

DEM ZAHNSTEIN AUF DER SPUR

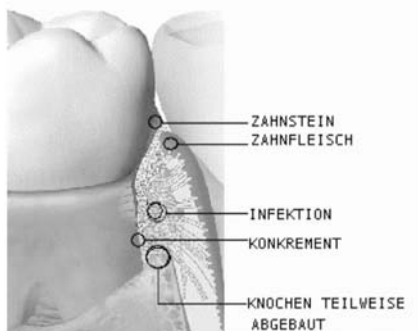
Entwicklung eines Ultraschallschwingers zur schonenden Entfernung von Konkrementen

Von Jens Strackeljan, Jens Dobras und Detlef Mitzschke

Medizinischer Hintergrund und bisherige Therapie

Es beginnt meist ganz harmlos ohne Schmerzen. Das Zahnfleisch ist gerötet und geschwollen, manchmal blutet es. Doch irgendwann, oft ganz ohne Vorwarnung, ist es zu spät: Vollkommen gesunde Zähne lockern sich, fallen aus oder müssen gezogen werden. Die Rede ist von der Parodontitis, einer Entzündung des Zahnhalteapparates.

Parodontitis ist heute bei Erwachsenen über 40 Jahre in Deutschland der Hauptgrund für Extraktionen und steht nach neueren Untersuchungen auch in Verbindung mit systemischen Erkrankungen wie z. B. Herzinfarkt, Zuckerkrankheit und Frühgeburten. Man weiß mittlerweile, dass praktisch jede Parodontitis auf eine Besiedelung durch Bakterien zurückzuführen ist. Sie bilden auf der Zahnwurzel einen Belag, die sog. „Plaque“. Diese unterhalb des Zahnfleischsaumes (subgingival) befindliche Plaque mineralisiert, wenn sie nicht entfernt wird, in weniger als zwei Tagen und wandelt sich in äußerst harte Beläge (sog. Konkreme) um (Bild 1 und 2 a).



Diese dienen den Bakterien als Nährboden für die weitere Besiedelung der Zahnfleischtaschen. Stoffwechselgifte lösen dort Entzündungen aus, die bei Nichtbehandlung zum Zahnverlust führen.

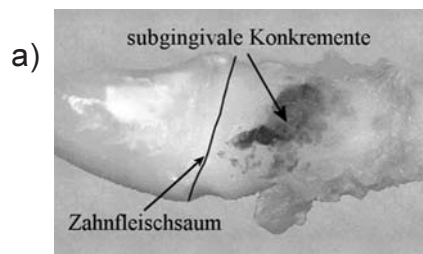
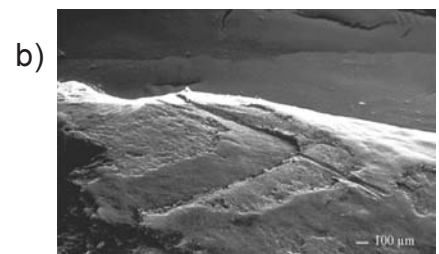


Bild 2a: Extrahierter Zahn

Bild 2b: Geschädigte Zahnoberfläche mit Konkrementen nach der Behandlung



Die harten, ausmineralisierten Konkreme können nur durch professionelle Reinigung in

periodische Schwingbelastung des Konkremes bzw. der Zahnoberfläche mit Frequenzen zwischen 20 und 40 kHz kommt es zu Mikrogleitungen im oberflächennahen Bereich, zu Rissbildung, Materialermüdung und letztendlich zum Bruch des Konkremes bzw. zur Beschädigung der Zahnoberfläche (Bild 2b).

