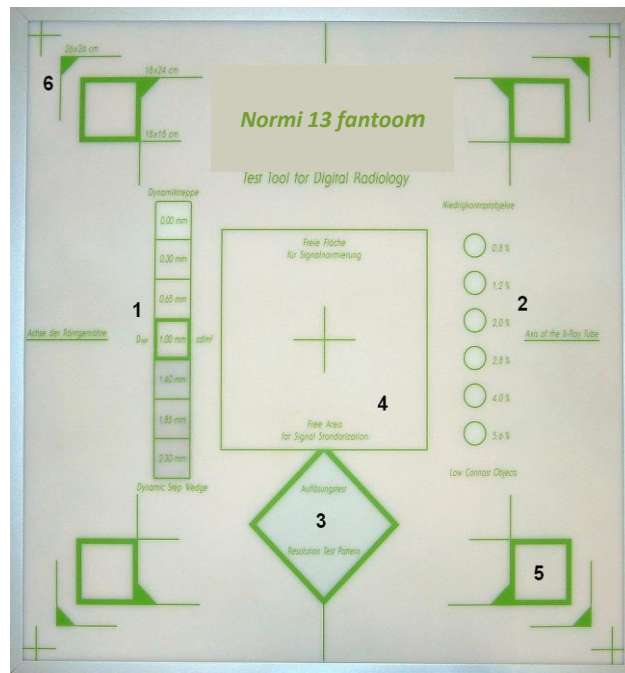


# Aanbevelingen Kwaliteitscontrole Bucky



Versie: 2.1 (juli 2018)

Auteurs: Willy Hummel (voorzitter)  
Sèvrin Huijsse  
Niels van der Werf

Stuurgroep: Arjen Becht  
KlaasJan Renema  
Cécile Jeukens  
Jurgen Mourik  
namens NVKF nascholingskring RNG

Versie 1.0

Willy Hummel (voorzitter)  
Bärbel van den Berg-Bakker  
Frits van der Meer  
Egon Scheepers  
Arnold Schilham

## **DISCLAIMER**

### **DISCLAIMER**

De auteursrechten liggen bij de auteurs genoemd bij elk hoofdstuk en de NVKF. Er mogen geen teksten of tekstdelen worden overgenomen dan na uitdrukkelijke toestemming van deze auteurs en steeds met volledige bronverwijzing naar deze Aanbevelingen.

Dit document geeft een overzicht van tests en controles die beschikbaar zijn om de werking en performance van beeldvormende systemen te controleren. Door de continue evolutie van de techniek verandert het palet aan testen. Het overzicht is daarom niet uitputtend en geschreven op de huidige stand van de techniek.

De gegeven aanbevelingen zijn, om bovengenoemde redenen, beperkt in hun reikwijdte: ze hebben een algemeen karakter en kunnen niet zonder meer worden toegepast in elke situatie. Welke combinatie van testen in de praktijk gebruikt zal worden hangt af van de wijze van gebruik en de specifieke eigenschappen van het te controleren systeem. Dit document beoogt de informatie aan te leveren die de klinisch fysicus ondersteuning biedt bij het, zo nodig in overleg met de gebruikers, zelfstandig opstellen van een verantwoord locatie-specifiek programma voor acceptatie en kwaliteitscontrole. De klinisch fysicus en de instelling zal altijd zelf verantwoordelijk zijn en blijven bij de keuze om deze aanbevelingen geheel of ten dele na te volgen.

De NVKF en de auteurs sluiten iedere aansprakelijkheid in verband met het in deze aanbevelingen gestelde, uit welke hoofde ook, uit.

## Inhoudsopgave

<b>1. VERSIEBEHEER.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OVERZICHT TESTEN, DOELSTELLING EN FREQUENTIE .....</b>	<b>2</b>
<b>3. INTRODUCTIE EN RANDVOORWAARDEN .....</b>	<b>3</b>
<b>4. BESCHRIJVING TESTEN.....</b>	<b>4</b>
4.1 BUNDELKWALITEIT KVP .....	4
4.2 BUNDELKWANTITEIT .....	7
4.3 HALFWAARDEDIKTE (HWD).....	9
4.4 DOSISOPPERVLAKTEPRODUCT (DAP).....	11
4.5 AEC PRESTATIE .....	13
4.6 VERGELIJKING AEC CELLEN .....	15
4.7 HOMOGENITEIT EN ARTEFACTEN .....	17
4.8 GHOSTING .....	19
4.9 CONTROLE ENERGIERESPONS AEC .....	21
4.10 MODULATION TRANSFER FUNCTION .....	23
4.11 OVEREENKOMST RÖNTGEN-DETECTOR .....	25
4.12 OVEREENKOMST LICHT-RÖNTGEN EN VELDGROOTTE .....	26
4.13 QC LIGHT .....	28
4.14 LEKSTRALING .....	33
<b>BIJLAGE 1 HANDMATIGE METING HWD .....</b>	<b>34</b>
<b>BIJLAGE 2 CONTRAST DETAIL MTF .....</b>	<b>35</b>

## 1. Versiebeheer

Datum	Onderdeel	Wijziging	Reden
28-3-2012	Alle onderdelen	Versie 1.0 Initiële versie, vastgesteld op NVKF congres 28 maart 2012	Globale revisie
Mei 2012	Alle onderdelen	Versie 1.1 Revisie	N.a.v. opmerkingen gebruikers
Juni 2012	Alle onderdelen	Versie 1.2 Revisie	Verbeterde versie naar aanleiding van opmerkingen gebruikers
21-3-2016	Alle onderdelen	Versie 1.9 Revisie	Versie voor commentaarronde om naar versie 2.0 te gaan
Sept 2106	Alle onderdelen	Versie 2.0 Revisie	N.a.v. opmerkingen gebruikers
Juli 2018	Alle onderdelen	Versie 2.1 Revisie n.a.v. bespreking tijdens RNG-nascholing	Verduidelijking & gereedmaken ledenraadpleging

## 2. Overzicht testen, doelstelling en frequentie

Hfd 4	Categorie	Parameter	Acceptatie/ Constantheid	Vereist/ optioneel	onderdeel QC Light <sup>1</sup>	Aanvangsfreq uentie <sup>3</sup>	Verantwoord minimum <sup>2</sup>
4.1	Dosisafregeling	Bundelkwaliteit kVp; nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid	A/C	V	ja; ib	half jaarlijks	bij vervanging buis
4.2		Bundel kwantiteit: output lineariteit mGy/mAs	A/C	V	ja; ib als niet output wordt gemeten	half jaarlijks	bij vervanging buis
4.3		Halfwaardedikte (HWD)	A/C	V	ja; ib als niet output wordt gemeten	half jaarlijks	bij vervanging buis
4.4		Dosis oppervlakte product (DAP)	A/C	V	ja; ib als niet output wordt gemeten	half jaarlijks	bij vervanging buis
4.5		AEC dosisafregeling EI-afregeling	A/C	V	ja, db	half jaarlijks	bij vervanging AEC componenten en vervanging detector
4.6		vergelijking AEC cellen	A/C	V	ja, ib	half jaarlijks	bij vervanging AEC componenten en vervanging detector
4.7	Beeldkwaliteit	Homogeniteit en artefacten	A/C	V	ja; db	frequentie preventief onderhoud	uitgebreid bij vervanging detector
4.8		Ghosting	A	V	nee	bij acceptatie	bij problemen of bij vervanging detector
4.9		Controle energiespons AEC; SNR en EI	A	V	ja, ib op 2 kV waarden	bij acceptatie	bij problemen of bij vervanging detector
		Contrast Detail – MTF	A	O	nee	bij acceptatie	
4.12	Mechanisch	Veldgrootte (samengevoegd met licht röntgen)	A/C	V	ja; db	half jaarlijks	bij vervanging buis en vervanging diafragma
4.11		Overeenkomst röntgen-detector	A/C	V	ja; db	half jaarlijks	bij vervanging buis en vervanging diafragma
4.12		Overeenkomst licht - röntgen	A/C	V	ja; db	half jaarlijks	bij vervanging buis, vervanging diafragma en vervanging lamp lichtvizier
<b>Fout ! Verwijzingsbron niet gevonden</b>	QC Light	Ketencontrole	A/C	V		frequentie preventief onderhoud	half jaarlijks en na correctief onderhoud
4.14	Algemeen	Lekstralingsmeting	A/C	V	nee	Jaarlijks	jaarlijks

### Toelichting

- Er is aangegeven of een parameter onderdeel is van het QC light protocol
  - Er is aangegeven of met behulp van QC light een parameter direct of indirect wordt getest. Een directe bepaling (aangegeven met db) betekent dat met behulp van QC light een parameter direct wordt gemeten. Een indirecte test geeft inzicht of de desbetreffende parameter al dan niet correct is.
  - Bij indirecte bepaling (aangegeven met ib) wordt aangeraden om een directe meting uit te voeren met de aanvangsfrequentie
- Verantwoord minimum is van toepassing als de QC-Light minimaal met het verantwoord minimum wordt uitgevoerd

- 3:      Aanvangsfrequentie is van toepassing als de QC-Light niet wordt uitgevoerd (met het verantwoord minimum). Dit geldt voor parameters waarbij de "aanvangsfrequentie" niet incidenteel is



### 3. Introductie en randvoorwaarden

In deze aanbevelingen worden fysisch-technische kwaliteitstesten beschreven die uitgevoerd kunnen worden aan bucky toestellen. De noodzakelijke mechanische kwaliteitstesten (zoals loodrechtheidsmeting) worden hier niet beschreven. Dit meetprotocol kan worden gebruikt voor het uitvoeren van acceptatietesten, periodieke testen en additionele testen aan digitale bucky systemen. Deze verschillende soorten testen worden hieronder nader toegelicht.

- **Acceptatietest:**  
Elk individueel apparaat wordt na installatie gecontroleerd op de kwaliteit en instellingen d.m.v. een acceptatietest. Als het systeem aan alle gestelde eisen voldoet en de vereiste documentatie (digitaal aanschaf dossier etc.) is in orde, dan wordt de bucky apparatuur vrijgegeven voor gebruik.<sup>1</sup>
- **Constantheidstest:**  
Na de acceptatietest vindt er een periodieke test plaatsvinden, bijvoorbeeld ieder half jaar. Een deel van de metingen van de acceptatietest wordt dan herhaald, waarbij een controle van het verloop van de kwaliteit en de instellingen uitgevoerd wordt.
- **QC-Light test:**  
Een belangrijke constantheidstest is de QC-Light test. Dit is een zgn ketentest, waarbij alle belangrijke parameters direct of indirect worden gecontroleerd. Deze test vindt periodiek plaats met een aanvangsfrequentie van 1 keer per week. Voor de testresultaten geldt dat bij een afwijkende waarde er een additionele test vereist is.
- **Additionele test:**  
Bij modificatie of vervanging van een onderdeel van de apparatuur wordt een incidentele test uitgevoerd. Tijdens deze test wordt het deel van de metingen van de acceptatietest, die relevant zijn voor de modificatie, herhaald.

