

PDF hosted at the Radboud Repository of the Radboud University Nijmegen

The following full text is a publisher's version.

For additional information about this publication click this link.

<http://hdl.handle.net/2066/22390>

Please be advised that this information was generated on 2020-09-19 and may be subject to change.

De klinisch fysicus en de kwaliteit van de Röntgenfoto

De ontdekking van de Röntgenstraling mag dan toevallig geweest zijn, het toepassen daarvan in de medische wereld is dat natuurlijk niet. W.C. Röntgen heeft de bruikbaarheid meteen aangetoond door de hand van zijn vrouw af te beelden. Daarmee heeft hij als fysicus meteen een belangrijk aspect van de medische wetenschap verder gestalte gegeven: het bewust gebruiken van fysische mogelijkheden voor een optimale diagnose en therapie van patiënten. De Röntgenstraling wordt in de medische wereld in hoofdzaak toegepast voor de diagnostiek en therapie van patiënten.

M.A.D. Thijssen

In de *therapie* is de rol van de fysicus vanaf de veertiger jaren daarbij duidelijk geweest: het vaststellen en juist toedienen van de bedoelde hoeveelheid straling. Per definitie wordt gewerkt met tegenstrijdige eisen met aan de ene kant het bewust elimineren van ongewenst weefsel, aan de andere kant het overige weefsel zomin mogelijk beschadigen. Het berekenen, meten en goed gelokaliseerd toedienen van de straling is duidelijk de rol van de fysicus. Een overzicht van de rol van de klinisch fysicus in de radiotherapie wordt gegeven in referentie 1.

In de *diagnostiek* is die rol lange tijd veel minder duidelijk geweest: de hoeveelheid straling per opname was, na de aanvankelijke problemen met afscherming en versterkingschermen, dermate laag, dat de individuele patiënt er geen direct merkbare schade van ondervond. De schade voor de bevolking als geheel op de langere termijn, die door de

totale dosis ten gevolge van de grote aantallen foto's mag worden verwacht, vormt niet het probleem van de individuele arts en kan daarom alleen door de overheid worden bewaakt. Daarbij ligt een duidelijke taak bij de fabrikanten van Röntgenapparatuur enerzijds en bij de klinisch fysicus in het ziekenhuis anderzijds. De World Health Organisation (WHO) heeft zich dat gerealiseerd en stelt, dat elke röntgenafdeling gebruik moet maken van een ervaren stralenfysische dienst⁽¹⁾. Vanuit de praktijk wordt geadviseerd voor afdelingen met meer dan 25 röntgenkamers (dit zijn grote algemene en academische ziekenhuizen) een full-time fysicus in dienst te hebben⁽²⁾. Kleinere ziekenhuizen wordt aangeraden gezamenlijk een fysicus aan te trekken, met als richtlijn: een per 100.000 verrichtingen.

Ook in Nederland heeft het Staatstoezicht op de Volksgezondheid middels een bul-

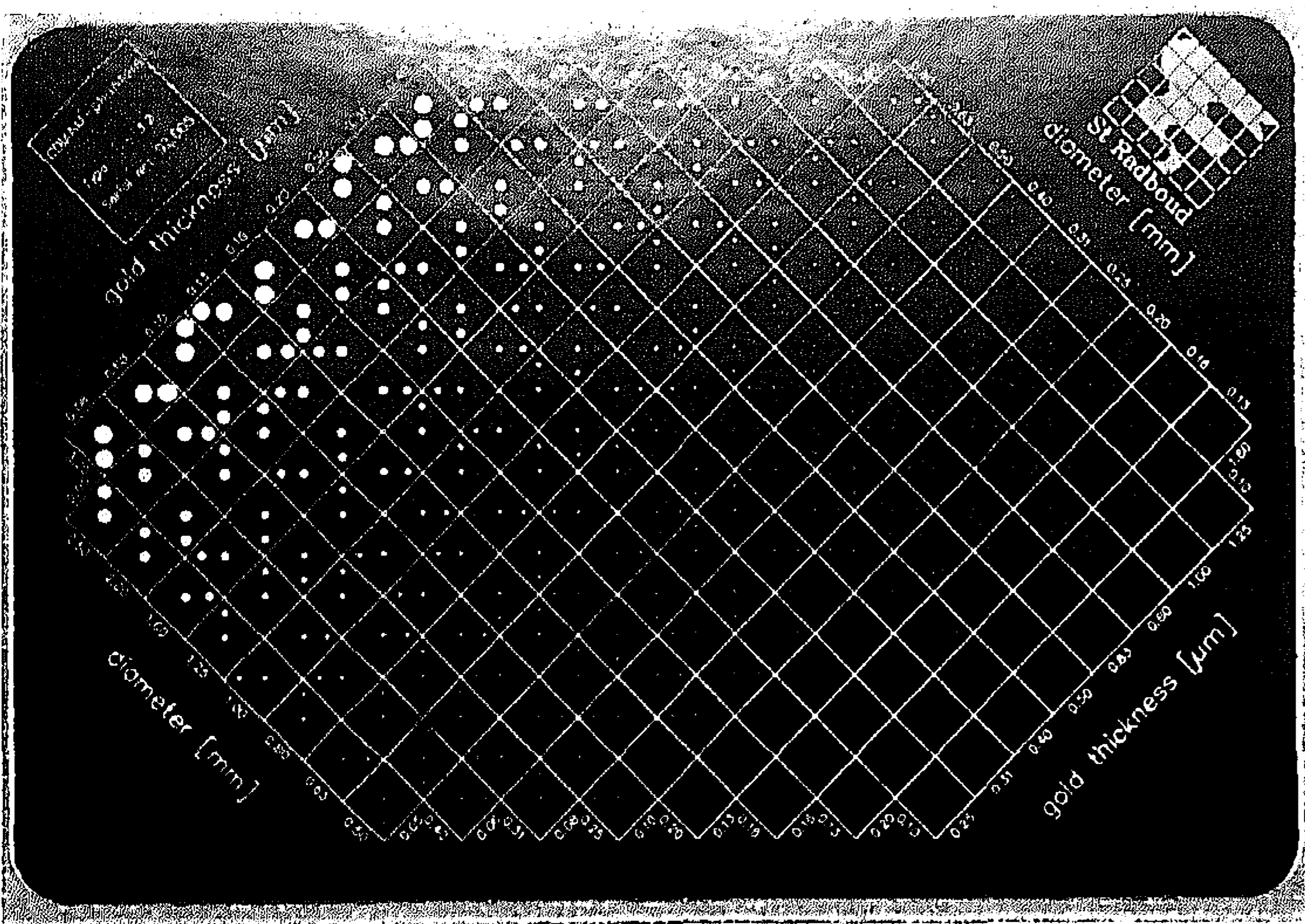
letin van de Geneeskundige Hoofdinspectie van de Volksgezondheid erop gewezen: 'Elk ziekenhuis, waar straling wordt toegepast ten behoeve van patiënten, dient over de deskundigheid van een bevoegd stralingsfysicus te beschikken' (GHI-bulletin: Verantwoordelijkheidsstructuur Stralingsbescherming, 1993). Het mag daarom worden verwacht, dat in de nabije toekomst in veel meer ziekenhuizen de klinisch fysicus ook op de afdeling radiodiagnostiek zal verschijnen.

