



**UvA-DARE (Digital Academic Repository)**

**Kiezen voor de computer**

van der Zel, J.M.

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

van der Zel, J. M. (2004). *Kiezen voor de computer*. Amsterdam, The Netherlands: Vossiuspers, Universiteit van Amsterdam.

**General rights**

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

**Disclaimer/Complaints regulations**

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <http://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.



## Kiezen voor de computer



Vossiuspers UvA is een imprint van Amsterdam University Press.  
Deze uitgave is totstandgekomen onder auspiciën van de Universiteit van Amsterdam.

Omslag: Nauta & Haagen, Oss  
Opmaak: JAPES, Amsterdam  
Foto omslag: Carmen Freudenthal, Amsterdam

ISBN 90 5629 359 1  
© Vossiuspers UvA, Amsterdam, 2004

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voorzover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16B Auteurswet 1912 <sup>j</sup> het Besluit van 20 juni 1974, St.b. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van 23 augustus 1985, St.b. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 882, 1180 AW Amstelveen). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.

# Kiezen voor de computer

*Rede*

uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt  
van bijzonder hoogleraar Computerondersteunde Tandheelkunde  
aan de Faculteit der Tandheelkunde  
van de Universiteit van Amsterdam  
op woensdag 15 september 2004

door

Jef M. van der Zel

 VOSSIUSPERS UVA



*Mijnheer de Rector Magnificus  
Geacht bestuur van de Stichting Bijzondere Leerstoel Degudent,  
Geachte aanwezigen,*

Op 30 oktober 2003 heeft het College van Bestuur van de Universiteit van Amsterdam toestemming verleend om aan de Faculteit der Tandheelkunde de bijzondere leerstoel Computerondersteunde Tandheelkunde te vestigen. Met deze oratie aanvaard ik in het openbaar de positie van bijzonder hoogleraar in de computerondersteunde tandheelkunde die zich als volgt laat definiëren: *Het onderzoek naar de integratie van hardware en software in de context van de tandheelkundige praktijk teneinde gebruiksvriendelijke, efficiënte en kosteneffectieve computertoepassing bij de diagnose en behandeling van patiënten in de tandheelkundige zorg te bevorderen.*

U gaat er waarschijnlijk vanuit dat ik het als bijzonder hoogleraar Computerondersteunde Tandheelkunde vandaag zal gaan hebben over de prachtige mogelijkheden van computers in de tandheelkundige praktijk. Overigens, als we kijken naar de snelheid waarmee het vakgebied verandert, kunnen we het adjectief ‘computerondersteund’ binnen afzienbare tijd laten vallen. Ik zal het inderdaad over computertoepassingen hebben, maar meer nog over hoe de tandheelkunde zich binnen de huidige ICT-ontwikkelingen en het digitale geweld van internet en andere netwerken ontwikkelt. In deze rede wil ik vooral laten zien dat de computerondersteunde tandheelkunde niet alleen een strategische keuze is, maar vooral een boeiend vak, misschien wel omdat het nog zo jong is en er nog veel in te ontwikkelen valt en het ook steeds weer om nieuw onderzoek vraagt, maar ook omdat het van de tandheelkunde steeds weer een nieuwe oriëntatie vraagt.

Ik ga vanmiddag proberen u deelgenoot te maken van mijn fascinatie met CAD-CAM, wat staat voor *Computer Aided Design – Computer Aided Manufacturing*. De mensen van het eerste uur, François Duret, Dianne Rekow, Lars Anderson, Sadami Tsutsumi en Werner Mörmann, delen met mij dat zij vanaf het begin gefascineerd

waren door de mogelijkheden die de computer biedt bij het automatiseren van het tandheelkundige restauratieve proces. De eerste stappen naar geautomatiseerde productie van prothetiek begon in 1972 met een promotieonderzoek van François Duret. Ikzelf, en velen met mij, zullen niet licht vergeten hoe de eerste demonstratie van een *chairside* geproduceerde restauratie in 1989 door François Duret bij de jaarlijkse *Mid-Wintermeeting* in Chicago life voor vele honderden geïnteresseerden werd uitgevoerd. Duurde de procedure toen nog vier uur, nu is deze binnen een half uur mogelijk. Mijn interesse voor *dental CAD-CAM* ontstond enkele jaren eerder bij het lezen van een artikel van Duret in *Dentist News*, en ik was eigenlijk direct verkocht. Toen wij in 1990 de eerste kronen uit keramiek konden slijpen, kwam Diane Rekow, een werktuigbouwkundig ingenieur en tandarts uit Minnesota, op bezoek bij ons CAD-CAM ontwikkelteam in Hoorn waar ze zeker 20 minuten lang heeft zitten kijken naar het frezen van een kroon, totdat deze klaar was. Ook Sadami Tsutsumi, professor Bioengineering van de Universiteit van Kyoto, bezocht onze groep; ik heb hem op mijn beurt opgezocht in Japan.

De bovengenoemde mensen vormen inmiddels een hechte kring vrienden die in het centrum staan van het technologische slagveld van de computerondersteunde tandheelkunde, wat dus nog een zeer jong vak is. Desondanks zijn er door software-oplossingen al vele paradigma's die gelden over pasvorm, esthetiek, klinische houdbaarheid en functionaliteit van met computerondersteuning geproduceerde restauraties gesneuveld, en staan we voor een heuse omwenteling in de restauratieve en prothetische tandheelkunde.

## Stand van Zaken

Voordat ik u iets ga vertellen over onze huidige onderzoeksprojecten wil ik eerst een algemeen beeld schetsen van de stand van zaken. Het onderzoek van de leerstoelgroep ontleent zijn vraagstellingen aan de restauratieve tandheelkunde en wordt gekenmerkt door een technische benadering met veel aandacht voor de interactie van de gebruiker met de ontwikkelde computerapplicaties. Een belangrijk onderzoeksdoel van de restauratieve en prothetische tandheelkunde is om inzicht te verkrijgen in de processen die plaatsvinden bij het restauratief herstel van het verlies van harde tandweefsels, zulks teneinde tot optimalisatie van deze processen te komen. Tot op heden liggen deze processen nog voor het grootste deel in handen

## KIEZEN VOOR DE COMPUTER

van de tandarts. Het feit dat de ontwikkelingen er langzaam maar zeker toe zullen leiden dat de restauratieve tandartsverrichtingen worden overgenomen door computertechnieken, is een onderwerp voor onderzoek, vooral omdat de prothetiek steeds meer gebruikmaakt van digitale informatietechnologie, zoals beeldvorming- en CAD-CAM-technologie en de daarmee gepaard gaande introductie van nieuwe materialen.

Aan de afdeling Tandheelkundige Materiaalwetenschappen is in nauwe samenwerking met de afdeling Orale Functieeler en het bedrijfsleven vijf jaar geleden een onderzoeksproject gestart naar de ontwikkeling en toepassing van CAD-CAM-systemen in de restauratieve tandheelkunde. Dit project is in eerste instantie ontstaan uit een STW-project dat door de vakgroep Tandheelkundige Materiaalwetenschappen en de afdeling Bijzondere Tandheelkunde van de Rijksuniversiteit Utrecht is uitgevoerd. In het samenwerkingsverband van de sectie Tandheelkundige Materiaalwetenschappen met de afdeling Orale Functieeler zijn bij het Academisch Centrum Tandheelkunde Amsterdam enkele assistenten in opleiding en gastonderzoekers werkzaam op het gebied van de computerondersteunde tandheelkunde. De leerstoelgroep wil met het klinisch materiaalkundig onderzoek ondersteuning geven aan klinische activiteiten van ACTA ten behoeve van de topreferente zorg op het gebied van de restauratieve en prothetische tandheelkunde.

## Internet

Mijn proefschrift, dat ik vijftien jaar geleden verdedigde, droeg als tweede titel: 'De essentie van kennis ligt, na verwerving, in de toepassing ervan', een 2500 jaar geleden gedane uitspraak van de Chinese wijsgeer Confucius. Ik vertel u niets nieuws als ik zeg dat de westerse wereld momenteel over hoogwaardige informatie- en communicatienetwerken beschikt. Daarop is een onmetelijke hoeveelheid kennis beschikbaar, die mensen op verschillende plekken ter wereld tegelijkertijd kunnen raadplegen. Dat is een hele verworvenheid, maar ik wil hier de ernstige vraag opwerpen of wij wel weten hoe we deze rijkdom optimaal kunnen toepassen.