Voor aan groot aantal testen gelden een aantal algemene opmerkingen, deze zijn:

- Gebruik voor alle opnames één gelijke oriëntatie van het beeld.
- Alle metingen dienen te worden uitgevoerd met het meetinstrument of het fantoom in de centraalstraal, tenzij ander vermeld.
- Gebruik voor alle opnames een protocol waarbij geen post-processing wordt toegepast (bijv. flat field protocol of homogeniteitprotocol). Een niet-lineaire postprocessing kan ten onrechte de meting beïnvloeden.
- Gebruik geen toegevoegde externe filters (Al of Cu) e.d
- Als de data via het PACS van het systeem wordt gehaald, dan dient men er zeker van te zijn dat het PACS de beelden lineair doorstuurt.
- De detector is gedefinieerd als de beeldopnemer samen met alle niet verwijderbare onderdelen (zoals beschermkappen e.d.)
- De beeldopnemer is gedefinieerd als het deel wat de fotonen opvangt en omzet in een digitaal signaal.

---

<sup>1</sup> Na de acceptatietesten moet het systeem worden afgeregeld voor beoogd gebruik, waarbij de patiëntdosis getoetst wordt aan de gestelde Diagnostische Referentie Niveaus (DRN, [www.referentieniveau.nl](http://www.referentieniveau.nl)). Verstandig is om ook de klinische waarden gedurende de eerste maanden te controleren.

## 4. Beschrijving testen

### 4.1 Bundelkwaliteit kVp

*Nauwkeurigheid & reproduceerbaarheid*

#### 4.1.1 Inleiding en rationale

Naast interne filtratie in de buis en toegevoegde externe filters is de buisspanning bepalend voor het energiespectrum. Dit spectrum is van belang voor de beeldkwaliteit, beeldcontrast en patiënt dosis. Daarom is het van belang dat de energie van de geleverde röntgenstraling overeenkomt met de ingestelde waarde (nauwkeurigheid). Daarnaast moet de buis altijd dezelfde output (energiespectrum) produceren bij dezelfde instellingen, zodat röntgenfoto's een consistente kwaliteit hebben (reproduceerbaarheid).

In deze meting wordt gecontroleerd:

1. of de ingestelde buisspanning overeenkomt met de ingestelde waarde,
2. of de buis altijd hetzelfde spectrum levert.

#### 4.1.2 Frequentie

Deze test is vereist bij acceptatie en dient te worden uitgevoerd bij vervanging van de buis. De bundelkwaliteit wordt indirect getest met QC light. De verantwoorde minimum frequentie van uitvoering is bij vervanging van de buis, mits de QC light test wordt uitgevoerd. Is dit niet het geval, dan dient de test tevens halfjaarlijks te worden uitgevoerd.

#### 4.1.3 Benodigde apparatuur, software, fantomen en bronnen

Type	Omschrijving	Opmerking
Meetapparatuur	Meetinstrument om de buisspanning te meten.	- Bv. Unfors of Barracuda - Let op dat het meetinstrument compenseert voor de interne niet te verwijderen filtratie of dat er een correctietabel beschikbaar is
Overig	Loodschort om de detector te beschermen	

#### 4.1.4 Methode

1. Plaats het loodschort op de detector ter voorkoming van "inbranden" van de meter in de detector.
2. Leg het meetinstrument op het loodschort in de centraal straal. (Het loodschort absorbeert teruggestrooide straling door de tafel/detector. Deze stroostraling kan de nauwkeurigheid van de meting beïnvloeden.). Indien de meter gevoelig is voor het heel effect, dient de meter haaks op de anode-cathode richting geplaatst te worden.
3. Verwijder alle toegevoegde filters
4. Centreer de röntgenbundel op het meetinstrument en collimeer de bundel zodat alleen het meetinstrument bestraald wordt.
5. Gebruik een focus-detector afstand (SID) van 1 meter (i.v.m. gecombineerde metingen)
6. Maak opnames bij de handmatige instellingen uit de onderstaande tabel (70 kV en 81 kV zijn veel gebruikte kV-waarden. 70 kV is ook de kV waarde die bij calibratie wordt toegepast) en meet de uitgezonden kV-waarde.

	Focus	Buisspanning (kV)	Buisstroom (mA)	Duur (ms)	Buislading (mAs)
Meetserie 1	Groot	60	100	100	10
	Groot	81	100	100	10
	Groot	70	100	100	10
	Groot	81	100	100	10
	Groot	102	100	100	10
	Groot	81	100	100	10
	Groot	125	100	100	10



	Groot	81	100	100	10
<b>Meetserie 2</b>	Klein	60	100	100	10
	Klein	81	100	100	10
	Klein	70	100	100	10
	Klein	81	100	100	10
	Klein	102	100	100	10
	Klein	81	100	100	10
	Klein	125	100	100	10
	Klein	81	100	100	10
<b>Meetserie 3</b>	Groot	70	50	100	10
	Groot	70	100	100	5
	Groot	70	200	100	20
	Groot	70	400	100	40
	Groot	81	40	500	20
<b>Meetserie 4</b>	Groot	81	50	400	20
	Groot	81	100	200	20
	Groot	81	400	50	20
	Groot	81	400	50	20

#### 4.1.5 Analyse en interpretatie

##### Berekening:

1. Bereken voor elke meting de nauwkeurigheid "n" volgens de formule

$$n = \left| \frac{V_{\text{gemeten}} - V_{\text{ingesteld}}}{V_{\text{ingesteld}}} \right| \times 100\%$$

2. Toets de waarde van n:  $n \leq 5\%$
3. Bereken voor de vier meetresultaten bij 81kV de relatieve standaarddeviatie  $\sigma V_g$  (precisie, ofwel reproduceerbaarheid) volgens de formule:

$$\sigma V_g = \left\{ \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^n \frac{(V_{gj} - \bar{V}_g)^2}{n-1}}}{\bar{V}_g} \right\} \times 100\%$$

4. Toets de waarde van  $\sigma V_g$ :  $\sigma V \leq 2.5\%$

#### 4.1.6 Grenswaarden

Parameter	Grenswaarde
Nauwkeurigheid	$\leq 5\%$
Reproduceerbaarheid	$\leq 2.5\%$

#### 4.1.7 Aanvullende en alternatieve controles

Geen

#### 4.1.8 Valkuilen en kanttekeningen

Let op dat het meetinstrument gekalibreerd is voor het te gebruiken energiegebied.

#### 4.1.9 Referenties

- Richtlijnen kwaliteitsbewaking radiodiagnostiek
- M.E. Lyra e.a., 2010, *Presentation of Digital Radiographic Systems and the Quality Control Procedures that Currently Followed by Various Organizations Worldwide*, Recent Patents on Medical Imaging, volume 2

## 4.2 Bundelkwantiteit

*Output lineariteit mGy/mAs*

### 4.2.1 Inleiding en rationale

De hoeveelheid straling per eenheid mAs in mGy/mAs, moet voor een buis constant zijn. Variaties hierin in kunnen duiden op problemen met de generator kalibratie, onnauwkeurige timer, verdamping/slijtage van het filament. Daarnaast moet de waarde mGy/mAs voor verschillende buizen vergelijkbaar zijn, zodat röntgenfoto's die met dezelfde instellingen gemaakt zijn, vergelijkbaar zijn in beeld en belasting voor de patiënt. Alleen dan kunnen dezelfde protocollen in de verschillende kamers gebruikt worden. De output is afhankelijk van de buisstroom maal de opnametijd maar moet onafhankelijk zijn van de gekozen buisstroom bij gelijke mAs.

In deze meting wordt de output per mAs gemeten. In bucky systemen kunnen mAs, kV en ms apart worden ingesteld. Echter, opnames met dezelfde mAs-waarde moeten ook dezelfde hoeveelheid straling opleveren, zolang de kV-waarde constant is en de tijden correct zijn

### 4.2.2 Frequentie

Deze test is vereist bij acceptatie en dient te worden uitgevoerd bij vervanging van de buis. De bundelkwantiteit wordt indirect getest met QC light, wanneer de buisoutput niet direct wordt gemeten met een DAP meter. De verantwoorde minimum frequentie van uitvoering is bij vervanging van de buis, mits de QC light test wordt uitgevoerd. Is dit niet het geval, dan dient de test tevens halfjaarlijks te worden uitgevoerd.

### 4.2.3 Benodigde apparatuur, software, fantomen en bronnen

Type	Omschrijving	Opmerking
Meetapparatuur	Meetinstrument	Bv. Unfors of Barracuda
Overig	Loodschort om de detector te beschermen	

### 4.2.4 Methode

1. Plaats het loodschort op de detector. Leg de dosimeter op het loodschort
2. Centreer de röntgenbundel op de meter en collimeer de bundel zodat alleen het meetinstrument bestraald wordt
3. Gebruik een focus-detector afstand (SID) van 1 meter (i.v.m. gecombineerde metingen)
4. Maak verschillende opnames en meet de dosis in mGy bij elke meting (zie meetprotocol bundelkwaliteit; paragraaf 4.1)

### 4.2.5 Analyse en interpretatie

1. Bereken de mGy/mAs waarde voor elke meting
2. Bereken de lineaire variantie in mGy/mAs

### 4.2.6 Eisen

De lineariteit (in mGy/mAs) is goed als de berekende variatie =  $(\max - \min) / (\max + \min) < 0,1$ . Bij hoge kV-waarden kan het voorkomen dat de berekende variatie  $> 0,1$

### 4.2.7 Aanvullende en alternatieve controles

Controleer de stabiliteit van de kV output en de halfwaardedikte als de variatie  $> 0,1$

### 4.2.8 Valkuilen en kanttekeningen

Let op dat het meetinstrument gekalibreerd is voor het te gebruiken energiegebied.

#### 4.2.9 Referenties

- M.E. Lyra e.a., 2010, *Presentation of Digital Radiographic Systems and the Quality Control Procedures that Currently Followed by Various Organizations Worldwide*, Recent Patents on Medical Imaging, volume 2

### 4.3 Halfwaardedikte (HWD)

#### 4.3.1 Inleiding en rationale

Filters in de röntgenbuis absorberen laagenergetische fotonen die niet bijdragen in de beeldvorming maar alleen de patiëntdosis verhogen. Een maat voor de stralenkwaliteit ("hoe doordringend is de straling") is de halfwaardedikte (HWD) bij een bepaalde buisspanning die gerelateerd is aan de hoeveelheid filtratie.

