

STIJN BOS, 06 JUNI 2014

SCANVARIATIES IN VERSCHILLENDE SCANTECHNIEKEN



DE HAAGSE
HOGESCHOOL

Auteur: S. Bos
Datum: 6 juni 2014
Afstudeer locatie: Vrije Universiteit Medisch Centrum
Adres: De Boelenlaan 1117
Postcode: 1007 MB Amsterdam
Afstudeer afdeling: Radiotherapie
Afstudeer periode: 10 februari 2014 tot en met 6 juni 2014
Stagebegeleiders: L.J. van Battum, S. Heukelom
Stagecoaches: L.H. Arntzen, R. Buning

Voorwoord

Dit rapport is geschreven naar aanleiding van mijn afstuderen van de opleiding Technische Natuurkunde aan de Haagse Hogeschool in Delft. De opdrachtgever van mijn onderzoek was het VUmc in Amsterdam, in het bijzonder de afdeling radiotherapie in de polikliniek. Het rapport betreft mijn onderzoek naar scanvariaties in verschillende scantechnieken. Ik wil Leo van Battum en Stan Heukelom bedanken voor de goede begeleiding tijdens het onderzoek. Ik wil Sanne van Velzen voor de goede en leuke discussies en Lodewijk Arntzen voor de begeleiding vanuit de Haagse Hogeschool. Ten slotte bedank ik de hele afdeling radiotherapie voor de goede en gezellige werksfeer tijdens mijn stage.

Stijn Bos

Amsterdam, juni 2014

Samenvatting

Een bestraalde EBT3 film wordt door middel van een commerciële flatbed scanner uitgelezen. Het is gebruikelijk om deze film te scannen in transmissie modus. De absorptie van de film wordt uitgelezen en omgezet naar een maat voor de dosis in cGy per pixel. Deze dosis wordt met een zekere nauwkeurigheid bepaald. Er wordt in verschillende literatuur geadviseerd om de film via reflectie modus te scannen, maar daar zijn geen nauwkeurigheden van bekend.

In dit verslag wordt de nauwkeurigheid van de verschillen scanmethoden berekend en bepaald. Om te onderzoeken of er verschil is tussen een A4 scanner en een A3 scanner, zijn al de metingen uitgevoerd op twee scanners.

De scanner scant een film in drie kleuren: rood, groen en blauw. De scans worden uitgelezen in Matlab waarin de data nauwkeurig en snel wordt verwerkt. Er is onderzoek gedaan naar drie verschillende scan methoden: transmissie modus, reflectiemodus met een witte diffuse plaat en reflectiemodus met een front coated mirror. Voor elke methoden is de reproduceerbaarheid van de scanner op korte en op lange termijn, de stabiliteit van het spectrum, het lateraal effect en de hoeveelheid polarisatie van de film bepaald.

De reproduceerbaarheid van de scanner is een maat voor de hoeveelheid ruis in het systeem. Deze ruis is bij een spiegel het grootst en bij transmissie modus het kleinst.

Het lateraal effect ontstaat door polarisatie en het verschil in optische pad lengte. Voor de drie modi is bepaald hoe reproduceerbaar het lateraal effect is. Hieruit blijkt dat het lateraal effect in transmissie voor drie kleuren reproduceerbaar is. In reflectie modus met behulp van de witte reflectieplaat zijn de kleuren rood en groen reproduceerbaar. Bij de spiegel is alleen de kleur rood reproduceerbaar.

Het spectrum van de lamp is voor de A4 en de A3 scanner op lange en korte termijn stabiel, ongeacht de scan methoden.

De film polariseert het licht, daarom is het belangrijk dat de film in de zelfde richting als de kalibratie film wordt gescand.

Wanneer de fouten met elkaar worden vergeleken, volgt dat scannen met transmissie modus op de A4 de kleinste onnauwkeurigheid in dosis geeft.

Abstract

An irradiated EBT3 film can be read out by using a commercial flatbed scanner. It is common to scan this film in transmission mode. The absorbance of the film is read out and converted into a measure of the dose in cGy per pixel. This dose is determined with a certain accuracy. In various literatures it is recommended to scan the film by using the reflection mode. However, precise accuracies are unknown.

In this thesis, the accuracy of the different scan methods are determined and calculated. In order to investigate whether there is a difference between an A4 and an A3 scanner, all of the measurements were carried out on both scanners.