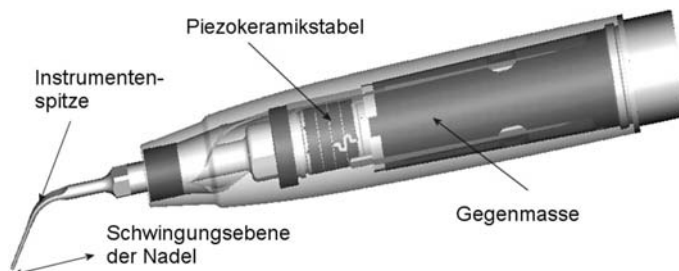


Bild 3: Prinzipskizze eines Ultraschallscalers

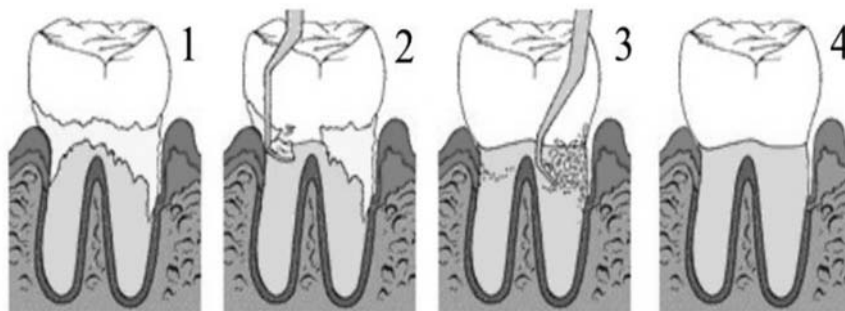


Bild 1: Entzündeter Zahn und schematische Darstellung der notwendigen Entfernung von Konkrementen

Die Probleme dabei: Der Zahnarzt kann die Behandlungsstelle im Bereich der Zahnfleischtaschen nicht einsehen und taktil auch kaum beurteilen. Die bisher verwendeten Instrumente sind nicht in der Lage, zwischen Zahnbelägen oder gesunder Zahnhartsubstanz zu unterscheiden. Daher wird bei der Zahnsteinentfernung meistens auch gesunde Zahnhartsubstanz mit abgetragen (KOCHER et. al. 1997); denn der Behandler kann nicht kontrollieren, ob und zu welchem Zeitpunkt der Zahnstein vollständig entfernt ist. Verschiedene Studien zeigen seit langem, dass es mit den herkömmlichen Methoden einerseits ►

zu einer Übertherapie kommt, d.h. auf schon sauberen Stellen weitergeschabt und gesunde Zahnschubstanz abgetragen wird. Andererseits wird Zahnstein aber auch übersehen; es wird also untertherapiert. Zur Lösung der o. g. Probleme entstand an der Abteilung für Parodontologie der Universität Greifswald und am Institut für Technische Mechanik der TU Clausthal die Idee, einen Ultraschallscaler zusätzlich mit einer automatischen Erkennung der Zahnoberfläche auszustatten. Dieses „intelligente“ Ultraschallgerät kann Zahnstein schonend entfernen, da es am Schwingungsmuster der Nadel die jeweils berührte Oberfläche erkennt und somit auch in den für den Behandler nicht einsichtigen Bereichen der Zahnfleischtaschen Konkrement ohne Schädigung der Zahnoberfläche abtragen kann. In einem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekt arbeiten wir daran, diese Idee in ein funktionsfähiges System umzusetzen.

Subgingivale Zahnsteinerkennung mittels Ultraschallscaler

Das Entwicklungssystem zur automatischen Zahnoberflächenenerkennung besteht hardwareseitig aus dem Ultraschallscaler, der sowohl als Actor als auch als Messsensor verwendet wird, dem Anregungssystem und dem Datenaufzeichnungs- und -analysesystem (Bild 4). Der PC-gestützte Rechner soll in einer späteren Entwicklungsstufe durch einen Signalprozessor ersetzt werden. Es wäre dann möglich, das System in bestehende Behandlungsstühle zu integrieren.