#### 4.3.2 Frequentie

Deze test is vereist bij acceptatie en dient te worden uitgevoerd bij vervanging van de buis. De halfwaardedikte wordt indirect getest met QC light, wanneer de buisoutput niet direct wordt gemeten met een DAP meter. De verantwoorde minimum frequentie van uitvoering is bij vervanging van de buis, mits de QC light test wordt uitgevoerd. Is dit niet het geval, dan dient de test tevens halfjaarlijks te worden uitgevoerd.

#### 4.3.3 Benodigde apparatuur, software, fantomen en bronnen

Type	Omschrijving	Opmerking
Meetapparatuur	Meetinstrument	Bv. Unfors of Barracuda
Overig	Aluminiumplaatje 1mm dikte (high purity)	Indien er geen Unfors, Barracuda beschikbaar is

#### 4.3.4 Methode

Voer de metingen uit bij smalle bundel geometrie (dus: belicht alleen het meetinstrument) i.v.m. minder strooi-straling.

1. Plaats een loodschort op de buckytafel
2. Plaats de dosimeter op het loodschort
3. Stel de Focus-detector afstand in op 100 cm
4. Centreer de röntgenbundel op de meter en collimeer de bundel zodat alleen de dosimeter wordt bestraald
5. Maak opname met een veelgebruikte buisspanning (70kV of 80 kV), 100mAs, focus-filter afstand 50cm.
6. Lees de HWD af van het meetinstrument
7. Herhaal de meting voor andere buisspanningen indien daar aanleiding voor is (bijvoorbeeld als de bundelkwantiteit in mGy/mAs bij deze buisspanningen verandert)

#### 4.3.5 Analyse en interpretatie

Toets voor elke buisspanning of wordt voldaan aan de hieronder beschreven eisen.

#### 4.3.6 Eisen

Buisspanning (kV)	Minimale halfwaarde dikte in mm Al*
60	2,2
70	2,5
80	2,9
110	3,9
120	4,3

\*Deze halfwaarde dikten corresponderen met een totale filtratie van 2,5mm Al. Voor HWD waarden voor andere buisspanningen, zie NEN-IEC 60601-1-3

#### 4.3.7 Aanvullende en alternatieve controles

Met meetinstrument (Unfors of Barracuda) kan de HWD direct gemeten worden (zie meetprotocol bundelkwaliteit). Wanneer een het meetinstrument niet de HWD kan bepalen, dan kan dit gedaan worden met behulp van verscheidene diktes aluminium en een dosimeter (zie Bijlage 1).

#### **4.3.8 Valkuilen en kanttekeningen**

1. Let op dat het meetinstrument corrigeert voor interne filtering.
2. Hoeveelheid toegevoegde filtratie → kan problemen geven met de omzetting naar verwachte totale filtratie

#### **4.3.9 Referenties**

- NEN-IEC 60601-1-3

## 4.4 Dosisoppervlakteproduct (DAP)

### 4.4.1 Inleiding en rationale

Deze meting is ter bepaling van de integrale outputdosis over het gebruikte röntgenveld tijdens de totale blootstellingstijd. Tegenwoordig is het verplicht dat er op elk systeem een patiëntdosis indicatie getoond wordt. Deze wordt in deze test gecontroleerd.

### 4.4.2 Frequentie

Deze test is vereist bij acceptatie en dient te worden uitgevoerd bij vervanging van de buis. De DAP wordt indirect getest met QC light, wanneer de buisoutput niet direct wordt gemeten met een DAP meter. De verantwoorde minimum frequentie van uitvoering is bij vervanging van de buis, mits de QC light test wordt uitgevoerd. Is dit niet het geval, dan dient de test tevens halfjaarlijks te worden uitgevoerd.

### 4.4.3 Benodigde apparatuur, software, fantomen en bronnen

Type	Omschrijving	Opmerking
Meetapparatuur	- Dosimeter en meetinstrument om röntgenveldgrootte te bepalen - OF DAP meter	

### 4.4.4 Methode

#### Methodiek 1

1. Leg ter bescherming een loodschort op de detector of BV
2. Positioneer de dosimeter centraal in het lichtveld (op de tafel)
3. Collimeer bundel naar een veld van vaste veldgrootte (bijv 10x10cm) op de tafel.

*Systemen met een lichtvizier:*

Het is belangrijk dat er voor de veldgrootte niet afgegaan wordt op de buisgegevens, maar dat het licht-röntgen eerst gecontroleerd wordt. Indien dat voldoet aan de daarvoor gestelde criteria dan kan het lichtveld gemeten worden voor de bepaling van de veldgrootte.

*Systemen zonder lichtvizier (of bij afwijkend licht-röntgen):*

De grootte van het röntgenveld dient met behulp van het röntgenveld gemeten te worden met bijvoorbeeld een loodlineaal of het licht-röntgenfantoom

#### Methodiek 2

1. Leg ter bescherming een loodschort op de detector of BV
2. Plaats DAP meter onder diafragma
3. Zorg dat de volledige röntgenbundel door het meetinstrument valt

#### Methodiek 1 + 2

1. Kies handbelichting
2. Herhaal de meting voor verschillende protocollen en kV's (zodat het hele bereik van klinisch gebruikte buisspanningen wordt gemeten) en lees telkens de DAP waarde af van het systeem.

### 4.4.5 Analyse en interpretatie

Vergelijk de gemeten DAP waarden met de door het systeem gegeven DAP waarden.

### 4.4.6 Grenswaarden

Methodie	DAP
Berekende DAP	$\leq \pm 10\%$
Gemeten DAP	$\leq \pm 25\%$

De nauwkeurigheid van een gemeten DAP mag 15% groter zijn dan een berekende DAP, omdat een DAP meter gevoelig is voor omgevingsfactoren. Een berekende DAP wordt daarentegen gebaseerd op buisspanning, totale filtratie, buisstroom en stand van de lamellen (veldgrootte) en de grenswaarde kan daarmee strakker worden gesteld.

#### **4.4.7 Aanvullende en alternatieve controles**

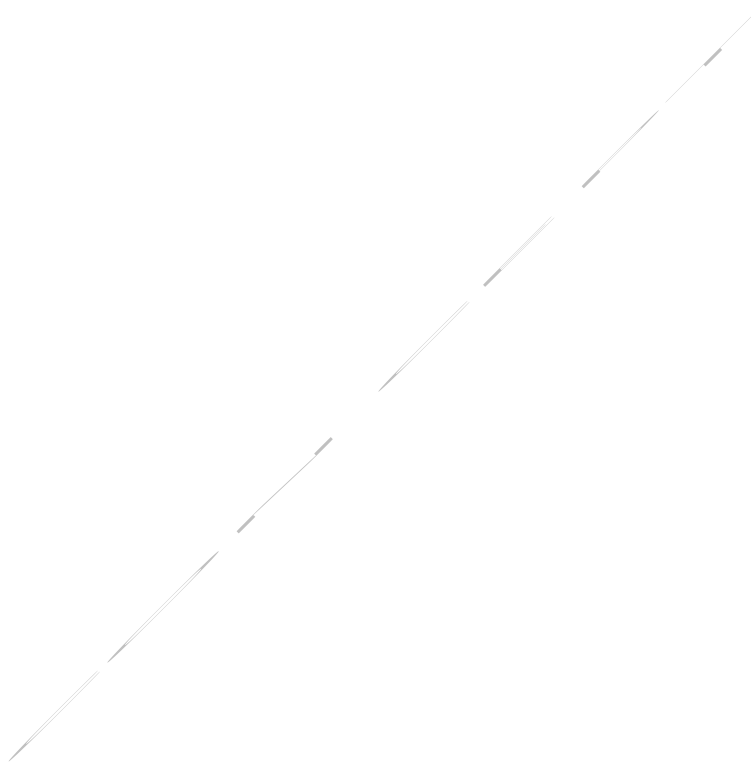
Geen

#### **4.4.8 Valkuilen en kanttekeningen**

1. Correcte bepaling van veldgrootte op de plaats waar meetinstrument zich bevindt.
2. Let op eenheden van zowel systeem als van de dosismeter.

#### **4.4.9 Referenties**

- draft EC RP91update2009 rapport, die halen het uit IEC2000A en B





## 4.5 AEC prestatie

### Exposure Index afregeling

#### 4.5.1 Inleiding en rationale

De dosis op de detector is niet eenduidig terug te vertalen naar beeldkwaliteit; in termen van SNR en CNR. Toch is het vanuit de patiëntdosis belangrijk om te weten wat de detectordosis van een opname is geweest. De Exposure Index (EI) geeft de dosis van de detector weer in een getal. Als de EI wordt afgeregeld conform IEC 62494-1 dan is de EI gedefinieerd als 100 keer de dosis op de detector (uitgedrukt in mGy), bij de bundelkwaliteit beschreven in IEC 62494-1. Deze test heeft tot doel te controleren of de relatie tussen EI en detectordosis correct is.

#### 4.5.2 Frequentie

Deze test is vereist bij acceptatie en dient te worden uitgevoerd bij vervanging van de buis. De AEC dosisaafregeling wordt direct getest met QC light. De verantwoorde minimum frequentie van uitvoering is bij vervanging van de AEC componenten en vervanging van de detector, mits de QC light test wordt uitgevoerd. Is dit niet het geval, dan dient de test tevens halfjaarlijks te worden uitgevoerd.

#### 4.5.3 Benodigde apparatuur, software, fantomen en bronnen

Type	Omschrijving	Opmerking
Meetapparatuur	Dosimeter of ionisatiekamer	

#### 4.5.4 Methode

1. Verwijder zoveel mogelijk als absorbermateriaal tussen röntgenbuis en detector, zoals rooster, tafelmattas e.d.
2. Als het rooster niet wordt verwijderd moet de meetwaarde gecorrigeerd worden voor de verzwakkingswaarde van het rooster
3. Leg het meetinstrument op de detector (niet boven een meetcel, zodat de absorptie van het meetinstrument niet wordt meegenomen in de AEC terugkoppelloop)
4. Kies 70 kV, klein focus en geen toegevoegde filtratie (0 mm Al)
5. Zet veldgrootte op 43 × 35 cm (detector volledig bestraald)
6. Plaats 21-25 mm Al fantoom onder diafragma
7. Maak opname met AEC, middenveld
8. Noteer gegeven mAs
9. Noteer EI-waarde weergegeven op modaliteit
10. Schakel over op handbelichting
11. Leg meetinstrument op tafel in centraalstraal
12. Maak voor controle van de lineariteit opnamen met
  - 1) helft van genoteerde mAs
  - 2) verdubbeling van genoteerde mAs
13. Noteer de waarde van het meetinstrument (mGy) en EI-waarde weergegeven op de modaliteit

##### Opmerking:

Indien de EI afregeling van losse detectoren zonder AEC worden getest, noteer dan de mAs waarvoor de dosis op de detector gelijk is aan 2.5mGy bij 70kV. De Exposure Index moet dan 250 zijn. Denk hierbij aan een eventuele correctie voor absorbers als bescherming rondom de detector.