Techniek

Er is duidelijk een rol weggelegd voor een fysicus in de radiodiagnostiek: niet alleen in de dosisreductie bij de verschillende onderzoeken maar ook bij het bereiken en handhaven van een hoge kwaliteit van de opnamen. Daarbij komen aan de orde: de kwaliteit van de selectie bij aanschaf van de apparatuur en van het gebruik daarvan, de kwaliteit van de röntgenapparatuur zelf, het zo laag mogelijk houden van de stralingsdosis die de patiënt en de laborant bij een röntgenonderzoek ontvangt (ALARA; As Low As Reasonably Achievable,⁽⁴⁾ en het initiëren van en anticiperen op nieuwe technische ontwikkelingen.

De techniek in de radiodiagnostiek kent twee aspecten: het onderhoud van het apparatenpark en de fysica van straling en afbeelding. Het onderhoud van het apparatenpark is een taak van de technische dienst van het ziekenhuis en van de fabrikant van de apparatuur. Lange tijd heeft in het ziekenhuis de onder-

Dr. M.A.O. Thijssen is fysicus radiologie in het Academisch Ziekenhuis Nijmegen.



houdskant van de techniek de belangrijkste rol gespeeld, terwijl de fysica werd beheerst door de ontwikkelcentra van de fabrikanten van röntgenapparatuur en door enkele fysisch geïnteresseerde radioloog. De laatste decennia hebben echter zoveel nieuwe mogelijkheden in zowel de apparatuur als in de radiodiagnostische toepassingen daarvan gebracht, dat een gedetailleerde kennis van de achterliggende fysische principes en de functies en mogelijkheden van de apparatuur binnen de radiologische afdeling zelf noodzakelijk is geworden.

De zorg voor de kwaliteit van de aanschaf van nieuwe apparatuur geeft door tussenkomst van de fysicus de mogelijkheid om de aard en uitvoering van de apparatuur zoveel mogelijk toe te spitsen op het toekomstige gebruik, waarbij tevens de interne opbouw wordt beoordeeld op