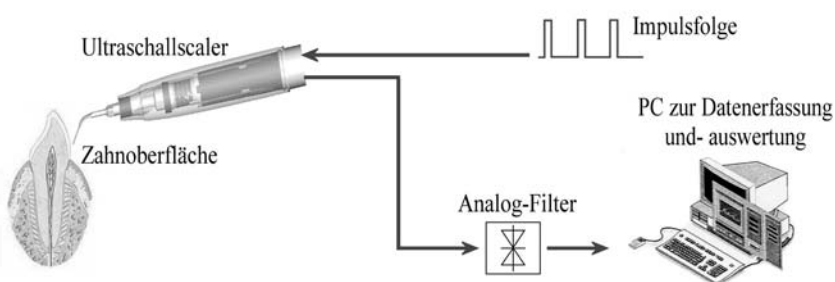


Bild 4: System zur automatischen Zahnoberflächenenerkennung mittels Ultraschallscaler

Das Anregungssystem produziert eine Rechteckimpulsfolge mit einer Amplitude von ca. 200 V und einer Impulsdauer von etwa 10^{-5} s, die das Piezosystem des Scalers ca. 50mal in der Sekunde zu Schwingungen anregt, wobei die Amplituden an der Nadelspitze mit weniger als 5 µm sehr gering ausfallen. Die Oberflächenantwort auf die Impulsfolgenanregung induziert nun eine mechanische Deformation der Piezokeramik, was wiederum zu Spannungsänderungen an den



Seit 1829 Hand in Hand mit der Hochschule: Die Grosse'sche Buchhandlung (links)



Ihre Fachbuchhandlung für:

**Technik • Naturwissenschaften
Bergbau • Umwelttechnik**

GROSSE'SCHE BUCHHANDLUNG

ADOLPH-ROEMER-STRASSE 12 • TEL. (0 53 23) 9390 - 0 • FAX - 20

grosse.harz.de • buch@grosse.harz.de

D-38668 CLAUSTHAL-ZELLERFELD

Elektroden der Keramikelemente führt. Das Gesamtsignal aus Impulsanregung und Rückwirkung wird mittels des Datenerfassungssystems

te entfernt. Immer wenn im Detektionsmodus durch die Rechteckfolge Konkremeute erkannt werden, kann das System auf den normalen Leistungsbetrieb zur Entfernung umgeschaltet werden. Dies kann manuell durch den Behandler oder automatisch gesteuert durch das Dentalgerät erfolgen. Dieser Ultraschallschwinger ist ein schönes Beispiel eines mechatronischen Systems, bei dem neue Funktionalitäten erst durch die Kopplung von Mechanik, Elektronik und Signalverarbeitung entstehen.

Der Nachweis, dass das Schwingungsverhalten durch die berührte Oberfläche beeinflusst wird, konnte in einer Reihe von Laborexperimenten an extrahierten Zähnen invitro erbracht werden.

Mittels einer geeigneten Merkmalserzeugung, die durch die Transformation des Zeitsignals in den Spektralbereich erfolgt, ist eine prinzipielle Unterscheidbarkeit von Zahnoberflächen möglich. Jeder der in diesem Fall 400 Magnitudenwerte (Bild 5, links) kommt als mögliches Merkmal für den Entscheidungsprozess, welche Oberfläche momentan berührt wird, in Betracht. Algorithmisch wird dieser Prozess in einem sogenannten Klassifikator realisiert, wobei eine große Auswahl von potentiellen Klassifikationsalgorithmen zur Verfügung steht, auf deren Beschreibung und die Auflistung der zugehörigen Auswahlkriterien hier verzichtet werden soll. Allen ist aber gemeinsam, dass sie zum ►

Anlernen Musterbeispiele für jede der beiden Zahnoberflächen Wurzel und Konkrement benötigen. Je umfangreicher diese Lernmengen sind, desto sicherer werden in der Regel dann auch die Entscheidungen ausfallen.