Inmiddels zijn miljarden aan pagina's te raadplegen. Desondanks is het zoeken kinderspel geworden dankzij internetzoekprogramma's zoals Google, wat staat voor googol: een getal met honderd nullen. Google is er sinds 1998 dankzij een briljante gedachte van de oprichters: Sergey Brin, afkomstig uit Moskou en Larry



Page, zoon van een Amerikaanse hoogleraar informatica. Het zoeken op internet met zoekmachines als Google staat nog slechts in de kinderschoenen. Nu al kan naar foto's worden gezocht, straks moet dat ook lukken bij geluid en film. En de, hardop uitgesproken, vraag naar een restaurant moet op het scherm van het mobieltje de dichtstbijzijnde opleveren. De personal computer (het apparaat) en internet (het netwerk) werden vanaf de jaren tachtig ontwikkeld. In krap tien jaar tijd vond eerst de pc zijn plaats in de meeste westerse huishoudens, terwijl internet er slechts vijf jaar voor nodig had om tot een massamedium uit te groeien. Dat record is inmiddels alweer gebroken door de mobiele telefoon, die er nog geen drie jaar voor nodig had om massaal geaccepteerd te worden. Wie nu nog openlijk durft te twijfelen aan de naderende sociale acceptatie van mobiel internet, moet wel heel stevig in zijn schoenen staan.

De tandarts is van oudsher een alleen werkende zelfstandige. Ervaringen van collega's over behandelmethoden, apparatuur, materialen en afrekenmodaliteiten gaan daarom vaak aan hem voorbij. Netwerkvaardige collega's weten al hoe nuttig een collegiale uitwisseling via internet kan zijn. Ook externe databanken met literatuurgegevens en bijvoorbeeld afbeeldingen van mondziekten kunnen zijn medische blikveld verruimen en worden in steeds grotere mate geraadpleegd. Aan informatienetwerken geen gebrek: we hebben ze in steeds meer soorten en maten, ze komen met steeds grotere snelheden tot ons, we zijn omringd door lokale netwerken en mondiale communicatiesatellieten, we bedienen ons van vaste en mobiele infrastructuur. Niets onthoudt de netwerkvaardige tandarts zijn toegang tot een constante stroom van informatie; het leven wordt één continue *download*. Ook al lijkt het idee om de tandarts via het internet interactief zijn eigen restauraties en hulpmiddelen te laten ontwerpen wellicht wat triviaal, het eraan ten grondslag liggende idee is wel degelijk revolutionair. Tot nu toe immers produceerde de tandtechnicus dat waarvan hij globaal verwachtte dat de tandarts het wilde hebben. Maar de patiënt is meer en meer een individu geworden, met eigenzinnige wensen die hij het liefst zo snel mogelijk vervuld ziet worden, tegen de laagste prijs.

Door internet 'bezit' de tandartspraktijk de interface naar de patiënt. De patiënt zal zijn vraag naar goederen en diensten uitbesteden aan het informatienetwerk, waarmee we de essentie van het begrip 'aanbieden van zorg' vrij dicht naderen. 'Dit is wat ik wil, dit zijn de specificaties en mijn voorwaarden... doet u mij maar een interessante aanbieding, dames en heren tandartsen!' Patiënten worden kleine bedrijven. Hun vraag naar tandheelkundige zorg zullen zij uitbesteden aan het informatie-

## KIEZEN VOOR DE COMPUTER

netwerk, net zoals tandtechnische laboratoria hun bedrijfsprocessen steeds veelvuldiger gaan uitbesteden. Op beperkte schaal waren laboratoria daar zonder internet al aan gewend. In 1989 werd al 15 procent van alle restauraties in het buitenland uitbesteed. Voor de patiënt is deze methode volstrekt nieuw; voor het eerst krijgt hij te maken met een omkering van de zorgketen. Het is naïef om te veronderstellen dat de loyaliteit van de patiënt zijn beste tijd heeft gehad. De patiënt zal trouw zijn aan de tandarts die hem de beste dienstverlening biedt. Voor die laatste is het dan wel een voorwaarde dat hij de patiënt goed leert kennen en bij voorkeur anticipeert op zijn wensen. Als een relatie goed werkt, dan zal de patiënt een sterke neiging hebben om daar trouw aan te beloven – voorwaardelijke trouw wel te verstaan, want verspeelt de tandarts het vertrouwen van zijn patiënt, dan is hij ook zo weer ‘weggesurft’. De informatienetwerken bieden nu eenmaal genoeg alternatieven.

### Digitale patiëntenpas

De patiënt heeft al helemaal geen behoefte aan heisa. Hij wil het liefst snel, comfortabel en tijdens één afspraak behandeld worden. Het pushgedrag van de zorgaanbieders overheerst echter. Niet alleen bieden ze een beperkt pakket producten en diensten aan, ook schrijven ze de patiënt voor hoe zijn behandelplan er uitziet, hoe hij moet betalen, welke beveiligingssystemen hem beschermen en wat hij mag verwachten van de behandeling. Van daadwerkelijke omkering in de zorgketen is nog lang geen sprake. Een digitale *chipcard* is hard nodig voor elke patiënt die gebruikmaakt van de informatienetwerken. Daarin staan al zijn voorkeuren opgeslagen, waaronder de manier waarop hij wil betalen, hoe hij zijn transactie wenst te beveiligen en hoe hij zich wil identificeren. Niet de patiënt moet tegemoetkomen aan de wensen van de tandarts, maar andersom.

De digitale patiëntenpas zal een belangrijke stap worden in de richting van een daadwerkelijke zorgketenomkering. Deze zal gegevens bevatten over de medische en tandheelkundige behandelingen die zijn uitgevoerd en een met röntgenfoto's gedocumenteerde gebitsstatus. Met deze gegevens op zak zal de patiënt gemakkelijker met zijn vraag te rade gaan bij het informatienetwerk. Een digitale patiëntenpas biedt aan alle betrokkenen voordelen. Eilandoplossingen in de tandheelkundige zorg zullen uit raken. In plaats daarvan zullen administratie, beeldverwerking en ap-

paratuur in toenemende mate worden geïntegreerd in een gezamenlijk praktijksysteem. Tot nu toe wordt een overkoepelende coördinatie van gegevens en beeldmateriaal verhinderd door systemen. Door de ontwikkeling van een open communicatiestandaard en een digitale patiëntenpas worden dubblures bij het ingeven van data en de daaruit voortvloeiende fouten voorkomen. De computerondersteunde patiënt wordt een stuk mondiger. Wie geen digitale patiëntenpas accepteert, staat echter buitenspel. Ook zal de patiënt steeds strengere eisen stellen aan privacy en integriteit. Door de overgang van papieren naar digitale archivering zal het zorgproces (alle werkzaamheden rond het onderzoek en de behandeling van patiënten) steeds afhankelijker worden van ICT. Betrouwbaarheid, beschikbaarheid en continuïteit staan daarbij voorop. De gegevens die altijd beschikbaar moeten zijn voor het zorgproces vragen om gedegen en veilige opslagvoorzieningen. De spelregels worden bepaald door de patiënt. Wie toegang wil hebben tot die patiënt, zal daarnaar moeten handelen.

## De verandering

De tandheelkunde wordt meersporig. Het belang van speciale en nieuwe behandelmethoden zal toenemen en steeds meer praktijken zullen zich gaan specialiseren. Daarvoor wordt de behoefte informatie te geven aan kritische patiënten groter. Een tandartspraktijk zonder visualiserende patiëntenvoorlichting zal daarom duidelijk uit de toon vallen.