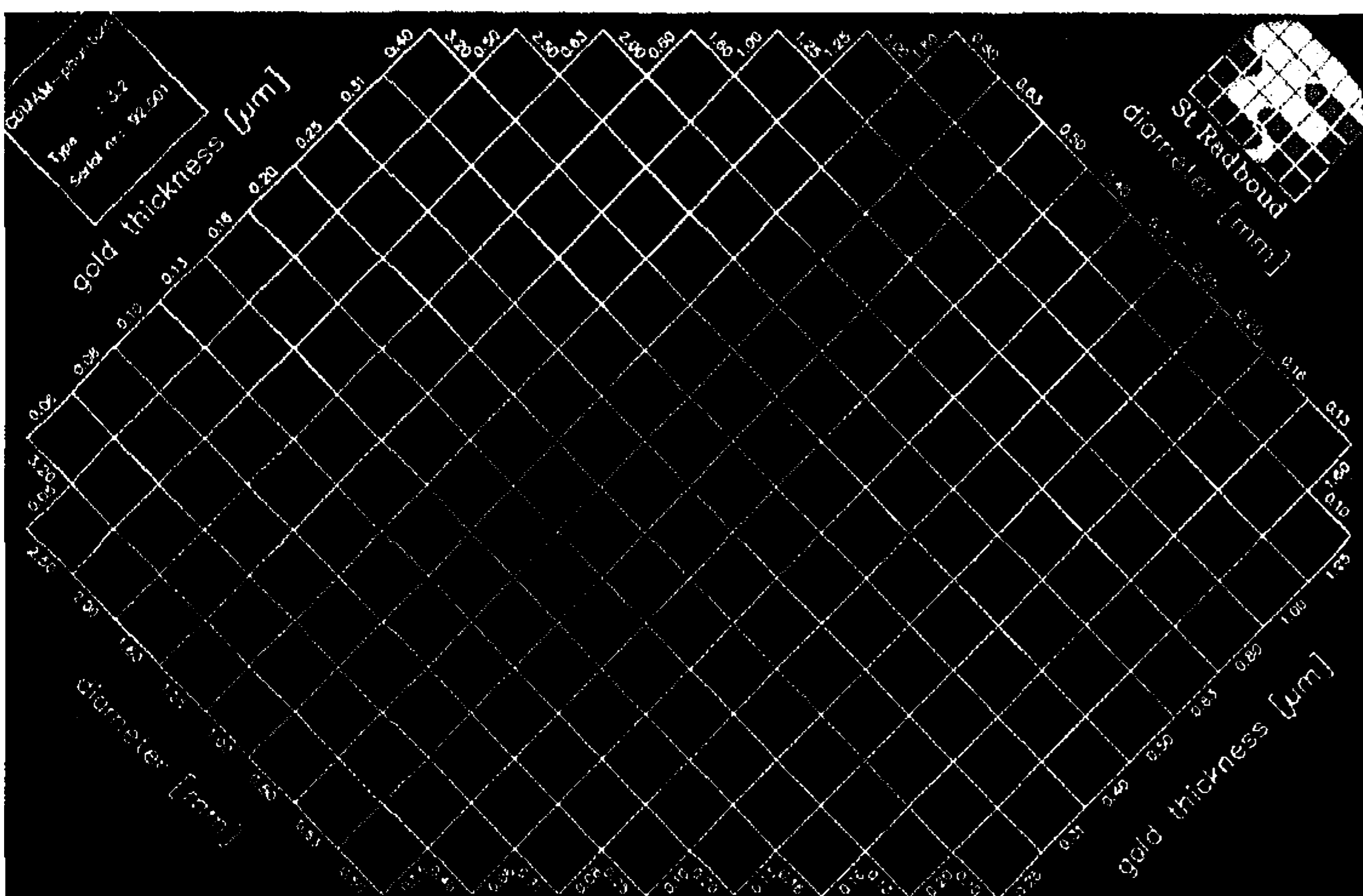
enerzijds de servicevriendelijkheid en anderzijds ook de toekomstmogelijkheden van het gebruik van de apparatuur, bij latere wijziging van inzichten. De zorg voor de kwaliteit van het gebruik van de apparatuur leidt tot een directe relatie van de fysicus met de radiodiagnost: de fysische aspecten zijn vaak de bron van zowel problemen als van nieuwe mogelijkheden. De fysicus is daarmee de intermediair tussen de fabrikant van apparatuur, voor wie de specifieke wensen van de radioloog niet erg aanspreken, en de radioloog, voor wie door de complexiteit van de huidige apparatuur de gebruiksmogelijkheden niet altijd even vanzelfsprekend zijn. Gezien de lange levensduur die de apparaten op de afdeling (moeten) hebben is dat van groot belang om een hoge kwaliteit te kunnen handhaven.

De zorg voor de kwaliteit

van de klinische informatie op de röntgenopnamen ligt voor het grootste deel bij de laborant en de radioloog zelf. Afwijkingen van het fysisch optimum signaleren is echter niet eenvoudig, zeker niet als het afwijken zich langzaam voltrekt. De fysicus kan hierin een grote rol spelen door regelmatig uitgevoerde fysische controles te beoordelen in relatie tot eerdere metingen. Om dit zinvol te kunnen doorvoeren is het nodig per onderzoek casu quo per röntgenapparaat te weten wat de eisen aan de afbeeldingen zijn, zowel in fysische als in diagnostische zin. Voor de fysische eisen zijn enkele – zeer ruime – indicaties te verkrijgen in de beschrijvingen van het IEC (International Electrotechnical Committee) en de DIN (Deutsche Industrie Norm)^(5,6,7). Voor de diagnostische eisen worden voorstellen gedaan in een CEC working document⁽⁸⁾. Deze zijn echter nog in een prematuur stadium en worden nu in de praktijk onderzocht.

In Nederland gelden summiere wettelijke normen voor de stralingsdoses die de apparatuur geeft bij een Röntgenopname, echter geen voor de beeldkwaliteit, noch voor de individuele patiëntdosis. Het goed- of afkeuren van apparatuur op andere dan onderhoudstechnische of dosimetrische gronden moet dan op (niet eenvoudig kwantificeerbare) kwaliteitsgronden gebeuren, hetgeen tot interpretatieverschillen leidt.