#### 4.5.5 Analyse en interpretatie

Vergelijk de berekende EI met de EI weergegeven op de modaliteit. Hierbij is de berekende EI de (voor absorbers gecorrigeerde; zie opmerking in methodesectie) gemeten dosis op de detector in mGy×100.

#### 4.5.6 Grenswaarden

Verschil in (gecorrigeerd)gemeten EI en weergegeven EI ≤ 10%

#### 4.5.7 Aanvullende en alternatieve controles

Deze meting geeft informatie over de dosis waarbij de AEC 'afslaat', maar er worden geen eisen aan gesteld. Tijdens het afregelen van het systeem voor beoogd gebruik, waarbij de patiëntdosis getoetst wordt aan de gestelde DRNs kunnen hier eisen aan worden gesteld.

#### 4.5.8 Valkuilen en kanttekeningen

De gemeten dosiswaarde op de tafel moet worden gecorrigeerd voor de absorptie tussen meetinstrument en detector (tafel, meetcellen automaat, beschermplaat detector). Als die niet bekend zijn, kan de tafelblad absorptie worden gemeten, de absorptie van het rooster is meestal bekend, de absorptie van de andere materialen is heel klein.

De door het systeem gerapporteerde EI kan anders zijn gedefinieerd dan in IEC 62494-1. Ga dan na welke formule in plaats van detectordosis in mGy x 100 gebruikt moet worden.

#### 4.5.9 Referenties

- IEC 62494-1
- AAPM TG 116 report

## 4.6 Vergelijking AEC cellen

### 4.6.1 Inleiding en rationale

De controle van de dosisafregeling van de detector wordt uitgevoerd bij 1 meetcel (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). Het is belangrijk om te controleren of de andere meetcellen ook correct zijn afgeregeld.

### 4.6.2 Frequentie

Deze test is vereist bij acceptatie en dient te worden uitgevoerd bij vervanging van de buis. De vergelijking van de AEC cellen wordt direct getest met QC light, op 2 buisspanningswaarden. De verantwoorde minimum frequentie van uitvoering is bij vervanging van AEC componenten en vervanging van de detector, mits de QC light test wordt uitgevoerd. Is dit niet het geval, dan dient de test tevens halfjaarlijks te worden uitgevoerd.

### 4.6.3 Benodigde apparatuur, software, fantomen en bronnen

Type	Omschrijving	Opmerking
Fantoom	21mm Al blok	

### 4.6.4 Methode

1. Stel een klinisch gebruikte SID afstand in, met rooster geplaatst.
2. Kies 71 kV, klein focus en geen toegevoegde filtratie (0 mm Al)
3. Zet veldgrootte op 43 × 35 cm (detector volledig bestraald)
4. Plaats 21 mm Al fantoom (=calibratie fantoom) onder diafragma
5. Maak opname met AEC: middenveld
6. Noteer gegeven mAs, deze waarde geldt als referentie mAs
7. Kies een andere meetcel; maak opname en noteer mAs
8. Herhaal dit voor alle meetcellen
9. Vergelijk de metingen van de AEC velden, houdt hierbij rekening met de fabrikant specifieke afregeling.

### 4.6.5 Valkuilen en kanttekeningen

1. Onduidelijkheid over welke meetcel er is gebruikt.
2. Slecht functionerend rooster
3. Verkeerde SID afstand gebruikt bij een gefocuseerd rooster

### 4.6.6 Analyse en interpretatie

Bereken het percentuele verschil van de meetwaarden (mAs) van de perifere meetcellen met de meetwaarde (mAs) van het middenveld.

### 4.6.7 Grenswaarden

Verskil in meetwaarden t.o.v. referentie  $\leq 15\%$ . Hierbij is de referentie de mAs zoals deze voor het middenveld wordt gemeten. De eis voor de vergelijking van de verschillende AEC velden hangt af van de fabrikant.

### 4.6.8 Aanvullende en alternatieve controles

Voor een aparte wandbucky kan het zinvol zijn om deze metingen op 2 SID afstanden uit te voeren i.v.m. de uitlijning van het rooster.

### 4.6.9 Valkuilen en kanttekeningen

De fabrikanten hebben een verschillende filosofie over de afregeling van de meetcellen. Philips regelt de buitenste meetcellen hoger af dan de centrale meetcel. Andere firma's regelen alle meetcellen gelijk af.

#### **4.6.10 Referenties**

- IEC 62494-1
- AAPM TG 116 report

## 4.7 Homogeniteit en artefacten

### 4.7.1 Inleiding en rationale

Inhomogeniteiten (artefacten) zijn een veel voorkomende bron van technische problemen in de digitale radiologie. Hierbij hebben meerdere typen artefacten karakteristieken van verdachte structuren en kunnen een misdiagnose veroorzaken.

In deze test wordt een opname gemaakt van een homogeen fantoom om te controleren op inhomogeniteiten in het beeld die kunnen ontstaan in de gehele keten van de beeldvorming (inclusief de uitlezing van de detector). In de detector wordt een correctie toegepast om alle pixels dezelfde grijswaarde te geven bij homogene belichting, de zogenaamde flatfield calibratie. Wanneer deze correctie niet correct is, zullen inhomogeniteiten zichtbaar worden.

### 4.7.2 Frequentie

Deze test is vereist bij acceptatie en dient te worden uitgevoerd indien er problemen zijn of bij vervanging van de detector. De test maakt geen onderdeel uit van QC light.

### 4.7.3 Benodigde apparatuur, software, fantomen en bronnen

Type	Omschrijving	Opmerking
Fantoom	25mm Al of 1-2mm Cu	
Software	Programma voor meting gemiddelde pixelwaarde en standaarddeviatie	Bv. PACS of ImageJ

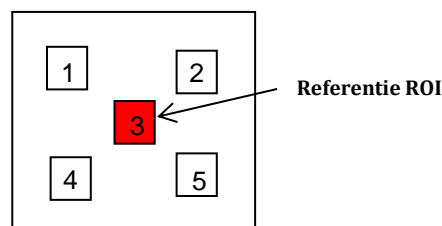
### 4.7.4 Methode

1. Plaats het fantoom onder het diafragma
2. Kies - indien mogelijk - een opnameprotocol zonder post-processing
3. Maak bij 70kV een opname zonder rooster, waarbij de automaat is ingeschakeld
4. Maak bij 70kV een opname met rooster, waarbij de automaat is ingeschakeld

### 4.7.5 Analyse en interpretatie

Controleer van het beeld de homogeniteit door op vijf verschillende plaatsen in het beeld een ROI te analyseren. Bepaal daarin de gemiddelde pixelwaarde en standaard deviatie (SD) en bereken de SNR. Vergelijk deze waarden.

1. Controleer van het beeld de homogeniteit door op vijf verschillende plaatsen in het beeld een ROI met een grootte van  $\pm 100 \times 100$  pixels te analyseren, waarvan een de referentie ROI is. De configuratie is hierbij gelijk aan de situatie geschetst in figuur 1. Het wordt aangeraden de andere ROI's op 1 cm van de rand van het beeld te positioneren.
2. Bij grotere detectoren is er relatief gezien een grotere inhomogeniteit dan bij kleinere detectoren door divergentie van de röntgenbundel. Voor detectoren groter dan  $30 \times 30 \text{ cm}^2$  dient eveneens de homogeniteit in vijf ROI's ( $\pm 100 \times 100$  pixels) bepaald te worden waarvan het centrum plus of min 15cm in horizontale en verticale richting ligt t.o.v. het centrum van de detector. De configuratie is hierbij gelijk aan de situatie geschetst in figuur 1.
3. Bepaal in iedere ROI de gemiddelde pixelwaarde
4. Bepaal in iedere ROI de standaard deviatie (SD)



**Figuur 1** Positionering ROI's en aanduiding referentie ROI

Bij zichtbare inhomogeniteiten:

- Draai het fantoom en herhaal de meting, hiermee controleer je of de inhomogeniteiten worden veroorzaakt door inhomogeniteiten in het fantoom.

- Positioneer de röntgenbuis verticaal en maak een opname. Het heel effect kan immers leiden tot inhomogeniteiten, die niet worden veroorzaakt door de detector.
- Indien mogelijk, vergelijk de resultaten met de resultaten van de andere detector in de kamer (wand/tafel).

Wanneer de inhomogeniteiten blijven moet het systeem opnieuw gekalibreerd worden.

#### 4.7.6 Grenswaarden

Er mogen geen storende artefacten zichtbaar zijn in het beeld

Parameter	Grenswaarde
Gemiddelde digitale waarde in iedere ROI	< 10% van globaal gemiddelde
Standaarddeviatie (SD) in iedere ROI	<5% van gemiddelde pixelwaarde in desbetreffende ROI

#### 4.7.7 Aanvullende en alternatieve controles

Indien afwijkingen gevonden worden kan met gebruik van dezelfde beelden een nadere ruisanalyse in het frequentiedomein uitgevoerd worden door bepaling van het Noise Power Spectrum (NPS). Hiervoor kan gebruik worden gemaakt van de COX plugin van ImageJ.

#### 4.7.8 Valkuilen en kanttekeningen

Let op dat de bucky schoon is en het fantoom ook schoon is en geen diepe krassen heeft. Verder is het bekend dat het Heel effect invloed heeft op de homogeniteitsmeting. Controleer de richting van het Heel effect over de gemaakte opname.

#### 4.7.9 Referenties

- Literatuur: AAPM REPORT NO. 93
- KCare – protocol for the QA of DDR systems

## 4.8 Ghosting

### 4.8.1 Inleiding en rationale

Het geheugeneffect van de detector wordt bekeken. Op een lage dosis opname na een hoge dosis opname mag geen beeldresidu van de hoge dosis opname te zien zijn. Deze test heeft tot doel om vast te stellen of de detector goed wordt gewist voor een nieuwe opname.