Tandtechnische laboratoria zullen zich op een aantal verschillende fronten fundamenteel moeten aanpassen. Ook zij zullen moeten aangeven wat hun goed ontwikkelde en minder goed ontwikkelde kwaliteiten zijn. Laboratoriumhouders die dat weigeren en hun hele traditionele waardeketen op geïntegreerde wijze – hetzij horizontaal, hetzij verticaal – in stand willen houden, zijn verloren. Zij zullen via de netwerken niet alleen worden aangevallen op hun kerncompetentie, maar op verschillende fronten tegelijk. Het ziet er volgens mij naar uit dat computerondersteund uitbesteden in toenemende mate een rol zal gaan spelen in de productie van tandheelkundige restauraties. De kostenbesparingen die het nu realiseert, zullen in de nabije toekomst alleen maar groter worden. Het optimaal gebruikmaken van informatienetwerken betekent dat men op elk denkbaar tijdstip kan beslissen welk bedrijfsproces op welk moment tegen welke prijs- kwaliteitverhouding het beste

## KIEZEN VOOR DE COMPUTER

uit is bij welke aanbieder. Kort gezegd: het benutten van de informatienetwerken in het eigen concurrentievoordeel. Computerondersteund uitbesteden is alleen mogelijk als tandtechnische laboratoria het aandurven om met hun businesspartners informatie te delen over productsystemen, bedrijfsprocessen en over logistiek. Durf ik dat, kan ik dat, wil ik dat? In een notendop is dat het dilemma waarvoor laboratoriumhouders zich vandaag de dag geplaatst zien.

Zonder het bestaan van de wereldwijde informatienetwerken zouden de landen uit de tweede en derde wereld een redelijke kans hebben gehad om zelfstandig uit te groeien tot regionale machten van belang. Nu is er voor hen hooguit een rol weggelegd als onderaannemer van de Eerste Wereld. Wie het zich kan veroorloven mee te lopen in de voorhoede, kan op een hele reeks gebieden concurrentievoordelen benutten. Dat geldt niet alleen voor productiekosten, maar vooral ook voor het meest kostbare goed, namelijk informatie: over de markt, over distributie en opslag en over afnemers en toeleveranciers. Met behulp van de informatienetwerken is de Eerste Wereld in staat om sneller, efficiënter en goedkoper te produceren dan de achterblijvers.

### Onderzoek

Nu wil ik u graag iets meer vertellen over ons huidige en toekomstige onderzoekprogramma. De projecten die ik achtereenvolgens de revue zal laten passeren, dragen de volgende klinkende acronymen: SCANdent, ARMeD, CADDIMA en LOCATION. Alle projecten hebben direct te maken met het gebruikmaken van de computer, met in het achterhoofd dat dit de gebruiksvriendelijkheid, efficiëntie en de kosteneffectiviteit van de tandheelkundige zorg op drastische wijze verbetert.

#### *SCANdent (Dental Scanner)*

Dit project houdt zich bezig met de ontwikkeling van een multifunctionele introrale *dental scanner*, die zowel de kleur van de tand als de geometrie van de preparatie en haar omgeving kan scannen, en wel direct in de mond van de patiënt aan de tandartsstoel. Het is een van de strategisch belangrijkste doelen van computerondersteunde tandheelkunde, omdat zij het startpunt betekent voor een computerondersteunde productie van tandheelkundige restauraties – hetzij *chairside* of door een

centraal productiecentrum. Dit betekent dat de patiënt snel en comfortabel, en soms in één afspraak voorzien kan worden van keramische restauraties. De laatste kunnen met de nieuwste productietechnologie in esthetiek gemakkelijk wedijveren met de handgemaakte equivalenten. De intra-orale scanner brengt de tandarts in een positie waarin hij in staat is het internet op te gaan en daar de meest gunstige prijswaarde restauratie voor zijn patiënt te 'halen'.

*ARMeD (Augmented Reality Meta-model for Dentistry)*

Tandheelkundige verzorging is zonder hulp van de computer nauwelijks meer voor te stellen. Hoewel er reeds veel voorbeelden van computertoepassingen in de tandheelkunde zijn, zoals digitale röntgensystemen, intra-orale camera's en kleurmeters, elektronische cariës, pocketdieptemeters en kauwregistratiesystemen, zowel als interactieve beeldverwerking en planning- en CAD-CAM-systemen en digitaal patiëntenbestandbeheer, heeft de echte doorbraak van de computer in de tandartspraktijk nog niet plaatsgevonden. Tot nu toe wordt de gebruikte computersoftware – als deze er al is – apparaatspecifiek toegepast. Door het integreren van verschillende structuurcomponenten, zoals de tandenbibliotheek en de scan- en ontwerpsoftware, met een open communicatiestandaard en centraal bestandsbeheer, wordt een grafische interface ontwikkeld voor prothetiek, implantologie en orthodontie.

De huidige software-ontwikkelingsmethoden hanteren in hun aanpak veel gemeenschappelijke elementen, waaronder iteratieve ontwikkeling, ontwikkeling van software die tegemoetkomt aan de behoeften van gebruikers, continuïteit en prioriteitsstelling van de vereisten. De gedachte hierachter is dat projecten succesvoller zijn als het ontwikkelteam opereert als een eenheid en het project de onderkende *best practice* toepast. Architecturale risico's dienen zo vroeg mogelijk te worden opgelost, zodat hiermee gepaard gaande gevaren beheersbaar blijven. Het helpt daarmee een haalbare, stabiele en toekomstvaste softwarearchitectuur te creëren. Het raamwerk is toegeschreven naar de eigen invulling van software-engineering, gebaseerd op UML, wat staat voor *Unified Modelling Language*, een formele taal in diagrammen, en objectoriëntatie. Door het formeel definiëren van gebeurtenissen kunnen ontwikkelaars implementeren op verschillende platforms of architecturen zonder de modellen te veranderen.

Met ARMeD wordt een nieuwe, soms virtuele realiteit gecreëerd. Het is derhalve belangrijk om te kijken in hoeverre de modellen en stroomdiagrammen die als

## KIEZEN VOOR DE COMPUTER

basis dienen overeenkomen met de beleving en de context van de tandheelkundige praktijk. In het beste geval maken de meest kundige mensen in ons vakgebied de modellen en stroomdiagrammen zelf of worden zij hier nauw bij betrokken, vóórdat de systemen gebouwd worden. Hieraan heeft het tot nu toe vaak ontbroken. Er zijn veel hightechproducten ontstaan die slecht passen binnen de context van de tandheelkundige praktijk en daarom vaak eindigen in geïsoleerde toepassing in enkele klinieken.

Door middel van een gebruiksvriendelijke grafische interface kan de tandarts in de toekomst in een sterk vergrootte virtuele realiteit veel doeltreffender en met meer zekerheid werken dan de beperkingen van de mond hem nu toestaan. Onder gebruiksvriendelijkheid valt bijvoorbeeld een programma dat, na instelling van de voorkeuren, de tandarts of tandtechnicus een ontwerpvoorstel doet waaraan nog maar weinig of niets hoeft te worden veranderd. Verder moet een programma de gebruiker niet in de steek laten als er iets fout gaat, maar berekend zijn op het aangeven van oplossingen bij te voorziene eventualiteiten.

*CADDIMA (Computer Aided Diagnosis and Design of Implant Abutments)*

De huidige praktijk voor het implanteren en de productie van prothetische hulpmiddelen door kaakchirurgen of tandarts-implantologen is gebaseerd op handvaardig vakmanschap en bestaat uit een groot aantal stappen. Om de faalfactor te verminderen, stijgt de vraag naar automatisering om redenen van efficiëntie: hogere precisie, betere reproduceerbaarheid, gecombineerd met hoge kwaliteit. In Nederland worden zo ca. 70.000 implantaten per jaar geplaatst. Dit aantal zal zich in de komende vijf jaar verdubbelen. De steeds mondiger wordende patiënt zal automatisch vaker naar tandimplantaten vragen en niet langer conventionele behandelingsmethoden accepteren. Echter als we omrekenen hoeveel implantaten er per tandarts per jaar worden geplaatst, blijft dit getal steken op 100. Geoefende tandarts-implantologen plaatsen per jaar al gauw 600, 800 of meer implantaten. Om aan de grote vraag naar implantaten te kunnen voldoen, zal het aantal tandarts-implantologen sterk moeten toenemen.

Massey kwam enkele jaren geleden na een klinische analyse van honderden door tandarts-implantologen geplaatste implantaten tot de conclusie dat slechts 17 procent als 'ideaal' konden worden geclassificeerd qua positie en

oriëntatie. Door een driedimensionale reconstructie van de anatomische structuren van de onder- of bovenkaak, met behulp van computertomografie (CT), kan een tandarts op zijn beeldscherm implantaten plaatsen in de ideale positie en oriëntatie op de daarvoor anatomisch meest gunstige plaats qua botstructuur en -kwaliteit. Deze planningdata worden via internet verstuurd naar een productiecentrum waar een implantatienavigatie-boorsjabloon wordt gefabriceerd. Deze kan vervolgens worden gebruikt voor het gecontroleerd boren van de gaten voor het plaatsen van de implantaten.