Het is daarom zeer zinvol te komen tot een aantal richtlijnen die het mogelijk maken de kwaliteit van apparatuur op goed kwantificeerbare beeldkwaliteitsgronden te toetsen. Een werkgroep, samengesteld uit de belanghebbende beroepsverenigingen houdt zich daar op uitnodiging van het ministerie van WVS nu mee bezig. De Nederlandse Vereniging voor Klinische Fysica (NVKF) heeft daarin natuurlijk een belangrijke rol vervuld. De



Röntgenopname
CD-Fantoom

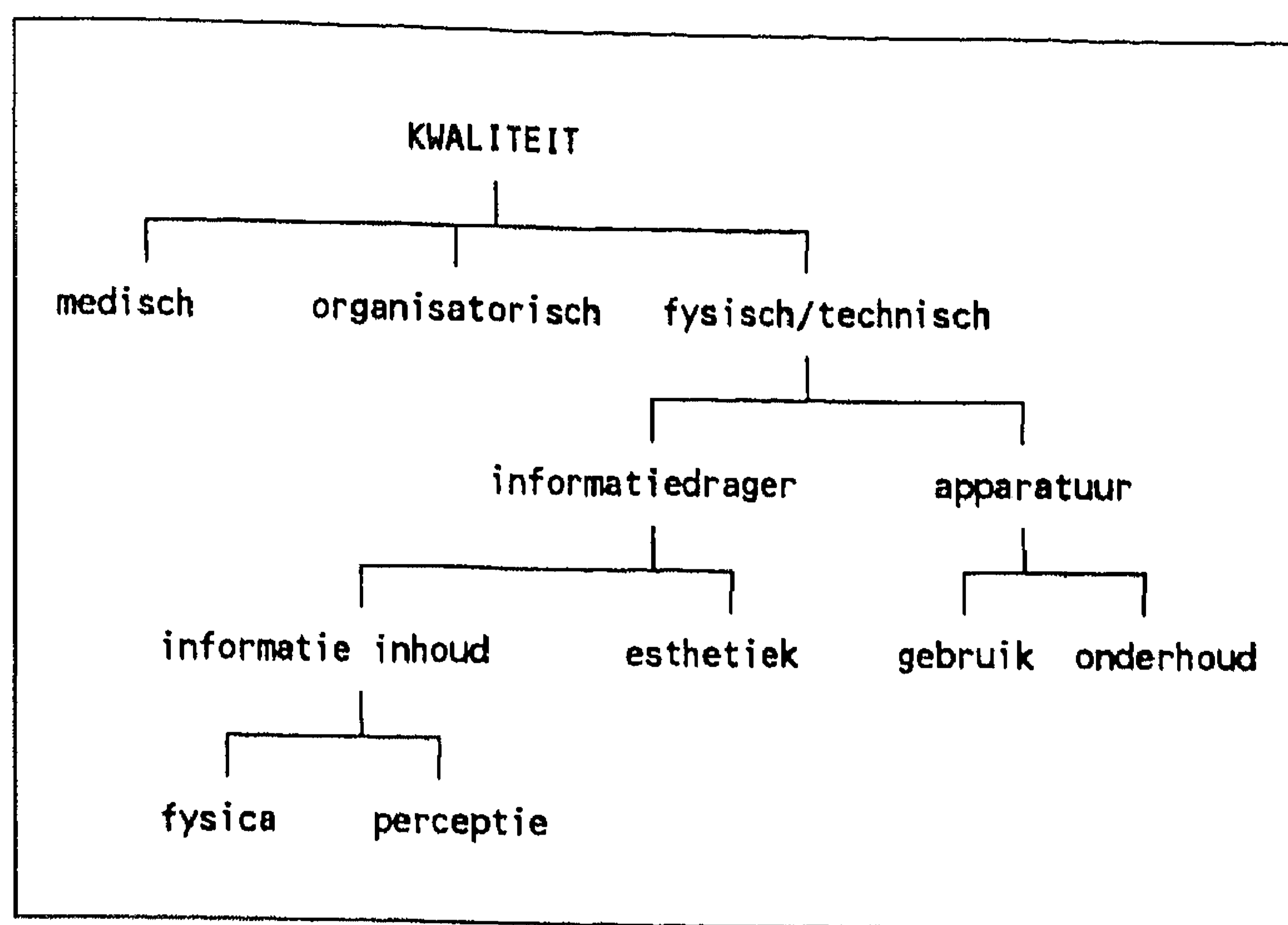
opzet van de richtlijnen is in analogie van het Nederlands Protocol voor de kwaliteitsbewaking van apparatuur bij Mammografie Screening, waarvan de eerste versie in 1988 verscheen en die ook de basis vormt van het 'European Protocol' uit 1993.

Kwaliteit

De 'kwaliteit' is in de radiodiagnostiek zoals in vele andere disciplines een nog slecht gedefinieerde grootheid. Aangezien het voor de patiënt van groot belang is, dat de goede conclusie uit de radiodiagnostische onderzoeken getrokken wordt, is het noodzakelijk deze kwaliteit 'hoog' te laten zijn. Bovendien is het voor elke patiënt van belang; de kwaliteit dient dus constant hoog te blijven. Een kwalitatief gegeven als de 'kwaliteit' van een radiodiagnostisch onderzoek moet daarom eerst gekwantificeerd worden om te kunnen vaststellen of de kwaliteit hoog is. Bovendien is 'hoog' een relatief begrip; voor die kwalificatie is een referentie noodzakelijk. Daarom is het gewenst de aspecten die de kwaliteit bepalen te benoemen en uiteen te rafelen tot kwantificeerbare eigenschappen, waarvan de getalswaarde kan worden vastgesteld en worden vergeleken met te stellen (of gestelde) standaard waarden. Het schema van Figuur 1 kan een leidraad vormen voor het uiteenrafelen van het begrip kwaliteit in de radiodiagnostiek tot kwantificeerbare grootheden.

