

# Digitale beeldbewerking in de tandheelkundige radiologie

**Samenvatting.** Technologische ontwikkelingen zorgen ervoor dat computerondersteunde röntgendiagnostiek steeds beter uitvoerbaar wordt in de tandheelkundige praktijk. Hierdoor wordt het mogelijk om, zonder verhoging van de dosis, meer informatie uit het röntgenonderzoek te verkrijgen. Röntgenopnamen worden dan niet meer gemaakt op conventionele film, maar direct digitaal vastgelegd met een elektronische receptor. Vele toepassingen van deze technologie met betrekking tot opslag, interpretatie, reconstructie en transmissie van röntgenopnamen zijn reeds gedemonstreerd onder laboratoriumomstandigheden. Binnen enkele jaren zal de vereiste software echter ook beschikbaar zijn voor de algemeen-practicus.

VAN DER STELT PF. Digitale beeldbewerking in de tandheelkundige radiologie. Ned Tijdschr Tandheelkd 1993; 100: 294-297.

P.F. van der Stelt, tandarts

Uit de vakgroep Tandheelkundige Radiologie van het Academisch Centrum Tandheelkunde Amsterdam (ACTA).

Trefwoorden: **Radiologie**—Digitale radiologie

Datum van acceptatie: 8 januari 1993.

Adres: Prof. Dr. P.F. van der Stelt, ACTA, Louwesweg 1, 1066 EA Amsterdam.

## 1 Inleiding

De ontwikkelingen in de computertechnologie hebben grote invloed op de uitvoering van de röntgendiagnostiek. In de algemene radiologie worden digitale technieken reeds op grote schaal gebruikt. In de tandheelkundige radiologie beginnen zich vergelijkbare ontwikkelingen af te tekenen. Het zal niet lang meer duren tot de computer ook in de tandheelkundige röntgendiagnostiek een onmisbare rol vervult.

Tot voor kort bestond de toepassing van digitale radiologie vooral uit het elektronisch vastleggen en opslaan van het röntgenbeeld. Er wordt echter snelle voortgang geboekt met meer geavanceerde beeldbewerking. Het gaat dan om computerondersteunde interpretatie van het röntgenbeeld en om beeldreconstructie. In dit artikel worden de belangrijkste kenmerken van digitale radiologie besproken. Vervolgens wordt ingegaan op de computerondersteunde diagnostiek. Ten slotte wordt aangegeven welke ontwikkelingen op afzienbare termijn zijn te verwachten of nog vereist zijn voor een optimale toepassing van digitale röntgendiagnostiek.

## 2 Digitale radiologie

### 2.1 Beeldacquisitie

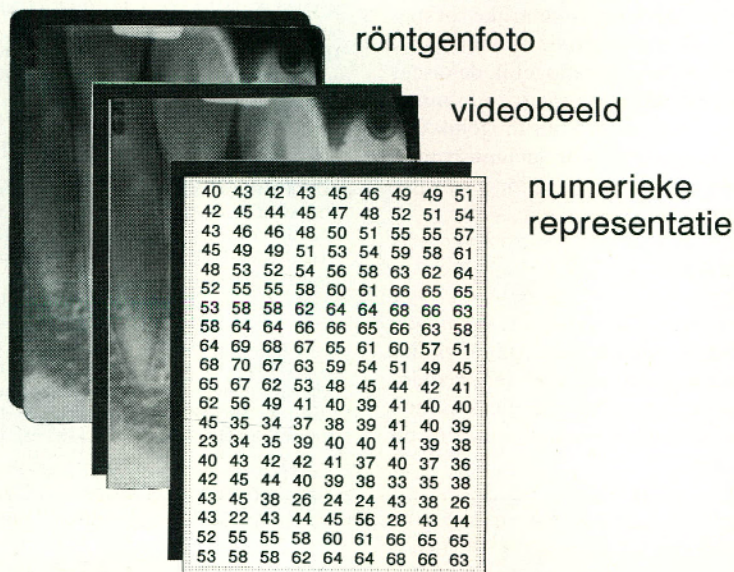
Het röntgenbeeld dient in elektronische vorm te worden vastgelegd, voordat het door de computer kan worden bewerkt. Een computer kan immers in principe alleen maar omgaan met getallen en niet met de grijswaarden waaruit een röntgenfoto is samengesteld. Een voor de computer hanteerbare vorm van het röntgenbeeld ontstaat door een bestaande röntgenfoto met behulp van een videocamera op te nemen, en het videosignaal te digitaliseren. Digitaliseren wil zeggen dat de waarde van het videosignaal wordt gemeten met regelmatige (zeer korte) tussenpozen en dat de uit-

komsten hiervan als een getalswaarde in de computer worden vastgelegd. De computer is dan in staat om met deze getallen te rekenen. Het resultaat van deze berekening kan in een videosignaal worden omgezet en op een monitor zichtbaar worden gemaakt.