Na implantatie wordt er nieuwe scan gemaakt en worden de scandata verstuurd naar een productiecentrum waar de geïndividualiseerde implantaatopbouwen worden geproduceerd. Deze worden vervolgens bij de patiënt geplaatst. Hierdoor neemt de zekerheid van een correcte plaatsing door de tandarts toe en kan een minimale invasieve ingreep in de vorm van een klein boorgat het anders voor de patiënt traumatisch openleggen van het bot vervangen. Dit betekent voor de patiënt een veel kortere en minder ingrijpende implantatie-ingreep.

*LOCATION (Local Computer Aided Tomography for Implant Ontologies)*

Op grond van geavanceerde technologische ontwikkelingen is te verwachten dat computertomografie in de tandheelkunde aan betekenis zal winnen. De ontwikkeling van röntgendetector-arrays maken momenteel de opname van een volledig projectievlak mogelijk. Dit principe wordt nu al gebruikt in *Cone Beam* CT-scanners. Met deze zogenaamde CBCT-techniek kunnen voor een redelijke prijs specifieke oplossingen voor de tandheelkunde gebouwd worden, waarmee een nauwkeurige driedimensionale opname van de kaken en het middelgezichts-gebied, bij een zeer lage stralingsbelasting, gemaakt kan worden. Hiermee ontstaat de mogelijkheid om in de toekomst CT-scannen breder in te zetten bij het ontwerpen en de planning in de restauratieve en prothetische tandheelkunde.

## Nieuwe materialen

Het heeft meer dan 120 jaar geduurd eer de uitvinding van de eerste computer door Jacquard in 1880 en de eerste toepassing van keramiek in de tandheelkunde door Land in 1886 elkaar in de computerondersteunde tandheelkunde ontmoetten.

Was esthetiek tot voor kort een van de belangrijkste drijfveren om te kiezen voor keramiek, daar is nu ook de weefselvriendelijkheid van het metaalvrije keramiek bijgekomen. Vox populi heeft zich uitgesproken voor biocompatibiliteit. Het paradigma dat met keramiek altijd anders geprepareerd en gemodelleerd moet worden dan bij metaalkeramiek is met de komst van zirkoonoxide uit de wereld geholpen.

Een van de verworvenheden van de computerondersteunde tandheelkunde is dat het de toepassing van zirkoonoxide mogelijk heeft gemaakt. De introductie van dit materiaal in de restauratieve en prothetische tandheelkunde zal zeer waarschijnlijk de beslissende stap zijn naar volkeramiek zonder beperkingen. Onder de bestaande keramiëksystemen bestaat, buiten zirkoonoxide, geen betrouwbare mogelijkheid voor het indicatiebereik van bruggen zonder dat hierbij begrenzings zijn gesteld aan de grootte. Deze trend lijkt te worden doorbroken als we kijken naar de hoge sterkte en de, in vergelijking nog hogere, breuktaaiheid van zirkoonoxide. De driepuntsbuigsterkte van zirkoonoxide van meer dan 900 MPa maakt het materiaal toepasbaar voor praktisch alle volkeramische prothetische oplossingen. Hierbij moet bijvoorbeeld worden gedacht aan bruggen, implantaatopbouwen en wortelstiften. Dat zirkoonoxide in industrieel geproduceerde wortelstiften sinds 1990 met succes worden toegepast, bevestigt dat de hoge sterkte van zirkoonoxide tot klinische duurzaamheid leidt. De hoge sterkte en taaiheid wordt veroorzaakt doordat een materiaal specifieke kristaltransformatie (van een tetragonale naar monokliene kristalstructuur) scheurvorming in de kiem smoort. De bij deze transformatie optredende volumetoename remt de scheur af en verhoogt daardoor de sterkte met een orde van grootte.

Garvy (1992) vergeleek zirkoonoxide met gehard staal. De overeenkomsten in de materiaaleigenschappen zijn inderdaad verbluffend. Beide materialen hebben vergelijkbare waarden voor buigsterkte, elasticiteitsmodulus, thermische expansiecoëfficiënt en soortelijk gewicht. Wat de vergelijking nog frappanter maakt, is het feit dat beide materialen hun sterkte te danken hebben aan eenzelfde



martensietische omzetting in de kristalstructuur met een vrijwel gelijke volumevermeerdering. Bovendien zijn beide materialen voor röntgen opaak.

Op basis van haar specifieke materiaaleigenschappen wordt zirkoonoxidekeramiek, ook wel bekend onder de afkorting Y-TZP, al lange tijd toegepast in de orthopedie in heupgewrichtimplantaten. Eerdere pogingen om het toepassingsgebied uit te breiden naar de tandheelkunde, zijn gestrand op het feit dat dit materiaal niet verwerkt kon worden met traditionele in de tandtechniek bekende methoden. Met de komst van de computerondersteunde tandheelkunde kan zirkoonoxide op een economisch verantwoorde wijze worden verwerkt tot draagstructuren voor kappen en bruggen en implantaatopbouwen.

Aan tandheelkundige materialen die voor een implantatieperiode van meer dan 30 dagen worden toegepast, worden hoge eisen gesteld. Een aantal technische eisen zijn hoge sterkte, corrosiebestendig en zonder defecten vervaardigbaar tegen redelijke kosten. Het materiaal moet echter in de eerste plaats biologisch acceptabel zijn; dit betekent dat het zonder problemen in het weefsel ingebouwd kan worden en geen afstotingsreacties of ontstekingen veroorzaakt. Bij in-vitrotesten geeft zirkoonoxide geen ongunstige reactie met cellen of weefsel. De korte- en langetermijn-in-vivoproeven wijzen ook op een excellente biocompatibiliteit. Dit wordt ook ondersteund door verschillende klinische resultaten over een periode van meer dan acht jaar, die de afwezigheid van ongunstige weefselreacties bevestigen.

Er worden steeds hogere eisen gesteld aan mooie tanden. Momenteel worden als materiaal voor kronen en bruggen vooral metaal en porselein toegepast. De vraag naar volkeramiekoplossingen wordt echter steeds groter. Daarom wordt steeds meer druk uitgeoefend op de industrie en wetenschap om volkeramische systemen te ontwikkelen. Bij de introductie van volkeramische restauraties speelt de computerondersteunde tandheelkunde, zoals bij basisstructuren uit gesinterd keramiek, een sleutelrol. Ten aanzien van de esthetiek moeten we niet alleen denken aan computergefreesde tandkleurige inlays, onlays en veneers uit porselein, maar ook het op basisstructuren aanbrengen van verschillende lagen tandheelkundig glaskeramiek. Om aan de basisstructuur van zirkoonoxide een esthetisch effect te geven, kan er over de structuur een glaskeramiek geperst worden. Het onderzoek richt zich vooral op de sterkte van de hechting tussen zirkoonoxide en opgeperst glaskeramiek en de sterkte van de gehele structuur in afhankelijkheid van het verschil in de thermische uitzettingscoëfficiënten. Uit de wetenschappelijke literatuur is over het aanbrengen van glas op zirkoonoxide weinig bekend. Het eerste doel is

## KIEZEN VOOR DE COMPUTER

om een goed beeld te krijgen van de functionele eigenschappen van het glaskeramiek-zirkoonoxidesysteem met betrekking tot de thermische compatibiliteit van de componenten, de integriteit van de overgang, de vormstabiliteit van het glaskeramiek bij keramische schouders, de integriteit van de glaskeramiek met betrekking tot porositeit en in-vitrotesten op vermoeidheidsgevoeligheid en sterkte van restauraties. Op basis van deze resultaten kan een risicoschatting worden gemaakt voor de klinische toepasbaarheid van dit type restauratie.