De medische, organisatorische en fysisch-technische kwaliteit

Als hoofdgroepen in de kwaliteitsaspecten kunnen de medische, de organisatorische en de fysisch-technische aspecten genoemd worden. De eerste twee groepen zijn een uitgebreide beschrijving en kwantificering in termen van onderzoeksmethoden en resultaat



Figuur 1

Aspecten van de kwaliteit in de radiodiagnostiek

meer dan waard, maar vallen buiten de aard van dit artikel. De derde groep wordt uitgebreider behandeld om aan te geven hoe tot een kwantificering van de kwaliteit te komen.

De fysisch-technische kwaliteit

De fysisch-technische kwaliteit kan gedefinieerd worden als de mate waarin de bij het onderzoek gemaakte opnamen de voor het beantwoorden van de medische vraag noodzakelijke informatie bevat. De kwaliteit is beter naarmate de informatie beter op de vraag aansluit en met minder schade aan de patiënt wordt verkregen.

De voor het beantwoorden van de medische vraag noodzakelijke informatie wordt beschreven in de vorm van detail-waarneembaarheid van verschillen tussen weefsels in de patiënt, zoals die op de röntgenafbeelding terug te vinden zijn. Elk type onderzoek kent zijn eigen eisen aan de detail-waarneembaarheid. Deze zijn enerzijds gestoeld op de ervaring omtrend de hoeveelheid informatie die voldoende is om de vraag te beantwoorden en anderzijds begrensd door de fysische eigenschappen van röntgenstraling en de technische mogelijkheden van de beschikbare apparatuur. De potentiële schade aan de patiënt wordt gemeten in de hoeveelheid ioniserende straling die voor het verkrijgen

van de informatie noodzakelijk is.

Het vaststellen van de fysisch-technische kwaliteit kan op verschillende manieren gebeuren. Een eerste scheiding kan gemaakt worden tussen de aspecten die te maken hebben met de vraag of de apparatuur naar behoren functioneert en die welke het produkt – de afbeelding op film of monitor – aangaan (Figuur 1).

De technische kwaliteit van apparatuur kan worden gemeten in termen van de juistheid van ingestelde waarden: er moet een grote mate van overeenkomst zijn tussen de door de laboranten ingestelde opnameparameters als hoogspanning, te bestralen oppervlakte, hoeveelheid straling enzovoort en de gemeten waarden daarvan. Voor het vaststellen van de technische kwaliteit van de apparatuur zijn vele verschillende methoden beschreven voor elk van de onderdelen. Ze bestaan uit het controleren van de functies van de verschillende apparatuurdelen en zijn doorgaans eenvoudig uit te voeren door de gebruiker, al dan niet in samenwerking met de fabrikant. Voor elk van de delen bestaan door de fabrikant of de gebruiker opgestelde toleranties waarbinnen de apparatuur mag variëren. Het naar behoren functioneren van de apparatuur wordt beschreven in termen van de reproduceer-

baarheid en de juistheid van de ingestelde waarden bij het maken van röntgenopnamen. Aspecten als onderhoud en afstelling van de apparatuur spelen daarin een rol.

De aspecten welke de kwaliteit van het produkt evalueren zijn weer te scheiden in esthetische casu quo ergonomische aspecten en informatie inhoud van het produkt. Het laatste aspect laat zich splitsen in fysische en psychofysische (perceptie) delen. De eerste daarvan stelt alleen vast welke fysische eigenschappen de afbeelding beïnvloeden (Figuur 2), de tweede betreft ook de waarnemer bij de kwaliteitskenmerken, door de detailwaarneembaarheid of informatie inhoud van het produkt te onderzoeken.

De hoeveelheid straling waaraan patiënt en radiodiagnostisch personeel tijdens het onderzoek met röntgenstraling worden blootgesteld, is van twee hoofdaspecten afhankelijk: de duur van het onderzoek en het aantal gemaakte opnamen van de benodigde kwaliteit, alsmede het deel van de patiënt dat bestraald wordt; en de hoeveelheid en aard van de straling die per tijdseenheid of per opname met de benodigde diagnostische kwaliteit wordt gebruikt. Het eerste aspect wordt beïnvloed door de radiodiagnost. Het tweede is zuiver fysisch van aard en wordt door de toestand van de apparatuur bepaald. Het meten van de voor opnamen

en doorlichting benodigde hoeveelheid straling en het vaststellen van de beeldkwaliteit daarvan zal daarom door fysici moeten worden uitgevoerd.

De Röntgenfoto geeft de informatie over de weefsels in de patiënt door via optische dichtheitsverschillen op de film. Deze verschillen in zwarting zijn ontstaan uit de intensiteitsverschillen in de straling die op de film-scherm combinatie gevallen is. Dit (radiografisch) stralingsbeeld wordt in grijstinten omgezet met als transformatie de zwartingscurve: de relatie tussen opgevallen intensiteit en de zwarting van de film. Om de informatie die met röntgenstraling in de afbeelding wordt vastgelegd te kunnen beschrijven wordt een methode gebruikt die de informatie in de afbeelding in termen van nog juist zichtbare contrasten en details vastlegt.