Er bestaan ook chips die gevoelig zijn voor licht en op basis daarvan direct een videosignaal produceren: de zogenaamde Charge-Coupled Device-chips of kortweg CCD's. Deze chips worden gebruikt om direct in de mond röntgenbeelden elektronisch vast te leggen, dus zonder tussenkomst van röntgenfoto's en videocamera's.<sup>1</sup> Men moet overigens bedenken dat het verschil tussen een videocamera en deze intra-orale röntgenreceptoren minder groot is dan het lijkt. Immers, de tegenwoordige videocamera is ook uitgerust met een CCD-chip. Een videocamera maakt echter gebruik van een lens om het beeld op de CCD-chip te laten vallen, terwijl de werking van de intra-orale röntgenrecepto-

ren berust op de directe omzetting van röntgenstraling in een elektrisch signaal, eventueel door tussenkomst van een fluorescerende laag.

Na digitalisering is het röntgenbeeld in de computer op te vatten als een matrix van getallen waarvan de kolommen en de regels overeenkomen met rijen beeldpunten in verticale en horizontale richting. Deze beeldpunten heten *pixels*. Dit is de afkorting van het Engelse 'picture elements'. De resolutie van digitale röntgenbeelden is minimaal 512 x 512 pixels. Voor grotere röntgenopnamen is een formaat van 1024 x 1024 pixels geen uitzondering meer. De coördinaten van elk pixel (plaats in de rijen en kolommen van de matrix) geven aan welk gebiedje van het oorspronkelijke röntgenbeeld erdoor wordt vertegenwoordigd (afb. 1). Elk pixel kan een waarde aannemen tussen 0 en 255 (in totaal dus 256 verschillende waarden), afhankelijk van de grijswaarde van het röntgenbeeld op de plaats van dat pixel. De waarde 0 komt



Afb. 1. Conversie van een röntgenfoto in een digitaal beeld.

overeen met een volledig radiolucent (donker) gebied op de röntgenfoto en 255 met een volledig radiopaak (licht) gebied. Deze 256 verschillende grijswaarden kunnen in 8 bits ofwel 1 byte worden gecodeerd ( $256 = 2^8$ ). Als de lokatie van een pixel bekend is, kan de grijswaarde van het pixel dus met 1 byte worden aangegeven.

## 2.2 Beeldopslag

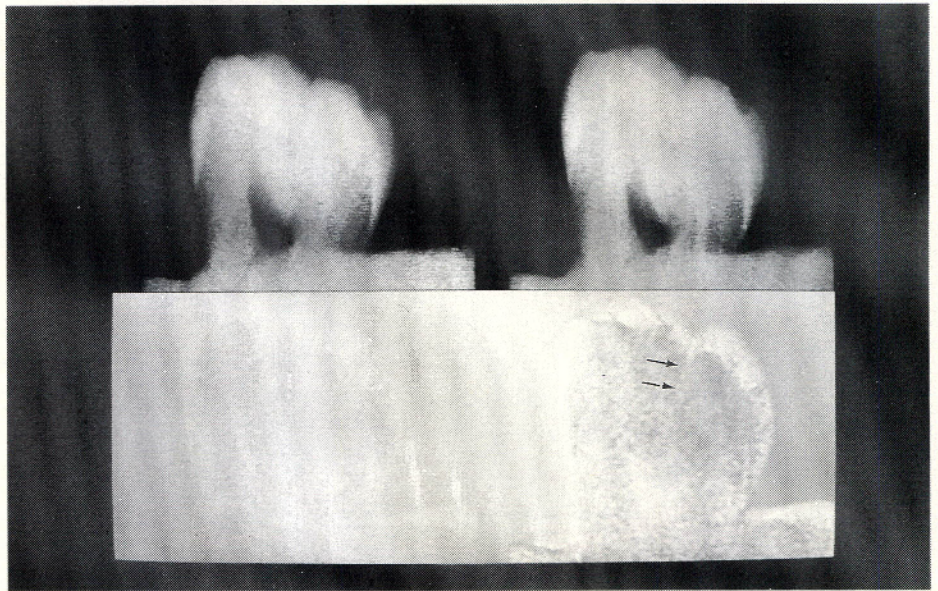
De elektronische beelden dienen te worden opgeslagen om later weer te kunnen worden opgeroepen. Voor opslag wordt vaak gebruik gemaakt van magnetische schijven of van tape. Omdat een röntgenbeeld een grote hoeveelheid informatie vertegenwoordigt (een beeld van  $512 \times 512$  pixels heeft een omvang van  $512 \times 512 = 262144$  bytes ofwel ruim een kwart megabyte) is er ook een groot ruimtebeslag op het opslagmedium. Gelukkig neemt de capaciteit van schijven voor permanente opslag snel toe, zonder een evenredige prijsstijging. Een opslagcapaciteit van 600 megabyte (d.w.z. 600 miljoen byte) is geen uitzondering meer. Een recente ontwikkeling is het gebruik van optical disks (te vergelijken met een compact disk), waarop tot meer dan een gigabyte (giga = miljard) kan worden opgeslagen.