### 4.8.2 Frequentie

Deze test is vereist bij acceptatie en dient te worden uitgevoerd indien er problemen zijn of bij vervanging van de detector. De test maakt geen onderdeel uit van QC light.

### 4.8.3 Benodigde apparatuur, software, fantomen en bronnen

Type	Omschrijving	Opmerking
Fantom	- Patiëntequivalent fantoom (16-32 cm perspex, 1.5-2.1 mm Cu, 25mm Al (patiëntequivalent fantoom)) - Plaatje lood	
Software	Programma waarin pixelwaardes kunnen worden uitgelezen	Bv. PACS of ImageJ

### 4.8.4 Methode

1. Voor deze test moet eerst een goede uniformiteit van het systeem zijn vastgesteld.
2. Indien het een CR systeem betreft moet de cassette voor en na deze test gewist zijn met een primary erasure.
3. Gebruik standaard focus-detector afstand (i.e. 120 cm voor tafel, 200 cm voor wand).
4. Gebruik de maximale bundelgrootte. Gebruik grid en groot focus. Geen AEC!
5. Plaats patiëntequivalent fantoom en bedek de rechter helft van de detector met plaatje lood
6. Maak een opname met standaard kVp in (75 kV voor tafel, 125 kV voor wand) en hoge mAs (100 mAs) en lees deze uit (flatfield of uniformity setting)
7. Maak meteen een nieuwe opname zonder loodplaat en met lage mAs (1 mAs), en lees deze uit (zelfde parameters)

### 4.8.5 Analyse en interpretatie

Vergelijk de pixelwaarde in de linker- en rechterkant van het lage mAs beeld; verschil mag niet meer dan 5% zijn (of gebruik de uniformiteitseis). Vergelijk de gemiddelde pixelwaarden in een ROI van 1-5 cm. Gebruik  $\text{afwijking} = 2 \cdot \text{ABS}(\text{ROI1} - \text{ROI2}) / (\text{ROI1} + \text{ROI2})$ .

### 4.8.6 Grenswaarden

Relatief verschil in pixelwaarde  $\leq 5\%$

#### Opmerkingen

Indien meer dan 5% verschil wordt gemeten kan met een reeks opnames worden bepaald wat de minimale tijd is die tussen de opnames moet zitten om ghosting uit te sluiten.

### 4.8.7 Aanvullende en alternatieve controles

In plaats van loodafdekking kan ook de bundelcollimator worden gebruikt: De hoge dosis opname moet dan worden gemaakt met een bundel gecollimeerd tot halve breedte en halve hoogte van de detector. De lage dosis opname gebeurt met niet-gecollimeerde bundel. De pixelwaarden in het gebied dat met hoge dosis niet was belicht moet dan vergeleken worden met die in het gebied dat nu twee keer belicht is.

### 4.8.8 Valkuilen en kanttekeningen

Bij gecollimeerde DR opnames kunnen pixelwaarden buiten het gecollimeerde gebied automatisch op "0" worden gezet. Deze controle werkt alleen goed als eerst is vastgesteld dat het systeem uniform is.

#### 4.8.9 Referenties

- IPEM 77
- KCare



## 4.9 Controle energierespons AEC

### 4.9.1 Inleiding en rationale

De response van een digitale detector is energie afhankelijk. De dosisafregeling van de meetcellen wordt uitgevoerd bij ISO beam conditie 2 (=70 kV, 21 mm Al filtratie). Deze test is ter controle of de energieafhankelijkheid wordt gecorrigeerd, bij gebruik van andere kV waarden en of de correctie wordt toegepast bij de opharding van het spectrum door absorptiemateriaal. De Exposure Index (EI) is evenredig met de air kerma die de detector zou hebben ontvangen onder een gestandaardiseerde beam conditie die zou hebben geleid tot dezelfde detectorresponse als de air kerma bij de gebruikte kV waarde en hoeveelheid absorptiemateriaal. De EI is dus een maat voor de detectorresponse. Het constant blijven van de beeldkwaliteit in termen van Signal to Noise Ratio (SNR) is belangrijk. Deze test heeft tot doel om te controleren of de energie afhankelijkheid is gecorrigeerd zodanig dat de SNR nagenoeg constant blijft. Tevens wordt de waarde van de Exposure Index bij gebruik van klinische parameters (kV en absorberdikte) gecontroleerd.

### 4.9.2 Frequentie

Deze test is vereist bij acceptatie en dient te worden uitgevoerd indien er problemen zijn of bij vervanging van de detector. De test maakt geen onderdeel uit van QC light.

### 4.9.3 Benodigde apparatuur, software, fantomen en bronnen

Type	Omschrijving	Opmerking
Fantoom	Perspexplaten van verschillende dikten (8 – 28 cm) afmeting minimaal 30*30 cm	Zie tabel hieronder voor benodigde perspex dikten
Software	Programma waarin ROI's kunnen worden getekend	Bv. PACS of ImageJ

### 4.9.4 Methode

1. Plaats fantoom van 8cm perspex op tafel
2. Stel SID in op afstand zoals die standaard bij klinische opnamen wordt gebruikt
3. Stel veldgrootte in op 10×10cm
4. Maak een opname met 60kV, met de middelste meetcel en klein focus. Zet hierbij de toegevoegde filtratie op datgene dat standaard wordt gebruikt. Noteer de mAs, DAP en detectorresponse (EI) waarde (waarbij de EI niet is gedefinieerd aan de hand van de energierespons van de gehele detector, om geen randeffecten mee te nemen).
5. Bepaal de gemiddelde pixelwaarde en standaarddeviatie (sd) in een ROI van 5x5cm, gepositioneerd in het centrum van het beeld.
6. Herhaal de meting voor de onderstaande diktes perspex en kV waarden. Houdt hierbij de toegevoegde filtratie constant.

PMMA [cm]	kV	Noteren			meten	
		mAs	DAP	Detectorresponse (EI)	Gem. Pixelwaarde	sd
8	60					
8	70					
12	60					
12	70					
16	70					
16 ref.*	77					
20	70					
20	85					
24	85					
24	96					

28	102			
28	125			

\* de meting met 16 cm PMMA en 77kV wordt gebruikt als referentie meting

#### 4.9.5 Analyse en interpretatie

1. Controleer of de EI waarde (over alle perspex diktes en bijbehorende kV waarden) nagenoeg constant blijft.
2. Bereken in elke opname de SNR:

$$SNR = \frac{\text{gemiddelde pixelwaarde}}{SD}$$

3. Controleer of over alle perspex diktes en bijbehorende kV waarden wordt voldaan aan de relatie tussen SNR en EI (zie 4.9.6).

#### 4.9.6 Grenswaarden

Parameter	Grenswaarde
EI	10% afwijking t.o.v. referentie*
SNR versus EI	lineaire correlatie met $r^2 > 0.90$

\* de meting met 16 cm PMMA en 77kV wordt gebruikt als referentie meting

#### 4.9.7 Aanvullende en alternatieve controles

Het is belangrijk dat de dosisafregelingen gecontroleerd is en in orde is bevonden. Alleen de afregeling van de middelste meetcel wordt op deze manier gecontroleerd. Belangrijk is dat de meetcellen ook onderling worden vergeleken (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**).

#### 4.9.8 Valkuilen en kanttekeningen

Het kan voorkomen dat bij een bepaalde buisspanning in een deel van het spectrum zit waarvoor een K-edge optreedt. Hierdoor kan fluctuatie van de output optreden. Kies in dat geval een spanning die dicht bij de desbetreffende buisspanning ligt, maar waarvoor de output niet meer zo afwijkend is t.o.v. de andere meetwaarden.

De door het systeem gerapporteerde EI kan anders zijn gedefinieerd dan in IEC 62494-1.

#### 4.9.9 Referenties

- IEC 62494-1
- AAPM TG 116 report (met name hoofdstuk IX)

## 4.10 Modulation Transfer Function

### 4.10.1 Inleiding en rationale

De MTF beschrijft hoe het contrast van een beeld(component) wordt overgedragen als functie van de spatiële frequentie. De MTF geeft een maat voor de kleinst mogelijke details die zichtbaar zijn in beelden. De MTF wordt tijdens een acceptatie gemeten en daarna wordt de gemeten waarde als referentie meting gebruikt voor volgende metingen, hiermee kan de signaaloverdracht van een systeem worden gevolgd in de tijd. Het doel van deze meting is het bepalen van de (pre-sampled) MTF.

### 4.10.2 Frequentie

Deze test kan optioneel worden uitgevoerd bij acceptatie en kan optioneel uitgevoerd worden bij problemen, vervanging van de detector en/of bij vervanging van de buis. De test maakt geen onderdeel uit van QC light.

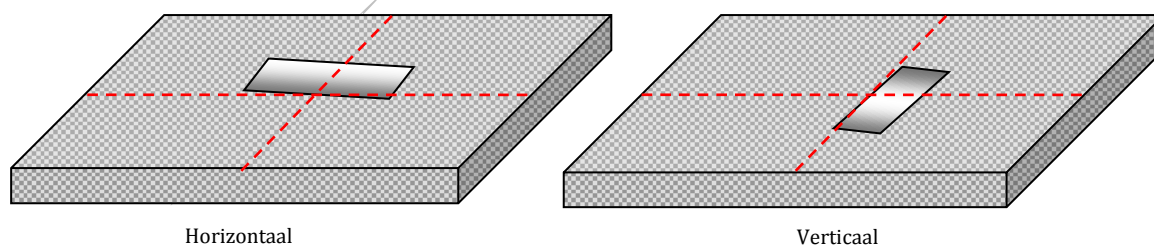
### 4.10.3 Benodigde apparatuur, software, fantomen en bronnen

Type	Omschrijving	Opmerking
Fantom	2 koper plaatjes van ongeveer 15 x 15 cm <sup>2</sup> , dikte ong. 2mm.	Van het plaatje dat gebruikt wordt op detector dient de rand "netjes" recht te zijn. De afmeting moet voldoende groot zijn voor goede nauwkeurigheid
Software	t.b.v. berekening MTF	Bv. ImageJ, of software die gedownload kan worden via <a href="http://deckerd.mc.duke.edu/imagequality.html">http://deckerd.mc.duke.edu/imagequality.html</a>

### 4.10.4 Methode

Een eenvoudige methode voor het bepalen van de MTF is volgens de methode van Samei (zie Samei, 1998).

1. Plaats 1 koper plaatje voor de buis, zodanig dat het gehele beeld is afgedekt
2. Leg een koperplaatje schuin in het midden van het veld onder een hoek zodat een edge spread functie gemeten kan worden. Hieruit kan vervolgens de line spread functie en daaruit de MTF bepaald worden via Fourier transformatie.