Door deze grens aan de informatie overdracht van het systeem in een enkel getal samen te vatten is het mogelijk de relevante informatie over de kwaliteit van het afbeeldend systeem te verkrijgen en deze te vergelijken met eerdere metingen (voor de kwaliteitsbewaking), of met andere instellingen van datzelfde systeem of van andere systemen (voor de kwaliteitsbepaling). Voor het vaststellen van de zichtbaarheid van contrasten en details wordt gebruik gemaakt van een fantoom dat dergelijke informatie zichtbaar

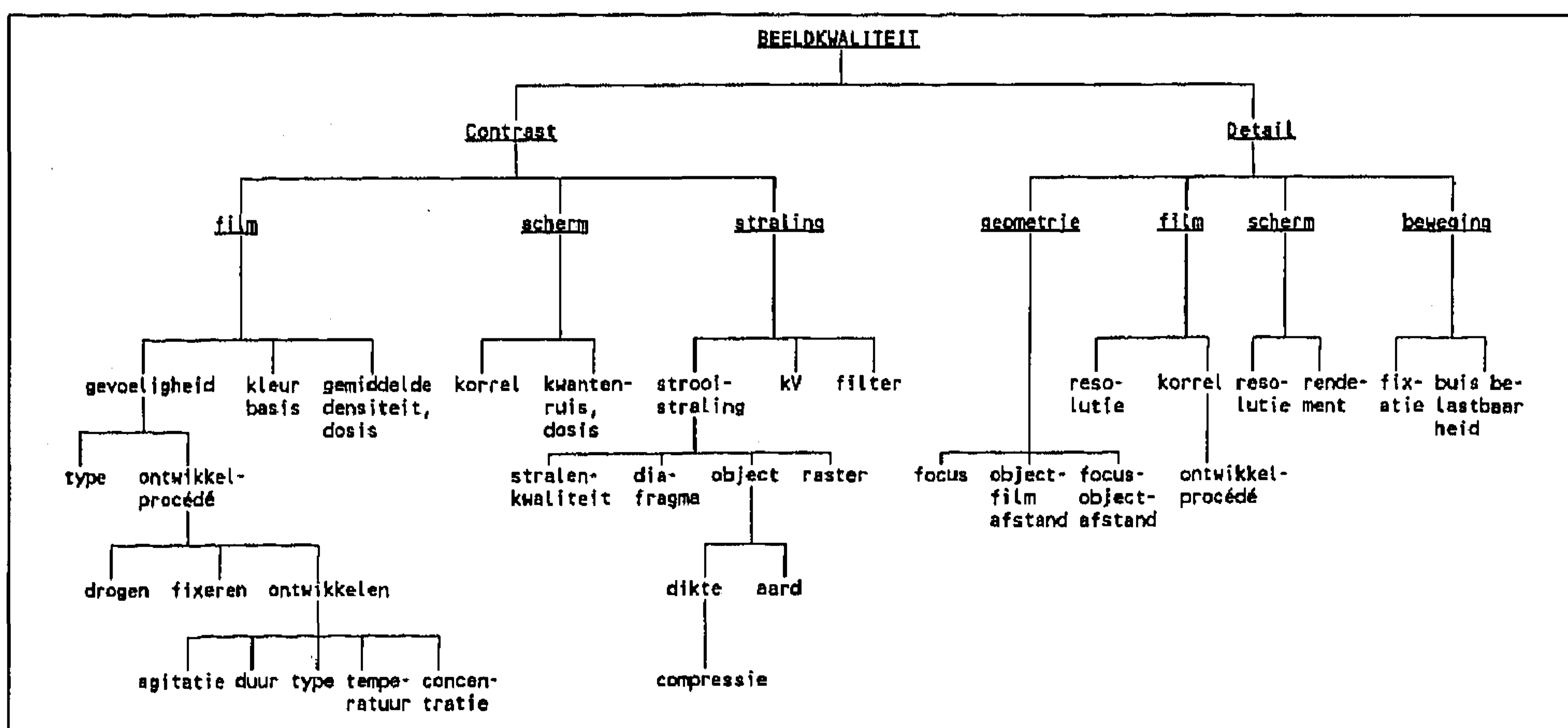
kan maken. De combinatie van juist zichtbaar contrast en detail in de afbeelding is dus een maat voor het afbeeldend vermogen van de apparatuur. Om dit vermogen te kunnen karakteriseren zal voor verschillende paren moeten worden vastgesteld of ze afgebeeld kunnen worden bij een opname onder standaard, dat wil zeggen klinisch relevante condities.

Fysische kwaliteitsbewaking bij de screening op borstkanker

In het begin van de jaren '70 is apparatuur ontwikkeld die zich specifiek leent voor mammografisch onderzoek. De belangrijkste eigenschappen daarvan zijn: een röntgenspectrum dat met name voor mammografie geschikt is door het hoge contrast dat in de afbeelding van het borstweefsel bereikt kan worden en het kleine focus waarmee de opname gemaakt kan worden. Dit geeft de mogelijkheid zowel microcalcificaties met hoog contrast en fijn detail, als tumoren met laag contrast en beperkte grootte (<10 mm) op de röntgenfoto waar te nemen. In Nederland heeft dit in 1975 geleid tot de start van een bevolkingsonderzoek op borstkanker in Nijmegen en Utrecht, naar Zweeds voorbeeld. De daarop volgende jaarlijkse resultaten hebben aangetoond, dat een bevolkingsonderzoek – onder duidelijke voorwaarden – zinvol is: de mortaliteit aan borstkanker kan in de voor screening uitgenodigde populatie met 30% verminderd worden. In Nederland houdt dat in, dat circa 800 vrouwen per jaar minder zullen overlijden dan de huidige 3500. Deze bevindingen in zowel Zweden als in Nijmegen en Utrecht hebben geleid tot een landelijk bevolkingsonderzoek op borstkanker, aanvankelijk gesteund door het Ministerie van Volksgezondheid, later overgenomen door de Ziekenfondsraad.