Ondanks deze toename van de opslagcapaciteit streeft men echter ook naar methoden om de omvang van elektronische beelden bij opslag te comprimeren. Vereiste is daarbij dat na compressie het beeld weer zonder fouten te decomprimeren is. Hoe sterker de compressie, des te moeilijker is het om het beeld weer geheel foutvrij te reconstrueren. In de praktijk blijkt overigens dat een gering percentage fouten acceptabel is. Dit tast de diagnostische waarde van het beeld niet noemenswaardig aan. De omvang van een digitaal beeld van 0,26 megabyte kan zo worden teruggebracht tot 0,03 à 0,06 megabyte.

## 2.3 Beeldbewerking

Het grote belang van digitale beeldbewerking is gelegen in de mogelijkheid om aan de gemaakte röntgenopname verdere bewerkingen te doen. Deze bewerking kan bestaan uit het verbeteren van de kwaliteit, maar ook uit metingen in of analyse van het beeld. De verbetering van de kwaliteit van het röntgenbeeld kan bijvoorbeeld bestaan uit het vergroten van contrasten, het corrigeren van onder- of overbelichting of het accentueren van contouren van structuren in het beeld.<sup>2</sup>

Metingen in het beeld kunnen betrekking hebben op het bepalen van de densiteit (grijswaarde) op een bepaalde lokatie, het bekijken van het verloop van grijswaarden over een afstand of het weergeven van een



Afb. 2. Subtractie ten behoeve van de diagnostiek van occlusale cariës. a: oorspronkelijk beeld; b: röntgenopname na impregnatie van het occlusale vlak met tinfluoride; c: het eigenlijke subtractiebeeld.

frequentiehistogram van de grijswaarden die in het beeld voorkomen. Zo kan op eenvoudige wijze kwantitatieve informatie uit het beeld worden verkregen die op conventionele röntgenopnamen niet of zeer moeilijk is te verkrijgen.<sup>3,4</sup>

De analyse van röntgenopnamen bestaat uit het automatisch herkennen van structuren en zo mogelijk interpreteren van de betekenis daarvan.<sup>5</sup> In paragraaf 3 wordt nader ingegaan op dit soort toepassingen.

## 3 Computerondersteunde diagnostiek

### 3.1 Cariësdagnostiek

Door middel van digitale beeldverwerking en -analyse kan op bitewing-opnamen initiële cariës worden gedetecteerd en geëvalueerd. De uitbreiding van de carieuze laesie kan worden gekwantificeerd aan de hand van densiteitsverschillen in het glazuur.<sup>6,7</sup>

Een andere in ontwikkeling zijnde toepassing van digitale beeldbewerking voor de detectie van cariës heeft betrekking op occlusale cariës.<sup>8</sup> Nadat een röntgenopname van het gebitsdeel met een occlusale fissuur die verdacht is voor de aanwezigheid van cariës is gemaakt, wordt het occlusale vlak geïmpregneerd met een tinfluoride-oplossing. Als er cariës aanwezig is, dringt het tinfluoride door in de laesie. Er wordt nu een tweede foto gemaakt met een identieke projectierichting. Door subtractie (het 'van elkaar aftrekken' van beide foto's) worden de identieke structuren op beide foto's onzichtbaar gemaakt. De verschillen tussen beide opnamen worden echter geaccentueerd. Omdat dezelfde gebits-

elementen op beide foto's zijn afgebeeld, worden deze in het subtractiebeeld onzichtbaar. De in de laesie doorgedrongen tinfluoride is echter slechts op een van de foto's aanwezig en tekent zich dus af als een lichter gebied in het subtractiebeeld, corresponderend met de uitbreiding van de occlusale laesie (afb. 2).