Mede door de toegenomen vraag naar esthetische en bio-vriendelijke, metaalvrije restauraties is dit onderzoek belangrijk om een op bewijs gebaseerde, ook wel *evidence-based*, inschatting van de klinische betrouwbaarheid te kunnen maken. Hierbij kunnen de gevonden meetwaarden worden getoetst door een wiskundige analyse te maken van de ontworpen restauratie met de eindige elementen methode. Bij het testen van functionele producteisen en de validatie van de productiemethode staan ons een aantal internationale standaardtestmethoden ten dienste. Toch komen deze niet altijd tegemoet aan de eisen die ten aanzien van een langdurig functioneren in de mond van de patiënt van belang zijn. Tevens wil dit onderzoek komen tot wat definitievere uitspraken over te hanteren richtlijnen voor de tandheelkundige indicatiestelling van dit type restauratie. Daarnaast zal worden gekeken naar de wijze waarop de restauratie gefabriceerd wordt om te bepalen welke parameters kritisch zijn voor de eindkwaliteit van de restauratie. Het streven is om de kwaliteit van de prothetische werkstukken te verbeteren.

## Esthetiek

Digitale kleurmeting met behulp van een intra-orale scanner is een objectieve en voorspelbare methode om de kleurverdeling van een tand op te nemen. Echter de digitale kleurenkaart wordt momenteel nog niet gebruikt om een computer-gegenereerde laagopbouw met translucente lagen te realiseren, maar wordt door de tandtechnicus gebruikt om de restauratie handmatig in lagen op te bouwen. Om een natuurgetrouwe kroon te fabriceren met een of meer lagen ingekleurd glaskeramiek zal een generiek model van de laagopbouw moeten worden ontwikkeld waarmee, door de computer en door middel van interactie tussen de verschillende lagen, een restauratie opgebouwd kan worden die de digitaal opgenomen scan van de kleur zo dicht mogelijk benadert.

## Toekomst

Nu ik bij mijn conclusies ben aangekomen, is het mijn taak dit toekomstbeeld met zijn bestanddelen nog eens goed op een rij te zetten. We zien in de medische technologie ICT-ontwikkelingen die ver vooruitlopen op wat op dit moment in de tandheelkunde gebeurt. Er is wat dit betreft dus duidelijk sprake van een inhaalslag in de tandheelkunde. Door een zorgvuldige analyse, met veel aandacht voor de vraag wat de tandheelkunde echt nodig heeft, kunnen we hier veel van leren. Wij zullen iedere computertoepassing moeten valideren en kijken hoe het gebruiksgemak van deze computersystemen verbeterd kan worden en hoe zij ingepast kunnen worden in de context van de tandheelkundige zorg. De acceptatie, het kiezen voor de computer, zal zeker niet gemakkelijk zijn in het toch vrij traditionele vakgebied van de tandheelkunde. Echter, de tekenen zijn er al.

De aanzet tot dit onderzoek moet een discussie zijn over de toekomstige modellen voor het gebruiksvriendelijk, efficiënt en kosteneffectief inzetten van computertoepassingen in de tandheelkundige zorg. De eigentijdse resources tijd en kennis zijn een hoogst interessante voedingsbodem voor veel vernieuwend onderzoek. Ik ben ervan overtuigd dat ook het Academisch Centrum Tandheelkunde Amsterdam hierin een belangrijke rol zal spelen. Als kenniscentrum voor de computerondersteunde tandheelkunde zal zij een hele nieuwe groep onderzoekers aan zich kunnen binden.

De leerstoel Computerondersteunde Tandheelkunde richt zich bij het onderwijs op het toepassen van computertechnieken en op het door zelfstandige analyse tot nieuwe behandelingsmethoden en materiaalkeuzen te komen. Verder zal een degelijke basiskennis over beschikbare computertechnieken in de tandartspraktijk aandacht krijgen. In de wetenschappelijke scholing zal een practicum computerondersteunde technieken een belangrijke vormende functie vervullen. De leerstoelgroep verwacht dat de invloed van ICT in de komende tien jaar een enorme impact zal hebben op de bedrijfsvoering en het functioneren van de tandarts en op de kwaliteit van het tandheelkundig restauratieve proces.

Veel van wat vanmiddag gezegd is, is niet meer dan een visie op de toekomst, maar de richting waarin de tandheelkunde zich zal ontwikkelen ligt vast. De oude mechanistische regels van de traditionele tandheelkunde, die slechts een minimale documentatie nodig had, gelden niet meer. De hulpmiddelen voor het bereiken van

## KIEZEN VOOR DE COMPUTER

toekomstige doelen zijn al beschikbaar of worden momenteel ontwikkeld. De computerondersteunde tandheelkunde is in ieder geval geen utopie meer.

Ik heb u laten zien waarom de echte doorbraak van de computer in de tandartspraktijk nog niet heeft plaatsgevonden. Door integratie van verschillende structuurcomponenten met een open communicatiestandaard en centraal bestandsbeheer en optimaal gebruik van internet kan dit veranderen. Onderzoek naar generieke modellen die naadloos passen en gevalideerd worden binnen de context van het restauratieve proces, met toepassing van nieuwe materialen, zal ons in de toekomst ongetwijfeld doen kiezen voor het toepassen van de computer in de tandheelkunde.

## Dankwoord

Aan het eind van mijn rede gekomen, wil ik enige dankwoorden uitspreken. Velen hebben bijgedragen aan het feit dat ik hier nu mag staan, en daar ben ik hen dankbaar voor.

Graag wil ik vanaf deze plaats het College van Bestuur van de Universiteit van Amsterdam, oud-decaan professor Robert Bausch en de huidige decaan professor Wouter Beertsen van het Academisch Centrum Tandheelkunde Amsterdam bedanken. Zonder hun medewerking zou ik hier vandaag niet hebben gestaan om de aftrap te geven voor een betere coördinatie van het onderzoek in de computerondersteunde tandheelkunde.

Ook wil ik Jan Slor van Elephant Dental B.V. en Rudi Lehner van Dentsply International bedanken, die dag in dag uit steun verleend hebben aan de tot standkoming van deze leerstoel. Verder wil ik John Jaakke bedanken voor het feit dat hij naast zijn drukke werkzaamheden voor Van Doorne en als voorzitter van voetbalclub Ajax Amsterdam, tijd gevonden heeft om zitting te nemen in het bestuur van de Stichting bijzondere Leerstoel Degudent.

Mijn wetenschappelijk verleden is sterk verknoopt met de ACTA. Niet alleen heb ik mijn promotieonderzoek bij professor Carel Davidson afgerond, maar ook ben ik

JEF M. VAN DER ZEL

sinds die tijd betrokken bij de promotieprogramma's van Catherine Begazo, Alma Đozic, Guiseppe Isgro, Niek de Jager en andere gastonderzoekers.

Mijn vrouw Tineke wil ik hier speciaal bedanken. Zij weet als geen andere hoe belangrijk de factor tijd is en dat het management daarvan niet mijn meest ontwikkelde eigenschap is, dit mede omdat ik voortdurend heb beloofd het wat rustiger aan te gaan doen...

Natuurlijk wil ik vanaf deze plaats professor Albert Feilzer, als collega en hoofd van de sectie Tandheelkundige Materiaalwetenschappen – in wiens sectie de leerstoel Computergesteunde Tandheelkunde gastvrijheid krijgt – van harte bedanken voor zijn onvermoeibare inzet om een en ander voor elkaar te krijgen. Albert en ik vullen elkaar goed aan en delen dezelfde visie op het vakgebied van de computerondersteunde tandheelkunde.

Ik hoop als bijzonder hoogleraar Computerondersteunde Tandheelkunde een bijdrage te kunnen leveren aan het onderwijs en het wetenschappelijk onderzoek in dit steeds belangrijker wordende vakgebied.

Ik dank u allen hartelijk voor uw aanwezigheid en uw aandacht.

Ik heb gezegd.

# Bites for the computer

## *Inaugural Lecture*

delivered on the appointment  
to the chair in Computerized Dentistry  
of the Faculty of Dentistry at the Universiteit van Amsterdam  
on Wednesday, 15 September 2004

by

Jef M. van der Zel

JEF M. VAN DER ZEL

*Rector,  
Board members of the Stichting Bijzondere Leerstoel DeguDent,  
Ladies and gentlemen,*

On the thirtieth of October two thousand and three, the Board of the Universiteit van Amsterdam approved the establishment of the endowed chair of Computerized Dentistry within the Faculty of Dentistry. With this inaugural speech, I publicly accept this chair, which entails:

*Research into the integration of hardware and software in the context of dentistry and, to subsequently promote the development of user-friendly, efficient and cost-effective computer applications for diagnosis and treatment of patients for dental health care.*

You are assuming that as a professor computerized dentistry I will address the wonderful potential of computers in dentistry. Taking into consideration the rapid pace of change within this field, however, the prefix ‘computerized’ may soon become redundant. I will indeed be discussing computer applications this afternoon, but I will focus also on how dentistry is developing within current ICT trends and responding to the dominance of the Internet and other computer networks. The primary goal of my speech is to demonstrate that computerized dentistry is much more than a strategic choice. It is a fascinating discipline, due perhaps to the fact that it is still in its infancy. Great developmental strides remain to be taken in this field; a fact that continually demands new research. This specialization also continually demands a new orientation of dentistry.