**Figuur 2** Schematische weergave van plaatsing koper plaatje voor de MTF meting

3. Kies een protocol zonder post-processing
4. Maak een opname met de grootste veldgrootte in het "gewenste" protocol, waarbij de AEC is ingeschakeld.
5. Herhaal de meting voor de verticale stand van het MTF fantoom
6. Bereken de MTF met behulp van de software

Het plaatje wordt schuin gelegd om de pre-sampled MTF te verkrijgen. Door het plaatje schuin op de pixelmatrix te leggen wordt de respons oversampled om een goede schatting te maken van de respons op een stapfunctie, waarbij het effect van sampling uitgeschakeld wordt.

#### 4.10.5 Analyse en interpretatie

Met behulp van software voor de analyse van MTF wordt de rand geselecteerd en de Edge Spread Function (ESF) bepaald. Hieruit volgt de Line Spread Function (LSF):

$$\text{LSF}(x) = \frac{d}{dx} \text{ESF}(x)$$

De presampled MTF wordt verkregen door een Fourier Transformatie van de LSF:

$$\text{MTF}(u) = |F[\text{LSF}(x)]|$$

1. Bereken de MTF met de software. Zie (Donini, 2014) voor een beschrijving van hoe de MTF te bepalen in ImageJ.
2. Er wordt aangeraden de 50%, 10% en 2% MTF waarde te noteren.

#### 4.10.6 Grenswaarden

MTF specificaties komen niet voor in de specificaties van fabrikanten.

#### 4.10.7 Aanvullende en alternatieve controles

De MTF kan alternatief worden bepaald gebruik makend van het IQ X MTF fantoom. Deze meting staat beschreven in bijlage 2.

Een eenvoudig, semi-kwantitatief alternatief is het visueel beoordelen van een opname van een lijnenparenfantoom.

#### 4.10.8 Valkuilen en kanttekeningen

Geen

#### 4.10.9 Referenties

- E. Samei and M.J. Flynn, 1998, *A method for measuring the presampled MTF of digital radiographic systems using an edge test device*, Med. Phys 25, 102-13
- B. Donini e.a., 2014, *Free software for performing physical analysis of systems for digital radiography and mammography*, Med. Phys. 41(5)

## 4.11 Overeenkomst röntgen-detector

### 4.11.1 Inleiding en rationale

Naast een correcte overeenkomst van het licht-röntgen dient ook de centraalstraal van de röntgenbundel overeen te komen met het centrum van de detector. Deze overeenkomst wordt in deze test getest.

### 4.11.2 Frequentie

Deze test is vereist bij acceptatie en dient te worden uitgevoerd bij vervanging van de buis, vervanging van het diafragma. De test maakt direct onderdeel uit van QC light; wanneer dit niet wordt toegepast dient de test tevens halfjaarlijks te worden uitgevoerd.

### 4.11.3 Benodigde apparatuur, software, fantomen en bronnen

Type	Omschrijving	Opmerking
Fantoom	Een fantoom met bekende afmetingen t.o.v. het gemarkeerde centrum	- Bv. Perspex of Normi-13 - Het fantoom dient een marker te hebben die het centrum van het fantoom aangeeft
Software	Programma waarin pixelcoördinaten kunnen worden afgelezen	Bv. PACS of ImageJ

### 4.11.4 Methode

1. Leg het fantoom dusdanig dat het centrum van het fantoom overeenkomt met centrum van de detector
2. Plaats de röntgenbuis centraal boven het fantoom, zodanig dat SID = 1m
3. Stel de grootst mogelijke veldgrootte in, zodat de gehele detector wordt bestraald

### 4.11.5 Analyse en interpretatie

1. Bepaal met de software de locatie (x,y) van het centrum van het fantoom
2. Bepaal met de software de locatie (x,y) van het centrum van de detector
3. Bereken  $\Delta x$  en  $\Delta y$ :

$$\Delta x = |x_{\text{centrum fantoom}} - x_{\text{centrum detector}}|$$

$$\Delta y = |y_{\text{centrum fantoom}} - y_{\text{centrum detector}}|$$

### 4.11.6 Grenswaarden

parameter	Grenswaarde
$\Delta x$	$\leq \pm 1\%$ van SID
$\Delta y$	$\leq \pm 1\%$ van SID

### 4.11.7 Aanvullende en alternatieve controles

Geen

### 4.11.8 Valkuilen en kanttekeningen

Geen

### 4.11.9 Referenties

Geen

## 4.12 Overeenkomst licht-röntgen en veldgrootte

### 4.12.1 Inleiding en rationale

Deze test heeft tot doel om te bepalen of het lichtvizier (indien aanwezig) correct uitgelijnd is met de Röntgenbundel. Dit ter voorkomen van instelfouten bij instelling op geleide van lichtvizier.

### 4.12.2 Frequentie

Deze test is vereist bij acceptatie en dient te worden uitgevoerd bij vervanging van de buis, vervanging van het diafragma en/of vervanging van het lichtvizier. De test maakt direct onderdeel uit van QC light; wanneer dit niet wordt toegepast dient de test tevens halfjaarlijks te worden uitgevoerd.

### 4.12.3 Benodigde apparatuur, software, fantomen en bronnen

Methode	Type	Omschrijving	Opmerking
1	Fantoom	Lichtröntgen fantoom	Bv. Normi-13
2	Overig	4 (grote) paperclips of muntjes	
3	Overig	Unfors lichtröntgen liniaal	

### 4.12.4 Methode

#### Methodiek 1

1. Leg het lichtröntgenfantoom op de grond of op de tafel
2. Plaats de röntgenbuis centraal boven het fantoom, zodanig dat SID = 1m
3. Diafragmeer op een van de aangegeven velden van het lichtröntgenfantoom. De afmetingen van het desbetreffende veld dienen bekend te zijn.
4. Maak een opname en controleer de röntgenveldgrootte op het fantoom.

#### Methodiek 2

1. Centreer röntgenbuis boven detector (of fosforplaat)
2. Stel met het lichtvizier een bepaalde veldgrootte in waarvan de afmetingen bekend zijn
3. Leg de paperclips in de lengterichting tegen de grenzen van het lichtveld aan (alle 4 zijden)
4. Markeer voor alle zijden de positie van de paperclips
5. Of leg de muntjes in de 4 hoeken van het lichtveld
6. Maak een opname
7. Controleer op de opname de weergave van de paperclips of muntjes op het röntgenbeeld
8. Meet de afstand tussen de markeringen (in zowel x als in y-richting)

#### Methodiek 3

1. Leg de lichtröntgen liniaal op de grond of op de tafel
2. Plaats de röntgenbuis boven het fantoom, zodanig dat SID = 1m
3. Stel een bepaalde veldgrootte in
4. Leg de lichtröntgenliniaal op de rand van het lichtvizier
5. Markeer de positie van de liniaal
6. Maak een opname en controleer de röntgenveldgrootte op het fantoom.
7. Herhaal dit voor alle zijden van het lichtvizier
8. Meet de afstanden op tussen de markeringen (zowel in x als in y-richting)

### 4.12.5 Analyse en interpretatie

Op alle zijden visueel afstanden bepalen. Eventueel kwantitatief vaststellen of er wel of niet sprake is van een afwijking ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ).

### 4.12.6 Grenswaarden

Parameter	Grenswaarde
$\Delta x$ licht-röntgen	$\leq \pm 1\%$ van SID
$\Delta y$ licht-röntgen	$\leq \pm 1\%$ van SID

#### **4.12.7 Aanvullende en alternatieve controles**

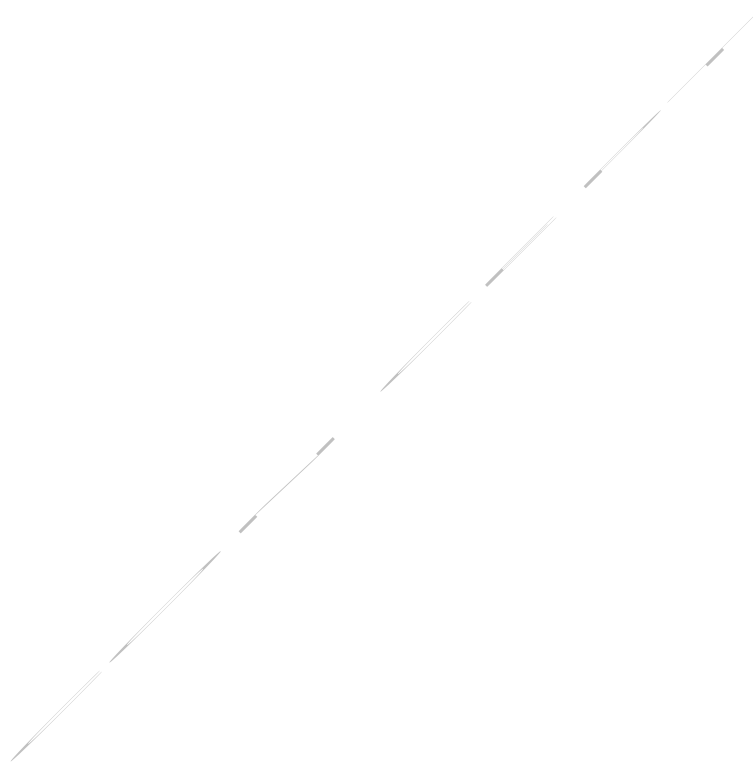
Indien met het lichtvizier de detector duidelijk te zien is, kan na een goede overeenkomst licht-röntgen ook een snelle controle van de overeenkomst röntgen-detector (zie 4.11) worden uitgevoerd met het lichtvizier.

#### **4.12.8 Valkuilen en kanttekeningen**

Zowel visueel als kwantitatief vast te stellen. Als het licht-röntgen niet 100% overeenkomt, dan dient hier rekening mee te worden gehouden bij de veldgrootte bepaling.

#### **4.12.9 Referenties**

- IPEM 77
- AAPM 74



## 4.13 QC Light

### 4.13.1 Inleiding en rationale

Onderdeel van de kwaliteitsborging van beeldvormende diagnostiek, is, de bewaking van een constante beeldkwaliteit waarbij een optimum wordt gezocht tussen dosis en beeldkwaliteit. De meeste bucky opnamen worden vervaardigd met behulp van de Automatic Exposure Control (AEC). Deze AEC regelt de intreedosis op de detector bij een bepaalde absorberdikte. Digitale verwerking zorgt ervoor dat de beeldhelderheid op de monitor constant blijft. Het is belangrijk om de regeling regelmatig te controleren. De QC-Light test is een ketentest. In 2004 zijn de QC-Light testen geïntroduceerd in Nederland. Daarbij is de filosofie en achtergrond van de QC-Light testen uitgelegd.