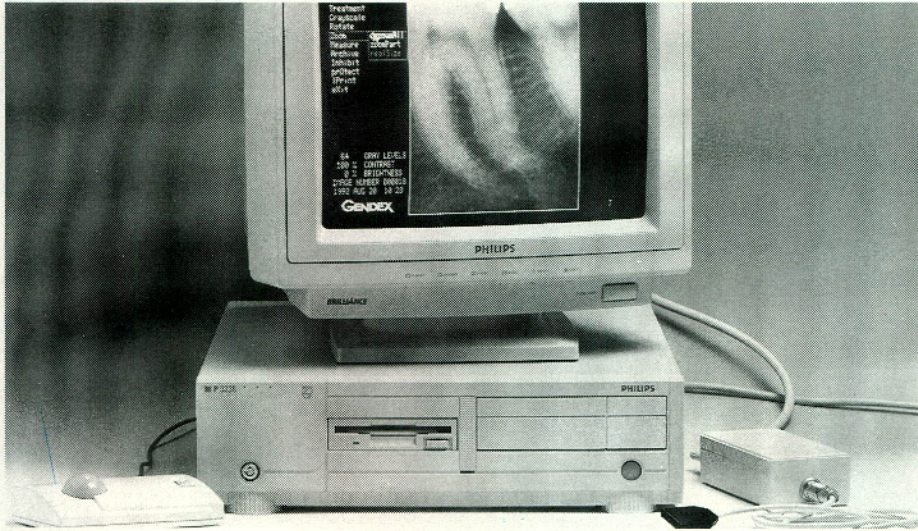
### 3.2 Parodontale diagnostiek

Parodontale botdefecten worden gekenmerkt door kleine wijzigingen in het röntgenologisch contrast. De omvang van deze defecten verandert in de tijd relatief langzaam. Hierdoor zijn deze kleine veranderingen moeilijk op een enkele röntgenopname te herkennen. Juist voor de diagnostiek van parodontale botresorptie is digitale subtractie zeer geschikt gebleken.<sup>9</sup>

Om kwantitatieve diagnostiek van botafwijkingen door middel van subtractie te kunnen uitvoeren, is het nodig om ook een referentie op de opname af te beelden. Hiervoor wordt meestal een wig van hydroxylapatiet met bekende dikte gebruikt. Dit materiaal vertoont wat de absorptie van röntgenstraling betreft sterke gelijkenis met botweefsel.

### 3.3 Automatische analyse van röntgenbeelden

De verschillen in grijswaarden in een röntgenopname berusten op verschillen in absorptie van de anatomische en pathologische structuren van het afgebeelde object. De tandarts is in staat aan de hand van deze verschillen in grijswaarden conclusies te trekken over de vorm en conditie van de



Afb. 3. Systeem voor digitale intra-orale röntgenopnamen.

afgebeelde structuren. Hij of zij gebruikt hiervoor, veelal onbewust, een verzameling van regels en kenmerken, waaraan de waargenomen verschijnselen worden getoetst. Door deze regels op te nemen in een computerprogramma kan de herkenning van structuren en afwijkingen ook worden geautomatiseerd.<sup>10</sup> Dit is echter gemakkelijker gezegd dan gedaan. De computer is een machine zonder inzicht in de opgedragen taak. Het maken van procedures voor het automatisch herkennen van afwijkingen op röntgenopnamen is daarom een langdurige en gecompliceerde zaak, die niettemin op een aantal omschreven terreinen met succes is uitgevoerd. Het herkennen van cariës (paragraaf 3.1) en het traceren van tandwortels zijn voorbeelden hiervan. Er zijn ook programma's ontwikkeld waarmee kenmerken van het trabeculaire botpatroon kunnen worden berekend. Veel werk dient nog te worden gedaan op dit gebied, maar juist deze toepassingen zullen de digitale radiologie zinvol maken voor de algemene praktijk.