Die Analyse einer größeren Anzahl von Stichproben zeigt nun, dass bei einigen charakteristischen Frequenzen Abweichungen in der Amplitude verschiedener Zahnoberflächen vorhanden sind, während große Frequenzbereiche nahezu identische Amplituden aufweisen. Dabei ist zu bemerken, dass dies allein die Klassifikationsaufgabe noch nicht löst, wie die zweidimensionale Auftragung zweier visuell unterscheidbarer Merkmale illustriert (Bild 5, rechts). Denn durch die große Streuung treten Überlagerungen der „Merkmalswolken“ der beiden Klassen auf. Dennoch muss ein Klassifikationsalgorithmus für jeden der eingezeichneten Punkte eine Beurteilung vornehmen, ob es sich um Konkrement handelt oder nicht. Da die Übergänge zwischen beiden Klassen nicht scharf abgegrenzt sind, empfiehlt sich der Einsatz von unscharfen (Fuzzy) Methoden, die diesem Tatbestand Rechnung tragen.

Serienstreuung und Eichfähigkeit Schwächen auf. Auch bei identischer Anregung kommt es daher zu schwankenden Signalen.

- Die Abnutzung der Nadeln auch innerhalb zulässiger Spezifikationen führt zu einer signifikanten Abweichung im Schwingungsverhalten.

Unter Berücksichtigung dieser Randbedingungen ist verständlich, dass eine Beurteilung mit einem Klassifikator, der mit festen Grenzwerten arbeitet, nicht funktionieren wird. Entweder es gelingt, die von den Randbedingungen geprägten Einflüsse z.B. durch geeignete Eichungen zu eliminieren oder es werden Merkmale aus dem Schwingungssignal extrahiert, die für eine möglichst hohe Schwankungsbreite der Einflussparameter zuverlässige Klassifikationsergebnisse liefern. Dieser Schritt der Merkmalsauswahl kann nur mit Unterstützung eines vollständig automatisierten Algorithmus erfolgen. Nach unseren Erfahrungen sind für diesen Vorgang der Merkmalsauswahl vor allem die in den letzten Jahren entwickelten sogenannten „Wrapper-Ansätze“ (STRACKELJAN 2002), bei denen schon für die Gütebewertung innerhalb der Merkmalsauswahl

erfahrener Zahnärzte von ca. 50 bis 60% schon eine erhebliche Steigerung in der Therapie der Parodontalerkrankungen. Hierbei wurden 2900 Messungen an ca. 100 Zähnen unter Variation der zuvor genannten Einflussparameter ausgewertet. Im Laufe des Projektes hat sich nun herausgestellt, dass nur mit einer Kombination von spektralen Merkmalen und einer adaptiven Mustererkennung brauchbare Klassifikationsgüten erreichbar sind. In einer Art Selbsttest, bei der die Nadel frei in der Luft schwingt, kann das System Veränderungen wie z.B. den Grad der Nadelabnutzung erkennen und eine Adaption der Klassifikationsparameter durchführen.

Der Grund, für die Klassifikation auf einen datenbasierten Ansatz zurückzugreifen, ergibt sich aus der vorliegenden Problemstellung, bei der sich das Schwingungsverhalten unter Berücksichtigung der Ankoppelung zwischen Nadel und Zahnoberfläche und der beschriebenen Einflussgrößen derzeit nicht in einem mechanischen Modell beschreiben lässt. Für Teilanalysen, z.B. die Frage, ob das Schwingungsverhalten auch durch den Zahnhalteapparat beeinflusst wird, wurden ergänzende FEM-Rechnungen durchge-