Categorie	Parameter	onderdeel QC Light <sup>1</sup>	Toelichting	Toelichting geldig voor methode 1 en/of 2
Dosisafregeling	Bundelkwaliteit kVp; nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid	ja; ib**	Bij een vaste geometrie, afregeling (AEC) en absorberdikte zal bij een vaste kV keuze de exposure (mAs) constant zijn. Dus bij afwijking van de mAs-waarde kan dit wijzen op een afwijking in de kV-waarde (onderdeel van bundelkwaliteit). De betrouwbaarheid wordt groter als er met meerdere kV's wordt getest.	1+2
	Bundel kwantiteit: output lineariteit mGy/mAs	ja; ib als niet output wordt gemeten	Bij een vaste geometrie, afregeling (AEC) en absorberdikte zal bij een vaste kV keuze de exposure (mAs) constant zijn. Dus bij afwijking van de exposure (mAs) kan dit wijzen op een afwijking in de output (mGy/mAs; ook onderdeel van bundelkwaliteit). De betrouwbaarheid wordt groter als er met meerdere kV's wordt getest.	1+2
	Halfwaardedikte (HWD)	ja; ib als niet output wordt gemeten	Bij een vaste geometrie, afregeling (AEC) en absorberdikte zal bij een vaste kV keuze de exposure (mAs) constant zijn. Dus bij afwijking van de exposure (mAs) kan dit wijzen op een afwijking in de halfwaardedikte (ook onderdeel van bundelkwaliteit). De betrouwbaarheid wordt groter als er met meerdere kV's wordt getest.	1+2
	Dosis oppervlakte product (DAP)	ja; ib als niet output wordt gemeten	Bij een vaste geometrie, afregeling (AEC) en absorberdikte zal bij een vaste kV keuze de exposure (mAs) constant zijn. Dus bij afwijking van de output (bundelkwaliteit) geeft dit variatie in de DAP-waarde. De DAP-waarde kan ook afhangen van de veldgrootte. De betrouwbaarheid wordt groter als er met meerdere kV's wordt getest.	1+2
	AEC dosisafregeling EI-afregeling	ja, db	De afregeling wordt getest volgens protocol van IEC 62494-1	1
	vergelijking AEC cellen	ja, ib op 2 kV waarden	De AEC wordt per detector getest voor 3 configuraties aan meetcellen. Onderlinge verschillen worden hierdoor zichtbaar in termen van pixelwaarden.	1
Beeldkwaliteit	Homogeniteit en artefacten	ja; db	De pixelwaardes worden bepaald in 5 ROI's	1+2
	Ghosting	nee		
	Controle energierespons AEC; SNR en EI	ja, ib op 2 kV waarden	De controle op energierespons houdt in dat de correlatie tussen SNR en EI bij verschillende kV waarden wordt getest. Dit wordt getoetst voor 2 verschillende kV waardes en 1 vaste absorberdikte (fantom).	1 (+2)
	Contrast Detail – MTF	nee		
Mechanisch	Veldgrootte (samengevoegd met licht röntgen)	ja; db	Als met een veldgrootte kleiner dan de maximale detectorformaat wordt gewerkt, kan dit ook worden gecontroleerd. Dit kan ook worden	1



Overeenkomst röntgen-detector	ja; db	gedaan door DAP-waarde vergelijk. Als met een veldgrootte kleiner dan de maximale detectorformaat wordt gewerkt, kan dit ook worden gecontroleerd.	1
Overeenkomst licht -röntgen	ja; db	Als met een veldgrootte kleiner dan de maximale detectorformaat wordt gewerkt, kan dit ook worden gecontroleerd.	1

#### 4.13.2 Frequentie

De referentiewaarden van de QC-Light testen moeten worden bepaald nadat het systeem is geaccepteerd en is afgeregeld voor klinische gebruik. Daarna kan de test worden uitgevoerd met een minimale frequentie van een keer per maand. De test kan daarnaast nog worden uitgevoerd bij storingsmeldingen en bij klinische vrijgave na onderhoud en storings.

#### 4.13.3 Methode 1: Benodigde apparatuur, software, fantomen en bronnen


De methode die hier wordt besproken is specifiek bedoeld voor systemen uitgerust met een digitale detector en waarbij de detectordosisafregeling voldoet aan de IEC 62494-1 International standard. Hierin wordt de voorwaarden en kalibratie van de Exposure Index (EI) aangegeven. De meting kan regulier worden uitgevoerd.

Deze meting behoort ook tot de QC testen zoals deze is vastgelegd met Philips. De technici voeren de test uit na preventief en correctief onderhoud, zodat de afregeling van het systeem kan worden geverifieerd worden. Hieronder valt ook de dosisafregeling van de digitale detector die conform de IEC 62494-1 International standard uitgevoerd.

Type	Omschrijving	Opmerking
Fantom	- Normi 13 fantoom - Een verzwakkingsfilter	- Onderstaand protocol is geschreven bij gebruik van beschreven fantoom - 25 mm Aluminium
Software	Er kan gebruik worden gemaakt van de WAD software voor automatische bepalingen	De bepalingen kunnen ook worden uitgevoerd op het acquisitiesysteem

#### 4.13.4 Methode 1

##### Tafel (bij een ééndetectorkamer het protocol voor Wand volgen)


1. Centreer de röntgen buis ten opzichte van de detector (handmatig of APR knop CSP).
  2. Controleer de buis hoogte
  3. **Controleer of er geen extra interne voorfiltratie is gekozen (0 mm Al).**
  4. Controleer of het diafragma licht veld juist is ingesteld (28 x 28 cm).
  5. Verwijder matrasje
  6. Positioneer het test fantoom DIGI-13 zodanig, dat de kopertrap (in het fantoom) aan de anode zijde van de buis ligt. Centreer het fantoom ten opzichte van het diafragma lichtveld.
- 
7. Plaats het verzwakkingfilter 25mm Al in de accessoire rails van het diafragma.
  8. Maak de opname "QC tafel fantoom" (drie amplimaat meetvelden boven zijde, 70KV, klein focus)

NB: Het is erg handig als de in het QC protocol genoemde parameters (zoals kV, AEC cellen, SID focusgrootte, veldgrootte) zijn voorgeprogrammeerd in het systeem.

9. Verwijder het NORMI 13 fantoom van tafel.
10. Controleer of er geen interne voorfiltratie in diafragma gekozen is (0 mm Al).
11. Controleer of het diafragma licht veld juist is ingesteld (volledig open).
12. Maak de opname "QC tafel artefacten" (middelste amplimaat meetveld, 70KV, klein focus
13. Controleer EI
  - EI\_s → toegestane marge is:
    - $\pm 5\%$  bij afregeling en
    - $\pm 10\%$  bij reguliere controle

NB: Voor het bepalen van de EI-waarde is het belangrijk dat er geen randeffecten (inhomogeniteiten aan de randen van de opname) worden meegenomen. Het gebied waarop de EI wordt bepaald moet daarom kleiner dan het opnameveld worden gezet.

### Wand

1. Centreer de röntgen buis ten opzichte van de detector (handmatig of APR knop CSP).
  2. Controleer de SID 150 cm.
  3. Controleer of er geen interne voorfiltratie in diafragma gekozen is (0 mm Al).
  4. Controleer of het diafragma licht veld juist is ingesteld (28 x 28 cm).
  5. Positioneer het test fantoom DIGI-13 zodanig, dat de kopertrap (in het fantoom) aan de anode zijde van de buis ligt.
  6. Controleer of het diafragma lichtveld gecentreerd is op het midden van de detector.
  7. Centreer het fantoom ten opzichte van het diafragma lichtveld.
- 
8. Monteer het verzwakkingfilter 25mm Al in de accessoire rails van het diafragma.
  9. Maak de opname "QC wand (top)" (drie amplimaat meetvelden, boven zijde, 70KV, klein focus
  10. Maak de opname "QC wand (bottom)" (drie amplimaat meetvelden, onder zijde, 125KV, klein focus,
  11. Verwijder het NORMI 13 fantoom van de wand
  12. Controleer of er geen interne voorfiltratie in diafragma gekozen is (0 mm Al).
  13. Controleer of het diafragma licht veld juist is ingesteld (43 x 43 cm).
  14. Maak de opname "QC wand artefacten" (middelste amplimaat meetveld, 70KV, klein focus
  15. Controleer EI
    - EI\_s → toegestane marge is:
      - $\pm 5\%$  bij afregeling en
      - 10% bij reguliere controle

#### 4.13.5 Benodigde apparatuur, software, fantomen en bronnen methode 2

Type	Omschrijving	Opmerking
Fantoom	Kwaliteitsfantoom Bv Perspex; koper; aluminiumblok de absorptiedikte moet eenzelfde absorberwaarde vertegenwoordigen als een gemiddelde patiënt (bijvoorbeeld ca ~ 20 cm PMMA, ~ 25 mm Al, ~ 1 mm Cu)	minimaal is opgenomen: - Homogeen deel - Geometrie controle; ter controle van licht/röntgen, veldgrootte, centrering bucky e.d.  Eventueel aangevuld • Laag contrast elementen • Contrasttrap • Resolutie fantoom

#### 4.13.6 Methode 2

1. Verwijder eventueel patiëntmatrasje
2. Stel de röntgenbuis in op de buckylade (tafel of wand)
3. Standaard afstand focus-film afstand voor tafelbucky en
4. Standaard afstand focus-film afstand voor wandbucky

NB: Bij een "ééndetector" statief wordt een opname in zowel horizontale als verticale positie gemaakt. (zoals klinisch gebruikelijk is en daarna zoals bij die eerdere metingen gebruikt)

5. Plaats de QC-cassette in de buckylade (tafel of wand). (dit kan zowel een fosforplaat zijn alsook een digitale detector (DR)).
6. Plaats het fantoom. Dit kan op de tafelbucky of voor de wandbucky, in het midden van het lichtveld, of direct voor het lichtdiafragma van de röntgenbuis
7. Diafragmeer een veldgrootte op de beeldplaat (fosfor, DR) van precies 25\*25 cm en markeer eventueel 2 tegenoverliggende hoekpunten.
8. Voeg zo nodig extra absorberend materiaal toe om tot de gewenste gesimuleerde patiëntdikte te komen
9. Kies de volgende belichtingsparameters:
  - klein focus
  - automatische belichting, midden veld én de beide buitenste velden
  - kies voor tafel: 73 kV en wand: 125 kV
  - kies correctiezwarting "0"
10. Maak de opname.
11. Noteer de volgende (meet)waarden:
  - mAs-waarde en indien mogelijk opnametijd [ms] (op schakeltafel)

#### Fosforplaat

1. identificeer fosforplaat
2. lees de fosforplaat uit. Gebruik daarvoor een uitlezing zonder "extra" postprocessing parameters.
3. Meet de basiswaarde op aangegeven meetplaats en noteer hiervan de waarde.