## 4 Ontwikkelingen

### 4.1 Digitale röntgensystemen

Een aantal jaren geleden werd het eerste systeem voor digitale röntgenopnamen in de tandheelkundige praktijk gepresenteerd. Dit systeem bestaat uit een receptor om het röntgenbeeld in een elektronisch signaal om te zetten, een voorziening voor de bediening van de receptor en het röntgentoestel, en software voor het opslaan van de beelden in de computer (afb. 3). Inmiddels zijn er meer systemen op de markt. De mogelijkheden van de software zijn veelal zeer beperkt in het licht van wat in de vorige paragrafen beschreven is. Vooral in dit opzicht zijn er in de komende jaren grote veranderingen te verwachten.

Er zal programmatuur komen die aansluit bij programma's voor de patiëntenregistratie en behandelingsadministratie.

De afmeting van het sensorgedeelte van de receptor is relatief klein. De CCD-chips zijn zeer kostbaar en de prijs neemt exponentieel toe met het oppervlak. Het is echter te verwachten dat toekomstige modellen een steeds groter effectief oppervlak zullen krijgen, waardoor het afgebeelde gebied meer overeenkomt met dat van conventionele tandfoto's.

### 4.2 Teleradiologie

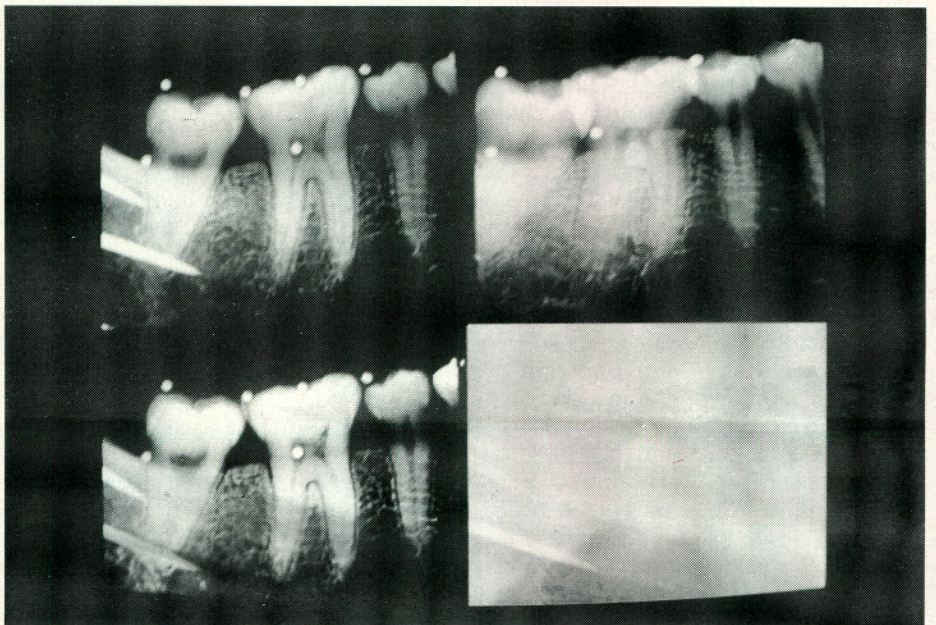
Een van de voordelen van (röntgen)beelden in digitale vorm is de mogelijkheid

kopieën te maken zonder kwaliteitsverlies. Een dergelijke kopie kan vervolgens via een telefoonlijn elektronisch worden verzonden. Op deze wijze kan zeer snel en gemakkelijk informatie over een patiënt worden uitgewisseld met collega's of kan een deskundige worden geraadpleegd over een bepaald aspect van een röntgenopname.<sup>11</sup>

Het verzenden van beeldinformatie is thans reeds mogelijk, maar nog niet erg gebruikersvriendelijk. Het algemeen toepasbaar maken van dit soort voorzieningen is een doel dat hoge prioriteit heeft in de ontwikkeling van digitale radiologie voor tandheelkundige toepassingen. Juist in de tandheelkunde waar de uitvoering van de röntgendiagnostiek niet gebonden is aan gespecialiseerde centra maar plaatsvindt in elke praktijk, betekent deze vorm van communicatie een belangrijke verbetering van de diagnostische mogelijkheden.