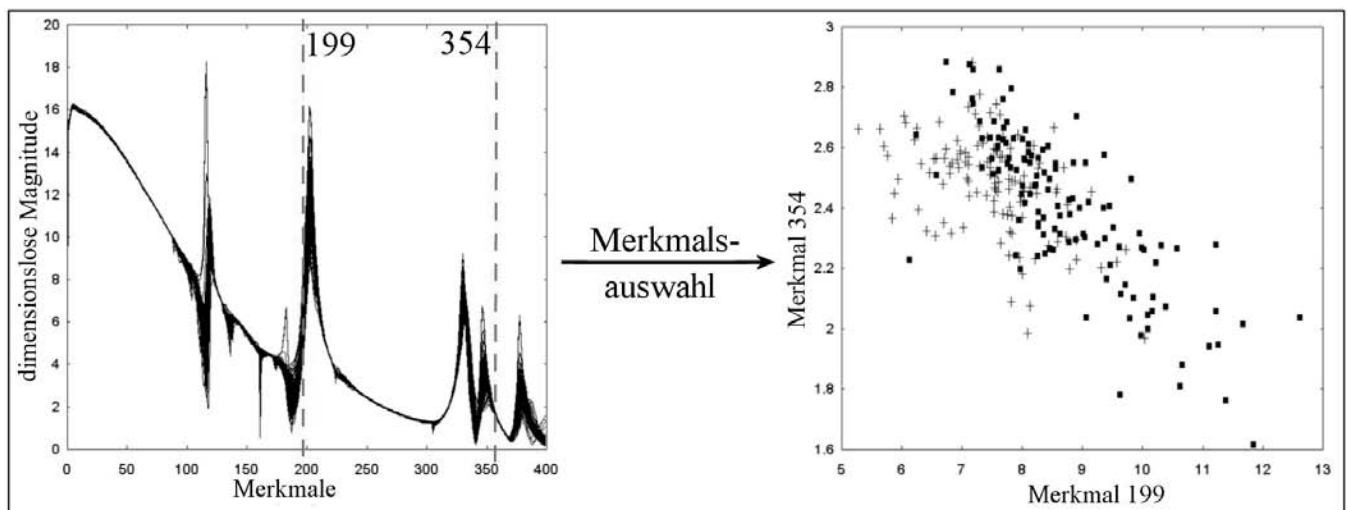


Bild 5: Lernmengen (Spektren) der Klassen „Zahnhartsubstanz“ und „Konkrement“ mit zugehöriger klassifikatorbezogener optimaler Merkmalskombination

Es ist aber unmittelbar einsichtig, dass das Handling des Instrumentes, im wesentlichen geprägt durch die Anpresskraft und den Kontaktwinkel zwischen Nadelspitze und Zahnoberfläche, auch einen Einfluss auf die entstehenden Schwingungen und damit auf das Spektrum entsprechend Bild 5 haben dürfte. Zusätzlich zu diesen vom Behandler abhängigen Parametern geben sich durch baugleiche, aber nicht identische Scaler weitere Schwankungen im Schwingungsverhalten:

- Die Piezokeramiken sind als reine Aktoren konzipiert und weisen bezüglich ihrer Sensoreigenschaften vor allem im Hinblick auf

der später zum Einsatz kommende Klassifikator Verwendung findet, besonders geeignet.

Das wichtigste Bewertungsmaß bei der Beurteilung der Klassifikationsergebnisse ist die Reklassierungsgüte, die dem Quotienten aus den korrekt klassifizierten Stichproben zur Gesamtstichprobenmenge der Referenzoberflächen entspricht. Derzeit können Reklassierungsraten bei der Unterscheidung von Zahnhartsubstanz und Konkrement von ca. 80% erreicht werden, die sich etwa in gleicher Größenordnung in die für medizinische Diagnosen wichtigen Klassifikationsraten der Sensitivität und der Spezifität aufteilt. Dies ist gegenüber der Erkennungsrate

führt, bei denen die Nahfeldwirkung der Anregung gezeigt werden konnte.

Risiken derartiger Forschungsprojekte

Das BMBF fördert im Rahmen des Programms „Innovationspreis Medizintechnik“ Projekte, bei denen ein hohes Risiko in der Durchführung des sogenannten Schlüsselexperiments liegt und auf der anderen Seite eine industrielle Nutzung erst nach dem Nachweis der Eignung eben durch dieses Schlüsselexperiment erfolgen kann. Es muss daher zusätzlich zu den beteiligten For- ►

schungseinrichtungen von Beginn auch ein industrieller Partner in die Entwicklung einbezogen werden.

Wo liegt bzw. lag nun das besondere Risiko in dieser Projektentwicklung?