This afternoon, I will try to impart my fascination with CAD-CAM, which is short for computer-aided design and computer-aided manufacturing. Pioneers in this field, such as François Duret, Dianne Rekow, Lars Anderson, Sadami Tsutsumi and Werner Mörmann, share my long-standing interest in the potential of comput-

## KIEZEN VOOR DE COMPUTER

ers in the automation of the dental restorative process. The initial steps towards automated prosthetic production were taken in nineteen seventy-two with François Duret's doctoral research. Few will forget how, in nineteen eighty-nine, Duret first presented a live demonstration of a chairside restoration before an audience of several hundred during the annual Chicago Mid-winter Meeting. The procedure, which at the time lasted four hours, can now be performed in less than a half hour.

My interest in dental CAD-CAM was piqued several years earlier by an article in *Dentist News*, which was written by François Duret. I was immediately hooked. In nineteen ninety, when we were first able to grind ceramic crowns, Dianne Rekow, mechanical engineer and dentist from Minnesota, visited our CAD-CAM development team in Hoorn. She watched for at least twenty minutes until the crown milling process was completed. Sadami Tsutsumi, Professor of Bioengineering at Kyoto University, also visited our group. I also paid him a visit in Japan. Meanwhile, the individuals I have named have become a close-knit circle of friends on the technological battlefield that is the extremely young discipline of computerized dentistry. Despite being a relatively new field, software solutions have already changed several of the old paradigms with regard to fit, aesthetics, clinical longevity and functionality of restorations produced using CAD-CAM technology. In addition, we are at the dawn of a revolution in restorative and prosthetic dentistry.

### State of affairs

Before I describe our current research projects, I would like to present a general overview of the state of affairs. The research addresses issues derived from restorative dentistry, using a technical approach that focuses on the interaction between user and the resulting computer applications. A key research objective of restorative and prosthetic dentistry is to gain insight into and thus optimize the processes involved in the restorative process of lost hard dental tissues. To date, these processes are largely the domain of the dentist. One research area highlights the developments that slowly, but surely, will lead to the replacement of restorative processes currently performed by the dentist with computer technologies. This can be attributed in part to the fact that prosthetic dentistry increasingly uses digital information technology, such as imaging and CAD-CAM technology, and the associated introduction of new materials.



JEF M. VAN DER ZEL

Five years ago, the Dental Materials Science section established a research project in close collaboration with the Department of Oral Function and the business community to investigate the development and application of CAD-CAM systems in restorative dentistry. The seeds for this project were initially sown during the implementation of a university research effort funded by the STW Technology Foundation, conducted by the Dental Materials Science section and the Utrecht University Department of Oral-Maxillofacial Surgery, Prosthodontics and Special Dental Care. As part of the joint venture between the Dental Materials Science section and the Department of Oral Function, several trainee assistants and visiting researchers are actively working on computerized dentistry at the Academic Centre for Dentistry. With this study in the field of clinical materials science, the section aims to support the clinical activities of the Academic Centre for Dentistry Amsterdam in providing state-of-the-art restorative and prosthetic dental care.

## Internet

The subtitle of the doctoral thesis I defended fifteen years ago was ‘The essence of knowledge is, having it, to apply it’; this being a two thousand five hundred-year-old saying of the Chinese philosopher Confucius. As you already know, the Western world currently has high grade information and communication networks at its disposal. These networks are home to an infinite amount of knowledge, which individuals can access simultaneously anywhere in the world. An incredible achievement, but I would like to raise a rather serious question: Do we know how to optimise the application of this wealth of knowledge?

Meanwhile, billions of pages of information are available online. Fortunately, sorting through this information has become child’s play due in part to such online search engines as Google. Available online since nineteen ninety-eight, this search engine derives its name from the number googol, which is equal to a one followed by one hundred zeros. It is the brainchild of Muscovite Sergey Brin and Larry Page, the son of an American computer sciences professor. Finding information on the Internet using search engines such as Google is still in its infancy. Meanwhile, search engines can already sort through image files, and this will soon be extended to include audio and video files. And in response to a spoken query about restaurants, a mobile phone will soon display the location of the nearest one.

## KIEZEN VOOR DE COMPUTER

The PC, which we can refer to as the device, and the Internet, which we can refer to as the network, have been under development since the nineteen eighties. In just under a decade, the PC made its way into most Western households. The Internet required only five years to become a mass medium. This record pace has already been surpassed by that of the mobile phone, which needed only three years to gain mass acceptance. You have to be pretty sure of yourself to publicly doubt the pending social acceptance of mobile Internet.

Traditionally, dentists work alone. As a result, they rarely come across information about the experiences colleagues have with treatment methods, equipment, materials and pricing methods. Those dentists who are skilled in networking are already well aware of the benefit of exchanging information with colleagues online. Moreover, external databases containing specialist information and, for instance, photos depicting oral diseases, can expand dentists' horizons and are being consulted to an ever growing degree. There is no shortage of information networks. There is a growing array of networks available. The speed of access to the Internet continues to rise. We are surrounded by local networks and global communication satellites. We use both fixed and mobile infrastructures. There is nothing preventing a dentist from accessing a constant flow of information. Life is becoming a never-ending download. Although the idea of enabling dentists to design their own restorations and devices online may seem trivial, the underlying idea is truly revolutionary. After all, to date, dental technicians have produced close approximations of what they thought dentists generally expected. Patient care, however, has become increasingly individualized. This involves meeting the unique wishes of each patient quickly and for the most attractive price.

Through the Internet the dental practice 'owns' the interface with the patient. The patients outsource their demand for goods and services to the information network, which enables us to closely approximate the essence of 'provision of care'. Patients can increasingly be compared to small companies, approaching dental practices with a description of what they want, a list of specifications and conditions and a request for the most attractive offer. They will outsource their dental care needs to the information network, just as dental laboratories increasingly outsource their business processes. Laboratories were already accustomed to this before the advent of the Internet, albeit to a limited degree. In nineteen eighty-nine, already fifteen per cent of all restorations were outsourced abroad. This approach is new territory for the patient. This is the first time that patients are confronted with a reversal in

the chain of care. Despite this fact, it is naive to assume that this reversal signals the beginning of the end of patient loyalty. After all, patients will continue to consult the dentist offering the best quality service. This requires that dentists familiarize themselves with their patients and, preferably, that they anticipate their needs. An effective relationship is fertile ground for a high degree of patient loyalty, conditional as it may be. Dentists who jeopardize the trust their patients have placed in them can be 'replaced' with the click of the mouse. The information networks offer sufficient alternatives.

### Patient smart card

As it is, patients don't want any kind of fuss. What they want is to receive fast and convenient treatment during a single appointment. The push-behavior of dental care providers prevails. Not only do they offer a limited package of products and services, they also determine the patients treatment plans, the patients' method of payment, the security systems used to protect patients and what patients can expect from treatment. So genuine chain reversal is still a long way off. A patient smart card is badly needed. Each card includes information about the patient's preferences in terms of method of payment, transaction security and identification. No longer will the patient have to meet the needs of the dentist. In fact, these roles will be reversed. Representing a crucial step towards true reversal of the chain of care, the smart card will contain information about the medical and dental treatments previously performed and an overview of dental health status, substantiated with X-ray images. This portable information will facilitate the patients' ability to outsource their dental care needs via the information network.