### 4.3 Expert systemen

Expert systemen (Expert Systems in het Engels) zijn computerprogramma's waarin kennis over een bepaald onderwerp (bijvoorbeeld 'tandheelkundige afwijkingen') is opgeslagen, in de vorm van regels die de feiten in deze kennisbank in een zinvol verband plaatsen.<sup>12 13</sup> Als de gegevens die bij onderzoek van een patiënt worden gevonden, in zo'n expert systeem worden ingevoerd, kan het systeem op basis daarvan tot een overzicht komen van mogelijk diagnoses, eventueel suggesties doen voor aanvullend onderzoek en achtergrondinformatie geven over relevante afwijkingen.



Afb. 4. Reconstructie van een opname volgens een specifieke projectierichting. a: referentie opname; b: opname volgens een projectierichting die 16 graden verschilt van a; c: reconstructie van b overeenkomstig de projectierichting van a; let bijvoorbeeld op het verdwijnen van de overlap van de proximale vlakken van de bitsselementen in c.

Een expert systeem vervangt de clinicus niet bij diens diagnostische activiteiten, maar kan hem daarin wel ondersteunen.

Soortgelijke technieken kunnen ook worden gebruikt voor de geautomatiseerde interpretatie van röntgenopnamen. De interpretatie wordt hierdoor meer objectief en beter gestandaardiseerd dan wanneer alleen de tandarts als waarnemer van de röntgenbeelden optreedt. Ook voor deze technieken geldt dat onder laboratoriumomstandigheden een aantal spectaculaire toepassingen is gerealiseerd, maar dat er nog een lange weg te gaan is, voordat de algemeen-practicus op routinebasis hiervan gebruik zal kunnen maken.

#### 4.4 Beeldreconstructie

Zoals elke algemeen-practicus weet, hangt de klinische bruikbaarheid van een röntgenfoto sterk af van de projectierichting tijdens de opname. Op een foto die vanuit een verkeerde richting is ingeschoten, kan ongewenste overlap optreden van bijvoorbeeld de proximale gedeelten van gebits-elementen. De foto moet worden overgemaakt, hetgeen een extra stralingsdosis voor de patiënt betekent.

Door middel van digitale beeldbewerking kunnen röntgenbeelden achteraf, dus nadat de opname is gemaakt, alsnog worden gemanipuleerd en onder bepaalde voorwaarden worden gereconstrueerd om een doorsnede door het object te maken of overeenkomstig een andere opnamerichting (afb. 4). Het is dan niet nodig een nieuwe opname te maken.<sup>14 15</sup>

Door dit soort bewerkingen komt subtractieradiografie binnen het bereik van de algemeen-practicus. Om subtractie te kunnen uitvoeren, zijn immers twee opnamen nodig die een identieke projectie-geometrie hebben (dezelfde opnamerichting). Dit wordt meestal gerealiseerd door een mechanische verbinding tussen röntgentoestel, patiënt en de film in een filmhouder. Dit is een tamelijk omslachtige werkwijze. Door de genoemde reconstructie van röntgenbeelden behoeven de eisen voor de gewenste projectierichting tijdens het maken van de opname minder strikt te zijn.

Het is aannemelijk dat drie-dimensionale reconstructies binnen afzienbare tijd tot de mogelijkheden behoren in de tandheelkundige praktijk.

## 5 Betekenis voor de praktijk

Een deel van de hiervoor beschreven toepassingen vanuit de digitale radiologie is reeds beschikbaar voor de algemene praktijk, andere zullen dat op afzienbare termijn zijn en nog weer andere bestaan uit extrapolatie van de ontwikkelingen van de laatste jaren. Waaruit bestaat nu het voor-

deel voor de algemeen-practicus en wat kan hij verder nog verwachten voor zijn praktijkvoering?

### 5.1 Verbeteringen ten opzichte van de huidige situatie

Digitale radiologie maakt 'real time' röntgenbeelden mogelijk; dat wil zeggen dat er geen tijd verloren gaat aan ontwikkelen en afwerken van de opnamen. Sommige opnamefouten, zoals afwijkingen van de belichtingstijd en tot op zekere hoogte een onjuiste opnamerichting, kunnen achteraf worden gecorrigeerd. Er kunnen kwantitatieve metingen worden uitgevoerd aan de opname en bepaalde kenmerken kunnen worden geaccentueerd. De computer kan de tandarts bijstaan bij het stellen van de diagnose en suggesties aan de hand doen die hij anders wellicht over het hoofd had gezien. In het algemeen zal de röntgenologische diagnostiek bij goed gebruik van de moge-

lijkheden van de digitale radiologie meer gestandaardiseerd, reproduceerbaar en objectief zijn dan thans het geval is.