Bisher gab es am Institut noch keine Erfahrungen mit der Entwicklung derartiger medizinischer Geräte. Vor allem die Notwendigkeit, Tests hierbei auch in vivo durchzuführen, hat sowohl die zeitliche als auch die inhaltliche Projektplanung erheblich erschwert. Dabei galt es nicht nur, auftretende technische Problemstellungen zu bewältigen, sondern es mussten auch eine Reihe von bürokratischen Hürden gemeistert werden. In Deutschland können bei Neuentwicklungen Tests am Patienten in der Regel nur dann durchgeführt werden, wenn zuvor eine Ethikkommission den geplanten Versuchen zugestimmt hat. Dieser Vorgang ist bekannt und das Verfahren sollte eigentlich keine Probleme bereiten. Aber speziell für zahnmedizinische Entwicklungen gibt es nur wenige Ethikkommissionen, und wenn sich von diesen einige als nicht zuständig erklären – häufig erst nach einer mehrwöchigen Bearbeitungsfrist –, vergeht schnell wertvolle Entwicklungszeit. Ein weiteres Problem, das sich durch ein Hochschulinstitut praktisch nicht bewältigen lässt, ist die technische Abnahme entsprechend dem Medizinproduktegesetzes (MPG). Selbst die Modifikation eines im Grundaufbau schon bestehenden Dentalgerätes unter Verwendung eines rechnergestützten Messwert-erfassungssystems verlangt schon in der Entwicklungsphase umfangreiche Tests z.B. zur elektromagnetischen Verträglichkeit. Nur durch die organisatorische und finanzielle Unterstützung des industriellen Projektpartners *Sirona Dental Systems* ließen sich diese Tests durchführen. Für das gesamte Zulassungsverfahren müssen ca. 6 Monate eingeplant werden. Das dann zugelassene System darf später aber keinen gravierenden Veränderungen unterworfen werden, wenn es nicht zu einer erneuten technischen Zulassungsprüfung kommen soll. In unserem konkreten Fall bei einer Projektlaufzeit von 2,5 Jahren bedeutet dies, dass schon nach ca. einem Jahr das System für die Prüfungen konzipiert sein musste, um dann nach Absolvierung der Zulassungsmodalitäten im verbleibenden Jahr die wichtigen in-vivo-Tests durchzuführen. Momentan befindet sich das Projekt in dieser Testphase, bei der Untersuchungen an ca. 60 Zähnen über die Eignung der Neuentwicklung Aufschluss geben werden. Um im klinischen Test eine neue Behandlungsmethode oder ein Gerät zu prüfen, kann man z.B. eine Mundhälfte jedes Probanden mit der neuen Methode und die zweite Hälfte mit einer Referenzmethode behandeln. Der Vergleich erfolgt dann nach Abschluss der Therapie über etablierte klinische Parameter z.B. die Zu- bzw. Abnahme der Taschentiefe. Diese Methode ist zur Ermittlung der prinzipiellen Fähigkeit, Konkreme automatisch zu erkennen und diese dann

abzutragen, aber ungeeignet. Zum einen benötigt ein solcher klinischer Test viel Zeit; denn es lässt sich erst nach Abschluss der Therapie eine Aussage treffen, und dann ist diese Beurteilung wegen der Abstützung auf klinische Therapieindikatoren noch indirekt, denn es fehlen konkrete Angaben zur Klassifikationsrate.

Wie kann nun aber die „Trefferquote“ des Systems ermittelt werden? Denn es muss festgelegt werden, mit welcher Zuverlässigkeit Konkreme erkannt und übersehen werden bzw. wann das Gerät gesunde Wurzelsubstanz fälschlicherweise als Konkremment beurteilt.

Da während der Behandlung der Zahnarzt nicht sieht, wo die Nadelspitze sich in der Tasche befindet, kann auch die Geräteanzeige nicht online auf ihre Korrektheit überprüft werden. Es werden daher alle Behandlungen komplett über eine sehr leichte Kamera gefilmt, die fest mit dem Gebiss des Patienten verbunden wird (Bild 6).