A patient smart card offers advantages to everyone involved. Stand-alone solutions in dental care are a thing of the past, increasingly replaced by a system which integrates administration, image processing and equipment. To date, systems have impeded the co-ordination of information and image material. The development of an open communication standard and a patient smart card obviates duplication of effort in entering data, as well as the subsequent errors this may entail. Computerized patients have a much greater say in things. Dentists who refuse to accept digital smart cards will be sidelined. Patients will also place ever increasing demands on privacy and integrity. The transition from paper-based to digital archiving increases

## KIEZEN VOOR DE COMPUTER

the care sector's dependence on ICT, particularly in terms of research activities and patient treatment. Reliability, availability and continuity are guiding principles. The information that should always be available for health care purposes demands powerful and secure storage capabilities, for which the patient lays down the rules. Anyone who would like access to these patients will have to play by their rules.

### The change

Dentistry is developing along several different tracks. Special and new treatment methods are becoming increasingly important. More dental practices will focus on an area of speciality. As a result, more information will need to be made available for more critical patients. A dental practice that does not provide anything less than visualizing patient information will likely fall out of favour.

Dental laboratories will have to fundamentally adapt on several fronts. They, too, will have to admit what their well-developed and less-developed qualities are. Dental laboratories that refuse and want to maintain their very traditional value chain in an integrated manner being horizontal or vertical will lose. They will not only find their core competencies coming under fire through the networks, but they will be assailed on several fronts at once. It seems to me that computerized outsourcing will play an increasingly important role in the production of dental restorations. The cost savings it already realizes, will only increase in the near future. Maximizing the use of information networks makes it possible to identify the most advantageous business process, price-quality ratio and supplier at any time of the day. In short, information networks will be used to maximize competitive advantage. Computerized outsourcing is only possible if dental laboratories are comfortable in sharing information about product systems, business processes and logistics with their business partners. Am I comfortable with that? Am I able to do that? Do I even want that? This is the dilemma facing today's dental laboratories.

If not for global information networks, developing nations would have had a reasonable chance of becoming influential regional powers. As it is, the most they can expect to achieve is serving as subcontractors for industrialized countries. Those who can afford to be at the leading edge, can make use of competitive advantages in a wide range of areas. This not only applies to production costs, but also what could be called the most precious commodity of all: information. Market information,

distribution and storage information, client and supplier information. Information networks enable industrialized nations to produce goods more quickly, more efficiently and more inexpensively than developing nations.

## Research

I would now like to present some information about our current and future research programmes. More specifically, I would like to talk about the SCANdent, ARMeD, CADDIMA and LOCATION projects. Each one directly addresses an aspect of bites for the computer and is motivated by the desire to effect drastic improvements to the user friendliness, efficiency and cost-effectiveness of dental care.

### *SCANdent (dental scanner)*

Taking its name from dental scanner, the SCANdent project aims to develop a multifunctional intra-oral dental scanner to perform chairside scans of both tooth color and the preparation's geometry and surrounding environment. It is one of the most important strategic aims of computerized dentistry, as it represents the starting point for the computerized production of dental restorations, whether produced chairside by the dentist or at a centralized production facility. It means that dentists can quickly and conveniently provide patients with ceramic restorations, sometimes in a single appointment. Paired with state-of-the-art production technology, the aesthetic quality of these restorations can easily rival that of their hand-crafted counterparts. The intra-oral scanner enables dentists to go online and 'get' on the Internet the best price/quality restorations for his patient.

### *ARMeD (Augmented Reality Meta-model for Dentistry)*

Nowadays, dental care without computers is difficult to imagine. Although there are legions of examples of computer applications in dentistry, such as digital X-ray systems, intra-oral cameras and chromameters, digital cavity and pocket depth meters, bite impression systems, interactive image processing and planning, CAD-CAM systems and digital patient file management, the computer's true breakthrough in dentistry has still to take place. To date, software to the extent that it was

## KIEZEN VOOR DE COMPUTER

available has been highly device-specific. In ARMeD a graphical interface for prosthetics, implantology and orthodontics is being developed, made possible through the integration of various structural components, such as for example the tooth library and the scan and design software, with an open communication standard and central file management.

The current approach to software development involves common elements, including iterative development, development of software geared to meeting the needs of users and the continually testing and prioritizing of requirements. The underlying rationale is that projects will enjoy greater success if the development team functions as a unit and the project applies recognized instances of best practice. Architectural risks should be addressed at as early a stage as possible, ensuring the manageability of any subsequent problems. This facilitates the creation of a feasible, stable and future-proof software architecture. The framework is based on Unified Modeling Language, which is a formal language used to describe diagrams, and object orientation. The formal definition of events enables developers flexibility in implementation regardless of platform or architecture without the need for the models to be changed.

The ARMeD project aims to create a new, sometimes virtual, reality. To this end, it is essential to look at the extent to which the models and flow charts that serve as the basis reflect the experience and context of the dental practice. Ideally, the most adept specialists of our field should develop the models and flow charts, or be closely involved in the preparatory stages of the systems' development. This has so far rarely been the case. The resulting high-tech products did not fit well within the context of a dental practice and ultimately wound up being used only for specific applications in a limited number of dental clinics.

Using a user-friendly graphical interface, dentists could navigate in an augmented virtual reality, making it possible to work in a much more effective and confident manner than is presently allowed by the constricting oral environment. User friendliness would, for example, take the form of a program that, after the preferences are entered, would present the dentist or dental technician with a design proposal that would require minimal or no changes. In addition, a program must not leave the user high and dry in the event of errors, offering solutions to foreseeable problems instead.

JEF M. VAN DER ZEL

*CADDIMA (Computer-aided Diagnosis and Design of Implant Abutments)*

The current approach to the implantation and production of prosthetic tools by dental surgeons or implantologists is based on skilled craftsmanship and comprises a large number of steps. The desire to limit the risk of failure has resulted in growing demand for automation for reasons of efficiency, including greater precision and improved reproducibility in combination with high quality. Each year, approximately seventy thousand implants are placed in the Netherlands. This number will double in the next five years. The increasingly demanding patient will more frequently ask for tooth implants, refusing to accept conventional treatment methods. However, if we calculate the number of implants each dentist places annually, this number does come to one hundred. Experienced dentists and implantologists can easily place six to eight hundred or more implants a year. A vast new body of dentists and implantologists will be needed to meet the increasing demand for implants.

Several years ago, Massey performed a clinical analysis of hundreds of implants placed by dentists and implantologists and drew the conclusion that a mere seventeen per cent could be categorized as 'ideal' in terms of position and orientation. Aided by a three-dimensional reconstruction of the anatomical structures of the upper and lower jaw and computer tomography, dentists could place implants on screen in the ideal position and orientation in terms of anatomy, bone structure and bone quality. This planning information can be sent via the Internet to a centralized production facility, which manufactures an implant navigation drill guide. This is then used to precisely drill the holes necessary for placing the implants. Following implantation, a new scan is performed. The results are sent to the centralized production facility, which manufactures tailor-made implant supra structures. These are then placed in the patient's mouth. This process approach increases the certainty of proper placement by the dentist. Moreover, the treatment, which usually involves a traumatic, highly invasive procedure involving exposure of the bone, is transformed into a minimal invasive procedure involving only a small bore hole. Consequently, the implant therapy is shorter in duration and much less traumatic for the patient.

## KIEZEN VOOR DE COMPUTER

### *LOCATION (Local Computer-aided Tomography for Implant Ontologies)*

Advanced technological developments are expected to increase the importance of computer tomography in dentistry. The development of X-ray detector arrays currently make it possible to capture an entire projection surface. This principle is already used in cone beam CT scanners. CBCT technology, as it is known, can develop specific dental solutions for a reasonable price, as part of which extremely low radiation levels are used to create detailed three-dimensional images of the jaw and central facial area. This makes it possible to expand the use of CT scanning in design and planning in restorative and prosthetic dentistry in the future.

### New materials

It took more than one hundred and twenty years before the computer, invented in eighteen eighty by Jacquard, and the use of ceramics in dentistry, first applied by Land in eighteen eighty-six, were combined to create computerized dentistry. Until recently, aesthetics were the key reason for opting for ceramics. An added criterion has become the tissue-friendliness of metal-free ceramics. The public has made its preference for biocompatibility known. The arrival of zirconium oxide relegated to the past the paradigm that ceramics require a different preparation and modeling approach than metal-ceramics.