### 5.2 Digitale röntgendiagnostiek in de algemene praktijk

Op dit moment is de situatie nog niet zo dat digitale röntgentechnieken in de volle omvang direct in de praktijk kunnen worden toegepast. Er is specifieke apparatuur nodig, die weliswaar beschikbaar is maar wel de nodige investeringen vergt. Een belangrijker knelpunt op dit moment is echter het nog ontbreken van geschikte software voor echte computerondersteunde diagnostiek. Het vastleggen van een digitaal röntgenbeeld is technisch gezien een gemakkelijke handeling. Maar daarmee wordt nog geen diagnostiek bedreven. Pas wanneer de in een röntgenopname aanwezige informatie op een adequate wijze wordt benut, is sprake van digitale röntgendiagnostiek.

## Summary

### DIGITAL IMAGE PROCESSING IN DENTAL RADIOLOGY

Key words: Radiology – Diagnosis – Image Processing

Advanced technological progress facilitates the feasibility of computer aided radiodiagnosis in dental practice. It is possible to obtain more information from radiography without increasing the radiation dose. Radiographic images will no longer be made on conventional films, but are recorded digitally by means of an electronic receptor. Many applications of this technology regarding archiving, interpretation, reconstruction, and transmission of radiographic images already have been demonstrated in the laboratory environment. The required software is expected to be available for the general practitioner in the near future.

## Literatuur

- WALKER A, HORNER K, CZAJKA J, SHEARER AC, WILSON NH. Quantitative assessment of a new dental imaging system. *Br J Radiol* 1991; 64: 529-36.
- RUTTIMANN UE, WEBBER RL. A robust digital method for film contrast correction in subtraction radiography. *J Periodontol Res* 1986; 21: 486-95.
- REDDY MS, JEFFCOAT MK, RICHARDSON RC. Assessment of fluorobiphen therapy in root-form implant healing with digital subtraction radiography. *J Oral Implantol* 1990; 16: 272-6.
- MOL A, VAN DER STELT PF. Application of digital image analysis in dental radiography for the description of periapical bone lesions. *IEEE Trans on Biomed Eng* 1991; 38: 357-9.
- VAN DER STELT PF, VAN DER LINDEN LWJ, GERAETS WGM, ALONS CL. Digitized pattern recognition in the diagnosis of periodontal bone defects. *J Clin Periodontol* 1985; 12: 822-7.
- WENZEL A, FEJERSKOW O, KIDD E, JOYSTON-BECHAL S, GROENEVELD A. Depth of occlusal caries assessed clinically, by conventional film radiographs, and by digitized, processed radiographs. *Caries Res* 1990; 24: 327-33.
- PITTS NB, RENSON CE. Image analysis of bitewing radiographs: a histologically validated comparison with visual assessments of radiolucency depth in enamel. *Br Dent J* 1986; 160: 205-9.
- HALSE A, WHITE SC, ESPELID I. Visualization of stannous-fluoride treatment of carious lesions by subtraction radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1990; 69: 378-81.
- GRÖNDAHL HG, GRÖNDAHL K, WEBBER RL. A digital subtraction technique for dental radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1983; 55: 96-102.
- BENN DK. Automatic analysis of radiographic images: I. Theoretical considerations. *Dentomaxillofac Radiol* 1991; 19: 187-92.
- BATNITZKY S, ROSENTHAL SJ, SIEGEL EL, WETZEL LH, MURPHEY MD, COX CG et al. Teleradiology: an assessment. *Radiology* 1990; 177: 11-7.
- WHITE SC. Computer aided differential diagnosis of oral radiographic lesions. *Dentomaxillofac Radiol* 1989; 18: 53-9.
- STHEEMAN SE, VAN DER STELT PF, MILEMAN PA. Expert systems in dentistry: past performance - future prospects. *J Dent* 1992; 20: 68-73.
- WEBBER RL, RUTTIMANN UE, GROENHUIS RAJ, EDHOLM P. Synthesis of arbitrary projections from a finite number of existing projections. *Proc SPIE* 1985; 535: 84-91.
- GROENHUIS RAJ, WEBBER RL, RUTTIMANN UE. Computerized tomosynthesis of dental tissues. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1983; 56: 206-14.
- YEN L, DUNN SM, VAN DER STELT PF. Finding invariant anatomical relationship in dental radiographs. *Proc IEEE/EMBS* 1990; 12: 2076-7.