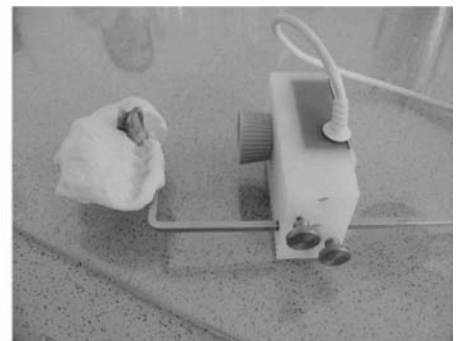


Bild 7: Nadel in der Zahnfleischtasche (links) und nach der Positionierung (rechts)

Das Instrument wird dabei in exakt die Lage gebracht, die es nach dem Videobild (links) auch während der Behandlung hatte.

Wer schnell nach oben will, braucht ein Finanzkonzept ohne Geschwindigkeitsbeschränkung.

Unser intelligentes Private Finance-Konzept geht jedes Entwicklungstempo mühelos mit. Dafür sorgen unsere Berater, die sich auf die Betreuung von jeweils etwa 200 Kunden konzentrieren, und unsere informative Internetplattform.

Trainieren von Vorstellungsgesprächen, Karriereseminar für werdende Akademiker, Assessmentcentertraining.

MLP Geschäftsstelle Clausthal-Zellerfeld I

Kronenplatz 14

38678 Clausthal-Zellerfeld

Telefon: 0 53 23/98 24-0

Fax : 0 53 23/98 24-24

E-Mail: clausthal-zellerfeld1@mlp-ag.com

MLP PRIVATE FINANCE



Dann werden die Zähne extrahiert und nach der Extraktion wieder exakt so in eine Abformmasse eingesetzt, dass die Verhältnisse denen im Mund entsprechen. Es wird nun versucht, an all den Stellen, an denen das System Konkrement angezeigt hat, das Instrument exakt in eine dem Video entsprechende Position zu bringen und dann zu prüfen, ob sich die nun einsehbare Nadelspitze auch tatsächlich auf Konkrement befunden hat (Bild 7). Ist dies der Fall, erhöht diese positive Erkennung die Klassifikationsrate, im anderen Fall steigt die Fehlerquote. Unschärfen, wie im Standbild des Videofilmes in Bild 5 sichtbar, können dabei durchaus auftreten.



Bild 6: Behandlung eines Patienten mit Filmaufnahme der gesamten Behandlung

Die Kamera ist über eine Schiene und eine Aufbissmasse fest mit dem Gebiss verbunden.

Die notwendige Extraktion der Zähne schränkt leider den zur Verfügung stehenden Patientenkreis stark ein; denn es werden selbstverständlich keine Zähne nur zur Unterstützung der Studie gezogen. Die Spezialisten der Uniklinik Greifswald erreichen auch bei klassischem Vorgehen so gute Therapieergebnisse, dass nur wenige Zähne zur Extraktion anstehen. Die Tests wurden daher auf Praxen niedergelassener Ärzte vor allem in Mecklenburg-Vorpommern ausgedehnt. Dies ist mit erheblichen Reisezeiten und vor allem dem guten Willen der Ärzte und natürlich auch der Patienten verbunden, die ja eine Untersuchung über sich ergehen lassen, an deren Ende in jedem Fall die Extraktion steht. Umso erfreulicher, dass es dennoch Menschen gibt, die sich bereit erklären, eine solche wissenschaftliche Studie zu unterstützen. Die beschriebene Nachpositionierung ist extrem zeitaufwändig und beansprucht für jeden Patienten mehrere Stunden. Sollte das System weiterentwickelt werden, sind in Zukunft ergänzende Studien notwendig, bei denen dann auf eine teil- oder vollautomatisierte Auswertung der Videoaufzeichnung zurückgegriffen werden soll.