One of the blessings of computerized dentistry is that it enabled the application of zirconium oxide. The introduction of this material in restorative and prosthetic dentistry is most likely the decisive step towards the use of full ceramics without limitation. With the exception of zirconium oxide, existing ceramics systems lack reliable potential for the various indications for bridges without size limitations. Zirconium oxide with its high strength and comparatively higher fracture toughness seems to buck this trend. With a three-point bending strength exceeding nine hundred mega-Pascals, zirconium oxide can be used in virtually every full ceramic prosthetic solution, including bridges, implant supra structures and root dowel pins. The fact that zirconium oxide has been used in the industrial production of root dowel pins since nineteen ninety reaffirms the belief that its high strength yields clinical durability. The high strength and toughness are the result of a material-specific crystal transformation, specifically from a tetragonal to a monocline crystal



structure, which stops cracking at the source. The increase in volume resulting from this transformation inhibits cracking and increases strength by an order of magnitude.

In a nineteen ninety-two publication, Garvy compared zirconium oxide with hardened steel. The similarities in material properties proved astounding. The bending strength, modulus of elasticity, thermal expansion coefficient and specific gravity of both materials are comparable. The fact that both materials can attribute their strength to the same martensitic transformation of crystal structure accompanied by a nearly identical volume increase makes the comparison even more striking. In addition, both materials are opaque to X-ray.

Due to its specific material properties, zirconium oxide ceramic, referred to by the abbreviation Y-TZP, has been used for quite some time in orthopaedics as part of hip joint implants. Previous attempts to extend its application to dentistry were thwarted by the fact that this material could not be processed using traditional methods used in dentistry. The arrival of computerized dentistry enables the economically prudent use of zirconium oxide in such elements as base structures such as copings and bridges and implant supra structures. Special requirements apply to dental materials implanted for longer than a period of thirty days. Several technical requirements include high strength, corrosion resistance and defect-free producibility at a reasonable price. The primary requirement, however, is biocompatibility, which means that there should be no rejection response, infection or any other problem related to the introduction of material in tissue. In vitro testing of zirconium oxide has thus far elicited no unfavourable responses when combined with cells or tissues. Moreover, short and long-term in vivo testing indicate excellent biocompatibility. This is further substantiated by the results of various clinical trials extending over a period of more than eight years, each of which reveals no unfavourable tissue responses.

Ever more stringent requirements are being placed on the aesthetics of teeth. Metals and porcelain are currently the materials of choice for crowns and bridges. The demand for full ceramic solutions, however, continues to grow. Consequently, industry and science are increasingly compelled to develop full ceramic systems. In introducing full ceramic restorations, such as base structures made of sintered ceramics, computerized dentistry plays a key role. When discussing aesthetics, we must not focus solely on natural colored porcelain inlays, onlays and veneers milled with the aid of a computer, but also the application of various layers of dental glass

## KIEZEN VOOR DE COMPUTER

ceramic on base structures. To increase the aesthetics of zirconium oxide, a glass ceramic layer can be applied onto the structure's surface. Research focuses primarily on the strength of the bond between the zirconium oxide and the glass ceramic and the strength of the entire structure in terms of the difference in thermal expansion coefficient. The application of glass on zirconium oxide is infrequently discussed in the scientific literature. The first aim is to gain a good overview of the functional properties of the glass ceramic-zirconium oxide system in terms of the thermal compatibility of the components, interface integrity, form stability of glass ceramic when used in ceramic shoulders, integrity of the glass ceramic in terms of porosity and in vitro testing of fatigue sensitivity and strength of restorations. These results can be used to assess the risks associated with the clinical application of this type of restoration.

Due in part to the growing demand for aesthetic and biocompatible, metal-free restorations, this research is important to predict an evidence-based estimate of clinical reliability. This will make it possible to evaluate the values found using a mathematical analysis of the designed restoration model based on the finite elements method. A number of international evaluation standards find their use in testing the functional product requirements and validating the production method. These standards, however, do not always respond to questions which are key to long-term in situ performance. At the same time, one of the study aims is to generate more definitive conclusions regarding the guidelines for use in dental indications for this type of restoration. The study will also address how the restoration is produced to determine which parameters are essential for the resulting quality of the restoration. The final aim is to improve the quality of the crown or prosthetic elements.

### Aesthetics

Digital color measurement using an intra-oral scanner is an objective and predictable method to record the color distribution on the surface of a tooth. The digital color map, however, has not yet been used to produce computer-generated layering involving translucent layers. Instead, dental technicians use this to manually build up the layers for a restoration. To produce a natural-looking crown using one or more layers of colored glass ceramic, a generic layering model will have to be devel-

oped, enabling the computer to control the interaction between the various layers involved in the restoration to approximate the digitally recorded color scan as closely as possible.

## Future

Having reached the conclusions of my speech, the time has now come to again go through this vision of the future and its relevant elements. ICT developments in the field of medicine has proceeded much further than those seen in dentistry. It is clear that our field has a lot of ground to make up in terms of ICT. A thorough analysis, focusing on identifying what dentistry truly needs, reveals that we have still a long way to go. We will have to validate every computer application and see how to increase their user friendliness and how they can be incorporated into the context of dental care. Although acceptance, which in this context means bites for the computer, will not be easy to achieve in our fairly conservative field, there are signs of change.

The aim of our research is to promote discussion about the future models for the user-friendly, efficient and cost-effective use of computer applications in dentistry. The resources, time and expertise currently available offer extremely interesting prospects for innovative research. I am convinced that the Academic Centre for Dentistry Amsterdam can play a key role in this. As a knowledge centre for computerized dentistry, it will add a new group of researchers to its fold.

The endowed chair for computerized dentistry focuses on promoting the application of computer technology and identifying treatment methods and materials by means of independent analysis. In addition, it addresses the need for thorough basic knowledge of the available computer technology in dentistry. Practical training in computerized technologies will play a key role in scientific education. The department expects that in the next decade ICT will have a tremendous impact on the management and operation of dental clinics and on the quality of the dental restoration process.

While a lot of what has been said this afternoon can be termed a vision of the future, there is no more doubt about the direction that developments in dentistry are taking. The old mechanistic rules of traditional dentistry, which required little documentation, no longer apply. The tools needed to achieve future aims are already

## KIEZEN VOOR DE COMPUTER

available or under development. In any event, computerized dentistry is no longer a dream.

I have outlined why the computer's true breakthrough in dentistry still has to take place. The integration of various structural components with an open communication standard in a shared file management architecture and optimum use of the Internet can change this. In the future, research into generic models that fit seamlessly into and can be validated within the context of the restorative process and the application of new materials will almost certainly compel us in dentistry to offer bites for the computer.

### Word of thanks

Having come to the end of my speech, I would like to express a few words of thanks. The contributions of many individuals have led to my standing before you now. I am truly grateful to them.

I would like to take the opportunity to thank the Board of the University van Amsterdam, as well as the former dean, Professor Robert Bausch, and the current dean, Professor Wouter Beertsen, of the Academic Centre for Dentistry Amsterdam. Without their support, I would not be here today to give impetus to the improved co-ordination of research in the field of computerized dentistry.

I would also like to thank Jan Slor of Elephant Dental B.V. and Rudi Lehner of Dentsply International for their ceaseless efforts in establishing the endowed chair. I would also like to thank John Jaakke, master of laws, for making time, in addition to his busy schedule at Van Doorne and as President of the Ajax Amsterdam football club, to attend the board meetings of the Stichting Bijzondere Leerstoel DeguDent.

My scientific past is closely linked up with the Academic Centre for Dentistry Amsterdam. With gratitude, I can look back not only on my doctoral research under Professor Carel Davidson, but I am since involved in the doctoral programmes of Catherine Begazo, Alma Dozic, Guiseppa Isgro, Niek de Jager and other visiting researchers.

JEF M. VAN DER ZEL

I would like to give special thanks to my wife, Tineke. Like no other, she can appreciate the importance of time and attest to the fact that time management is not my greatest skill. After all, I continually promised to take it easier...

I, of course, would like to thank Professor Albert Feilzer, as colleague and head of the Dental Materials Sciences section, which has opened its doors to the endowed chair of Computerized Dentistry, for his inexhaustible dedication. Albert and I complement each other well and share the same vision regarding computerized dentistry.

As holder of the endowed chair of Computerized Dentistry, I hope to make a contribution to education and scientific research in a field that continues to gain in importance.

Finally, I would like to thank you for being here and for your attention.