit. Die Einnahme von lokalen Stimulanzien ist allerdings besonders während der Nachtruhe äußerst unständig, so dass die Patienten oftmals auf Speichelsubstitute zurückgreifen. Generell ist der Einsatz von Speichelstimulanzien nur bei ei-

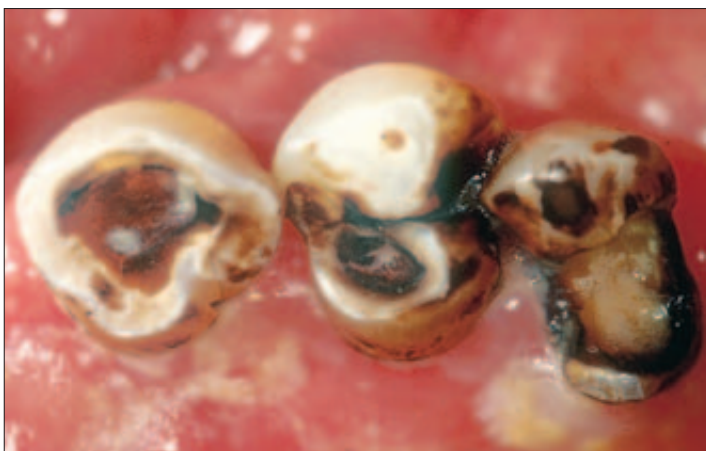


Abb. 1: Kariöse Läsionen (Strahlenkaries) auf Grund der unzulänglichen Mundhygiene während und nach der Bestrahlung.

arbeit mit dem die Grunderkrankung behandelnden Arzt die Aufgabe, diese Nebenwirkungen (im Bereich der Mundhöhle) zu erkennen und in einem für den Patienten erträglichen Rahmen zu begrenzen. Neben der häufig notwendigen Wiederherstellung der Kaufähigkeit ist von zahnärztlicher Seite insbesondere die Gesunderhaltung der Dentition von Interesse, da diese insbesondere post radiationem besonders kariesgefährdet ist. Zahnärztliche Maßnahmen zur Behandlung dieser Patienten umfassen daher die Zeiträume vor, während und nach der Strahlentherapie [8, 9]. Dabei müssen alle im Bestrahlungsfeld gelegenen Organe berücksichtigt werden; diese sind aus der vom Radiologen angefertigten Strah-

schädliche Wirkungen auf gesundes Gewebe nur im bestrahlten Bereich zu erwarten. Grundsätzlich unterscheidet man akute, d.h. frühzeitig auftretende Nebenwirkungen (Mukositis, Hauterythem, Dys-/Ageusie), von späten Reaktionen des Gewebes (Dysphagie, Xerostomie, „Strahlenkaries“, Osteoradionekrose). Die oralen Nebenwirkungen der Radiotherapie sind das Ergebnis schädigender Effekte auf die Mukosa, die Speicheldrüsen und den Knochen. Die klinischen Manifestationen können sehr stark variieren, so dass der Grad der jeweiligen Schädigung nicht bei allen Patienten mit gleicher Intensität ausgeprägt sein muss. Die beschriebenen Erscheinungen wie Mukositis und „Strahlenkaries“, die mit der



Abb. 2: Plaqueakkumulation und daraus resultierende gingivale Entzündung mit kariösen Läsionen am Zahnhals nach Strahlentherapie.

zeitigem Entfernen von Granulationsgewebe und avitalem periradikulärem Knochen entfernt werden.

Veränderung der Speicheldrüsen und des oralen Wohlbefindens

Die funktionelle Zerstörung

Niveau zurückkehren. Der Grad einer solchen Besserung ist jedoch dosisabhängig. In einigen Fällen ist jedoch ein bleibender Verlust der Geschmacksempfindung zu beobachten [21]. Bei Patienten nach tumortherapeutischer Bestrahlung im Kopf-Hals-Bereich reduziert sich