Zusammenfassung

Die bisher erzielten Ergebnisse ermöglichen die Entwicklung von kombinierten Diagnose- und Behandlungsgeräten insbesondere für zahnmedizinische Anwendungen. Allerdings ist der prinzipielle Ansatz keinesfalls auf den dentalen Bereich beschränkt und kann mit geringen Änderungen auch auf andere Klassifikationsaufgaben z.B. der Qualitätskontrolle oder der Maschinenüberwachung übertragen werden. Neben dem Erreichen einiger wissenschaftlich interessanter Ansätze hat vor allem die sehr gute interdisziplinäre Zusammenarbeit der beteiligten Projektpart-

ner das Projekt geprägt. Der Austausch von Technologien, Methoden und Wissen ist hierbei keineswegs eine Einbahnstraße von den Universitäten in die Industrie. Vor allem im Hinblick auf das in einem solchen Verbundprojekt unbedingt notwendige Projektmanagement haben vor allem die Forscher von ihren Kollegen in der Entwicklungsabteilung eine ganze Menge lernen können. So kann, unabhängig von der noch ausstehenden Entscheidung der Industrie, dieses Gerät auch tatsächlich auf den Markt zu bringen, das Forschungsprojekt als überaus erfolgreich angesehen werden.

PD Dr.-Ing. habil. Jens Strackeljan
Dipl.-Ing. Jens Dobras
Dipl.-Ing. Detlef Mitzschke
Institut für Technische Mechanik
Adolph-Roemer-Straße 2A
38678 Clausthal-Zellerfeld
Tel.: 0 53 23/72-20 57 (Strackeljan)
0 53 23/72-20 53 (Dobras)
0 53 23/72-25 35 (Mitzschke)
Fax: 0 53 23/72-22 03

18. Gießerei-Kolloquium - 100 Teilnehmer aus Forschung und Industrie

Ein Jahr liegt der Stabwechsel von Prof. Dr.-Ing. Reinhard Döpp an Frau Prof. Dr.-Ing. Babette Tonn in der Clausthaler Gießereitechnik zurück. Rund 100 Gäste aus Wissenschaft und Industrie nutzten die Gelegenheit des 18. Clausthaler Gießerei-Kolloquiums am vergangenen Donnerstag und Freitag in der Aula der Universität zu intensiver fachlicher Diskussion. Die Clausthaler Wissenschaftler berichteten aus jüngst abgeschlossenen Promotionen und zogen ein erstes Zwischenresümee: Welche Forschungsrichtungen wurden beibehalten? Was trat neu hinzu?

Aus der Umstrukturierung der Gießereihallen und -räume ging ein neuer Bibliotheks- und Rechnerraum hervor, in dem den Studenten und Wissenschaftlern modernste Simulationssoftware zur Gieß- und Erstarrungssimulation von Bauteilen und die aktuellen Unterlagen aus Praxisseminaren zur Verfügung stehen. Dies wurde angesichts knapper staatlicher Mittel nur möglich dank der finanziellen Förderung durch den Verein deutscher Gießereifachleute und der Magma-Gießereitechnologie GmbH. Weitere Schwerpunkte sind der Aufbau eines Formstoff- sowie eines Schmelz- und Wärmebehandlungslabors.

Frau Professor Tonn beabsichtigt, sich auf folgende Forschungsschwerpunkte zu konzentrieren: So sollen Gusslegierungen mit neuen Eigenschaften entwickelt werden. Die Wissenschaftler modellieren das Gießen von Bauteilen und streben an, in Simulationen die komplexen Prozesse "durchsichtig" zu machen, damit das entstehende Werkstoffgefüge und die Eigenschaften vorhergesagt werden können. Schmelz-, Gieß- und Erstarrungsprozesse müssen den Anforderungen an Werkstoffe und Bauteile entsprechen, daher werden Legierungen und deren Herstellungsprozess als Einheit betrachtet und fortentwickelt.

In Zukunft sollen die Kolloquien im jährlichen Rhythmus stattfinden. ■