Voor meer informatie zie appendix 1 op NVKF site: <https://nvkf.nl/nl/document/qc-light-protocollen-pakket>

#### DR

1. identificeer opname, gebruik geen "extra" postprocessing parameters.
2. Beoordeel de opname op de onderstaande punten en noteer de "uitkomst"
  - Meet de veldgrootte op (25\*25 cm)
  - Controleer de centrering van de testplaat op afbeelding (trek diagonaal lijnen, afbeelding moet in "midden" van opname liggen)
  - Beoordeel de opname visueel op rasterstrep, overeenkomst licht/röntgen en homogeniteit
3. Meet de basiswaarde op aangegeven meetplaats en noteer hiervan de waarde.

Voor meer informatie zie appendix 1 op NVKF site: <https://nvkf.nl/nl/document/qc-light-protocollen-pakket>

#### **4.13.7 Analyse en interpretatie voor zowel methode 1 als 2**

De genoteerde waarden moeten allen voldoen aan de referentiewaarde, binnen de aangegeven marges.

#### **4.13.8 Aanvullende en alternatieve controles**

Bij geconstateerde afwijkingen moeten aanvullende metingen worden uitgevoerd.  
Welke metingen dat zijn, hangt af van de geconstateerde afwijking

#### **4.13.9 Valkuilen en kanttekeningen**

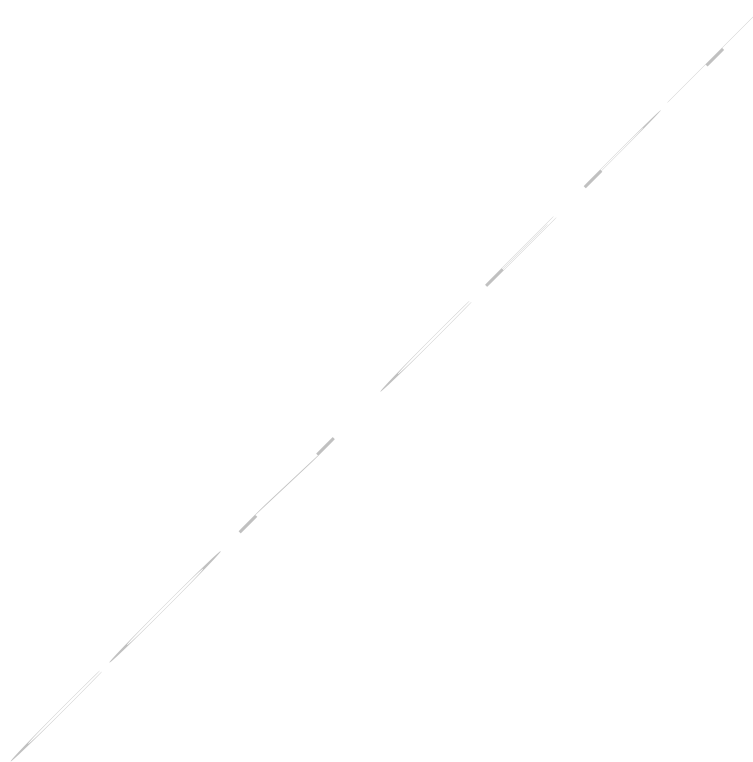
Geen

#### **4.13.10 Referenties**

- NVKF site QC Light (<https://nvkf.nl/nl/document/qc-light-protocollen-pakket>)
- IEC 62494-1

#### **4.14 Lekstraling**

Dit testprotocol is terug te vinden in het Document aanbevelingen Kwaliteitscontrole Doorlichting.



## BIJLAGE 1 Handmatige meting HWD

Let op: voor een goede HWD meting met de hieronder beschreven methodiek moet de output van de buis zeer stabiel zijn (< 1%).

1. Plaats een loodschort op de buckytafel
2. Plaats de dosimeter op het loodschort
3. Stel de Focus-detector afstand in op 100 cm
4. Centreer de röntgenbundel op de meter en collimeer de bundel zodat alleen de dosimeter wordt bestraald
5. Maak een opname met handmatige belichting, 80kV, 100mAs, focus-filter afstand 50cm.
6. Maak een opname zonder Aluminium bij bovenstaande instellingen en noteer de gemeten dosis
7. Herhaal deze nulmeting 3 keer en bereken de gemiddelde dosis en de helft van deze waarde.
8. Plaats 1mm Al in de houder vlak na de röntgenbuis, maak een opname en meet de dosis.
9. Herhaal de meting bij 2, 3, 4 en 5 mm Al
10. Bepaal tussen welke 2 diktes Aluminium de HWD zou moeten liggen.
11. Vul deze diktes in plus de bijbehorende doses die bij punt 7 en 8 gemeten zijn.
12. De Excel sheet berekent vervolgens de HWD volgens:

$$HWD = \frac{d_2 \cdot \ln\left(2 \frac{X_1}{X_0}\right) - d_1 \cdot \ln\left(2 \frac{X_2}{X_0}\right)}{\ln\left(\frac{X_1}{X_2}\right)}$$

Waarin  $X_0$  de gemiddelde waarde van de doses zonder verzwakkingmateriaal [mGy], en  $X_1$  en  $X_2$  de gemiddelde waarden van de doses [mGy] bij een aluminiumdikte van  $d_1$  [mm] respectievelijk  $d_2$  [mm] voorstellen.

## BIJLAGE 2 Contrast Detail MTF

### a. Inleiding en rationale

Bepalen van de overdrachtsfuncties: MTF, grensgevoeligheid en lokale gradiënt. Bovendien de grootte van het kleinste bit (LSB), de Nyquist frequentie in het objectvlak, de  $\mu_{\text{eff}}$  van aluminium en de  $\mu_{\text{eff}}$  van molybdeen. De MTF wordt bepaald van het gedigitaliseerde beeld en niet zoals bij de edge methode van een fictief beeld zonder digitalisatie. De selectieve meting van discrete frequenties leveren een zeer goede signaal-ruisverhouding van de meting.

De ruimtelijk afhankelijke grootheden worden in twee onderling loodrechte richtingen bepaald.

De gevoeligheid is zo groot dat gemeten kan worden onder klinische omstandigheden. Daardoor is de methode ook geschikt om procedures te optimaliseren: prestaties als functie van kVp, mAs, rooster gebruik, vergroting kunnen gemakkelijk worden bepaald. De grensgevoeligheid volgt uit de MTF en de reële signaal-ruisverhouding in het beeld.

- Met de MTF wordt de frequentie afhankelijke versterking bepaald van verzwakingsverschillen in de stralingsrichting.
- De grensgevoeligheid levert de frequentieafhankelijke contrastresolutie van het afbeeldende systeem.
- De lokale gradiënt is de versterkingsfactor voor geringe verzwakingsverschillen.

### b. Frequentie

Deze test kan optioneel worden uitgevoerd bij acceptatie en kan optioneel uitgevoerd worden bij problemen, vervanging van de detector en/of bij vervanging van de buis. De test maakt geen onderdeel uit van QC light.

### c. Benodigde apparatuur, software, fantomen en bronnen

Type	Omschrijving	Opmerking
Meetinstrument	IQ X MTF	
Software	Image Pro Plus	
Overig	- 1 Aluminium plaat $2 \times 20 \times 20 \text{ cm}^3$ - 2 Perspex platen ( $5 \times 20 \times 20 \text{ cm}^3$ )	

### d. Methode

1. Plaats 100 mm PMMA met daarop 20 mm Aluminium op de tafel, kies een kVp en bepaal met gebruik van de belichtingsautomaat de mAs waarde. Noteer alle techniekfactoren (buisfilter, FFD, rooster)
2. Plaats 50 mm PMMA op de tafel
3. Plaats het instrument op de 50 mm PMMA, het opschrift anode zijde evenwijdig aan de anode, zodat twee kwadranten volledig worden afgebeeld.
4. Plaats daarop weer 50 mm PMMA en daarop 20 mm aluminium.
5. Maak een eerste opname met de eerder gevonden waarden.
6. Maak vervolgens opnamen met halve en met dubbele mAs waarde
7. Bereken de beelden ter bepaling van de te bepalen grootheden. Dit kan zowel met "for processing" als met "for presentation" beelden gedaan worden. Bij de laatste is ook de post processing meegenomen.

Zie ook de handleiding bij bovengenoemd meetinstrument en software.

#### e. Analyse en interpretatie

1. Na de berekening zijn de MTF en de grensgevoeligheid in twee onderling loodrechte richtingen beschikbaar. De MTF is bijna altijd verschillend voor "For processing" t.o.v. "For presentation" beelden.
2. Uit de MTF wordt de **NEP** (Noise equivalent Passband) berekend: een maat voor de oppervlakte onder de MTF.
  - Het verschil in de grensgevoeligheid van "For processing" t.o.v. "For presentation" beelden is geringer dan bij de MTF.
  - De lokale gradiënt geeft inzicht in de versterkingsfactor afhankelijk van de verzwakingsverschillen. Hiermee kan te agressieve beeldbewerking op gespoord worden.

#### f. Grenswaarden

Parameter	Grenswaarde	Opmerking
NEP	1.2 – 2 mm <sup>-1</sup>	Afhankelijk van de toepassing van het röntgenapparaat
Grensgevoeligheid, contrastresolutie	< 5µm Al	
Lokale gradiënt	Geen extra versterking voor geringe verzwakingsverschillen	

#### g. Aanvullende en alternatieve controles

Meting van de juiste instelling van de belichtingsautomaat (zie o.a. wigmeting)

#### h. Valkuilen en kanttekeningen

- De MTF bij gedigitaliseerde beelden is richtingsgevoelig. In de tijd reproduceerbare metingen vereisen een redelijke positionering in lijn met de detector matrix.
- De grootte van het kleinste bit (**LSB**) kan de contrastresolutie beperken. Niet altijd zijn alle densiteitswaarden beschikbaar waardoor het effectieve LSB groter is. Controle hierop in het histogram van het ruissegment.
- De MTF en de grensgevoeligheid zijn niet gevoelig voor veranderingen in de densiteitsschaal. De LSB en de gradiënt wel.

#### i. Referenties

"Imaging Quality in X-ray Diagnostic Systems", F. van der Meer, ISBN: 90 75655 03 7