Figuur 2

Fysische aspecten van beeldkwaliteit



Voor het onderzoek worden alle vrouwen in de doelgroep eenmaal per twee jaar individueel benaderd om op een bepaalde dag zich mammografisch te laten onderzoeken in een vast of mobiel opgestelde screeningseenheid. Voor Nederland (15 miljoen inwoners) wordt gerekend op een totaal van circa 60 eenheden. Deze 60 eenheden kunnen niet allemaal continu de hoogst haalbare fysische kwaliteit leveren. Om te voorkomen, dat enkele van hen een slechter resultaat bereiken dan mogelijk is, worden de fysische en epidemiologische resultaten landelijk in een centraal punt verzameld en verwerkt. Voor de fysische waarden gebeurt dit in het Landelijk Referentie Centrum voor het bevolkingsonderzoek op Borstkanker (LRCB). Het is gevestigd in het Academisch Ziekenhuis Nijmegen. In het LRCB is tevens de opleiding voor radiologen, patholoog-anatomen en laboranten georganiseerd en van daaruit wordt ook de fysische kwaliteitsbewaking van alle screeningscentra verzorgd.

De mammografie is een techniek waarbij het fysisch mogelijke en het technisch haalbare elkaar dicht genaderd hebben. Deze balans maakt het noodzakelijk zowel bij de aanschaf van apparatuur als in het dagelijks gebruik daarvan zorgvuldig te werk te gaan. Daarom dient de kwaliteit van apparatuur, opnametechniek en diagnose goed en met de juiste frequentie gecontroleerd te worden om een sluipende verslechtering tegen te kunnen gaan.

Afgezien van de nauwgezetheid, waarmee door de laboranten de vrouw wordt gepositioneerd en de opname gemaakt, wordt de kwaliteit van de mammogram bepaald door de eigenschappen en de toestand van de apparatuur, alsmede door de film en het ontwikkelprocedé. De rönt-

genapparatuur is ontwikkeld naar de eisen van radiologen, die vanuit hun ervaring in de mammografie goed kunnen aangeven wat belangrijke details zijn en wanneer die het best gezien worden. Deze blijken overeen te komen met de grenzen van het menselijk waarnemingsvermogen en van de techniek. Het ontwikkelprocedé van de film is een belangrijke variabele in de kwaliteit van het hele systeem. Een steile film (gemiddelde gradiënt circa 3.0) met een redelijk traag scherm geeft bij de huidige inzichten de beste resultaten. Omdat de mogelijkheden van de röntgenapparatuur en van de film bij de mammografie tot het uiterste worden benut, is een goede kwaliteit niet vanzelfsprekend. Het is daarom van groot belang een goede technische kwaliteitsbewaking uit te voeren. Daarbij is de aard en frequentie van de metingen aangepast aan de waarschijnlijkheid van verandering en aan de invloed daarvan op de kwaliteit. In de hoofdlijnen bestaat de kwaliteitsbewaking uit een dagelijkse test van het ontwikkelprocedé, terwijl de apparatuur eveneens dagelijks op de hoofdpunten gecontroleerd wordt. Daarnaast bestaan er vaste momenten van onderzoek aan de apparatuur: bij aanschaf (acceptatietest), elk jaar een uitgebreide test en daarnaast eenmaal per jaar en kleinere test.

De waardebepaling van de kwaliteitsparameters

In tabel 1 zijn de criteria, die de fysische toestand van (mammografische) apparatuur bepalen, samen gevat. Deze criteria kunnen gekwantificeerd worden in fysische parameters, die direct van invloed zijn op de criteria. Wanneer deze parameters niet veranderen zal het niet te verwachten zijn dat de beeldkwaliteit verandert. Voor deze kwaliteitsbewaking is het daarom voldoende ervoor te zor-

gen dat de parameters binnen nauwe grenzen constant blijven. Om dit zinvol te kunnen doen is een aantal meetmethoden ontwikkeld, die een verandering voldoende nauwkeurig kunnen vaststellen, zonder uitgebreide fysische metingen. Om de waarden van de verschillende fysische parameters ten behoeve van de kwaliteitsbewaking te kunnen vaststellen is een fantoom ontwikkeld, waarmee goed reproduceerbare relevante waarden voldoende nauwkeurig kunnen worden vastgesteld. De maatstaf voor 'voldoende nauwkeurig' is, dat de verandering van een parameter wordt gedetecteerd voordat een effect in de afbeelding of in de diagnose zichtbaar wordt.

Tabel 1

De criteria voor de fysische kwaliteitsbewaking.

- resolutie
- contrast/stralenkwaliteit
- dosis/zwarting
- dikte compensatie
- kVp compensatie
- beeldkwaliteit

De Resolutie

Als criterium voor voldoende resolutie, het scherp kunnen afbeelden van de belangrijkste details, wordt het waarnemingsvermogen van de mens genomen. Onder de in de mammografie gebruikelijke omstandigheden kan een radioloog maximaal circa 7 lijnpaaren per millimeter (lp/mm) waarnemen. Wanneer bij het bekijken nog een loep met een vergrotingsfactor 2 wordt gebruikt, neemt dit toe tot circa 14 lp/mm. Om dit te kunnen weergeven zal het systeem tenminste deze resolutie moeten hebben om kleine details met een voldoende hoog contrast te kunnen weergeven.

Het Contrast

Als criterium voor voldoende contrast wordt genomen, dat alle relevante informatie uit het borstweefsel op de foto zichtbaar gemaakt wordt. De relevante informatie wordt gedefinieerd als die verschillen in zwarting die op de aanwezigheid van een tumor kunnen duiden, op een locatie waar die ook kan worden verwacht. Een bovengrens wordt gevormd door het verlies van informatie in lichte en donkere partijen als het contrast te hoog wordt. Tevens wordt dan de belichtingsruimte zo klein, dat vooral oudere apparatuur de hoeveelheid straling niet voldoende nauwkeurig kan doseren. Het gevolg daarvan is het voorkomen van wisselende belichting van de opnamen, hoewel zowel de apparatuur als de film en het ontwikkelprocedé binnen de specificaties blijven functioneren.

De dosis

Bij een goed functionerend ontwikkelprocedé, een juiste filmdensiteit en juist stralenspectrum kan bij dezelfde film-scherm combinatie de oppervlaktedosis bij de opname niet veranderd zijn: de tussenliggende stappen zijn eenduidige omzettingen die een vaste relatie met de exposie houden als er geen wijziging van de ingestelde parameters is opgetreden. Zou die wel zijn opgetreden komt dat door een andere densiteit van het fantoom en/of een ander contrast in de straling naar voren. Om deze redenen wordt dagelijks een standaardopname gemaakt.

De dikte- en kVp-compensaties

Zowel de dikte van het weefsel als de gebruikte energie van de röntgenstraling zijn van invloed op de zwarting van de film. De apparatuur moet hiervoor compenseren. Als criterium voor een goede compensatie geldt, dat een wille-

keurige serie opnamen van borsten met verschillende ge-comprimeerde dikte dezelfde zwarting heeft. Aangezien in de praktijk een verschil in optische densiteit van 0.20 OD net zichtbaar lijkt, zal dit ook de grens voor dit criterium zijn.

De Beeldkwaliteit

Als criterium voor een goede beeldkwaliteit geldt, dat een opname met apparatuur die normaal is afgeregeld volgens bovenstaande criteria de zichtbare contrast-detailparen leiden tot een kwaliteit die door de radioloog als adequaat voor de diagnostiek wordt gezien. Grote afwijkingen hierin duidt erop, dat de toleranties van de afzonderlijke componenten die de beeldkwaliteit beïnvloeden elkaar kennelijk negatief versterken.

Dat een dergelijke kwaliteitsbewaking zin heeft moge blijken uit de volgende gegevens: Problemen worden op elk van de units gedetecteerd, met de volgende jaargemiddelden:

- ontwikkelen van de film:
10,8 maal per jaar per unit;
- filmproblemen:
1,4 maal per jaar per unit;
- röntgenapparatuur:
0,9 maal per jaar per unit;
- onbekende oorzaak:
0,5 maal per jaar per unit.

Deze problemen worden meteen aangepakt en zo snel mogelijk opgelost, waarbij de concentratie van kennis in het referentiecentrum essentieel is. Het vroegtijdig signaleren van de problemen zorgt ervoor, dat de verkregen informatie op de röntgenfoto in ieder geval in fysische zin vrijwel altijd optimaal is voor elke deelnemster aan het bevolkingsonderzoek op borstkanker.

Ten slotte

De radiodiagnostiek is een snel veranderend specialisme. In de laatste decennia heeft de computer er zijn intrede gedaan. Dit heeft geleid tot de introductie van digitale tech-

nieken als gecomputeriseerde tomografie (CT), digitale subtractie angiografie (DSA), echografie, programmeerbare schakel tafels, hoogfrequent generatoren, magnetische resonantie (MR) apparatuur en picture archiving and communication systems (PACS). De computerisering van de radiodiagnostiek levert nog andere mogelijkheden: het wordt steeds beter mogelijk relevante en reproduceerbare uitspraken te doen over fysische en dynamische eigenschappen van weefsels en lichaamsvloei-stoffen. Dit impliceert dat uit de tot nu toe vooral kwalitatieve - visuele - waarnemingen ook kwantitatieve gegevens gehaald kunnen worden die de waarde van de visuele diagnose kunnen verhogen. Het betrouwbaar meten en zinvol interpreteren van de fysische parameterwaarden is een onderdeel van de klinische fysica dat sterk uitbreidt: de MR-spectroscopie is een voorbeeld van het raakvlak tussen fysica en functie analyse, andere voorbeelden zijn de botdichtheidsbepalingen met Dual Energy CT, de ejectie-fractie bepaling van het hart met Cardio CT en de stenosebepaling in vaten met DSA.

Deze ontwikkelingen doen vermoeden, dat de bijdrage van de klinisch fysicus bij het verbeteren en handhaven van de kwaliteit in de radiodiagnostische praktijk de komende jaren verder zal toenemen.