The scanner scans a film in three colors, namely red, green and blue. The scans can be read out in Matlab in which the results are processed accurate and fast. Research has been done for three different scanning methods, transmission mode, reflection mode using a white diffuse surface and reflection mode using a front-coated mirror. For each of the methods, the reproducibility of the scanner is determined on short-term and long-term, the stability of the spectrum, the lateral effect and the amount of polarization of the film.

The reproducibility of the scanner is a measurement for the amount of noise in the system. By using a mirror for scanning, the noise is the most profound and minimal by using the transition mode.

The lateral effect is caused by polarization and the difference in the optical path length. For the three methods it is determined how reproducible the lateral effect is. From this it shows that the lateral effect is reproducible for three colors in transmission mode. By using the reflection mode with the use of the white diffuse surface, the colors red and green are reproducible. However, using the mirror, only the red color is reproducible.

The spectrum of the lamp is on long-term and short-term stable for the A4 and A3 scanner, regardless the scanning method.

The film polarizes the light; therefore it is important that the film is scanned in the same direction as the calibration film.

When the errors are compared with each other, it seems that scanning with transition mode on the A4 scanner gives the smallest amount of inaccuracy in dose.

Inhoudsopgave

1.	<u>Inleiding</u>	1
2.	<u>Theorie</u>	3
2.1	EBT3 Film	3
2.2	De scanner	5
2.2.1	Transmissieodus	6
2.2.2	Witte reflectie plaat	6
2.2.3	Spiegel	6
2.3	Polarisatie film	7
2.4	Matlab	7
3.	<u>Meetmethoden</u>	8
3.1	Reproduceerbaarheid signaal/pixel	9
3.2	Reproduceerbaarheid ratio/pixel	10
3.3	Opstarten lamp	10
3.4	Spectrum	11
3.5	Lateraal effect	12
3.6	Reproduceerbaarheid lateraal effect	12
3.7	Polarisatie	13
4.	<u>Meetresultaten</u>	14
4.1	Reproduceerbaarheid signaal/pixel	14
4.2	Reproduceerbaarheid ratio/pixel	15
4.3	Opstarten lamp	15
4.4	Spectrum	15
4.5	Reproduceerbaarheid lateraal effect	16
4.6	Lateraal effect	16
4.7	Polarisatie	17
5.	<u>Conclusie</u>	18
6.	<u>Bronnen</u>	19
Appendix A	Begrippenlijst	20
Appendix B	Tabellen	21
Appendix C	Grafieken	25

1. Inleiding

Het menselijk lichaam bestaat uit miljarden cellen. Het lichaam maakt continu nieuwe cellen aan zodat de nieuwe cellen de beschadigde en verouderde cellen kunnen vervangen. Nieuwe cellen ontstaan door celdeling, uit een cel ontstaan twee nieuwe cellen, uit de twee nieuwe cellen ontstaan vier nieuwe cellen enzovoort. Een celkern bevat informatie die bepaalt wanneer een cel zich moet delen en wanneer een cel hier mee moet stoppen: het DNA. Bij miljoenen celdelingen per dag kan er iets met een deling mis gaan. Dit kan bijvoorbeeld door toeval gebeuren, maar ook door schadelijke invloeden zoals bijvoorbeeld zonlicht en roken. Wanneer dit gebeurt ontstaat er een foute cel. Deze cel kan zich ongecontroleerd delen waardoor er een tumor of gezwel ontstaat.¹

Op de afdeling radiotherapie worden patiënten door middel van gamma of röntgenstraling behandeld tegen kanker. Door de straling raken kanker cellen dermate beschadigd waardoor ze zich niet meer kunnen herstellen en uiteindelijk zullen sterven. Het is belangrijk dat alleen de kanker cellen sterven en dat zo veel mogelijk omliggende gezonde weefsel zich kan herstellen. In het algemeen kunnen kanker cellen zich minder goed herstellen dan gezonde cellen. Om zo min mogelijk straling aan de gezonde cellen af te geven wordt de tumor van verschillende kanten bestraald. Het bestralingsapparaat heeft de mogelijkheid om 360 graden rond de patiënt te draaien en de tumor vanaf verschillende plekken te bestralen. Hierdoor worden de belangrijke organen zo goed mogelijk gemedend.

Van de patiënt wordt een computertomografie scan gemaakt. Op deze scan is te zien waar de tumor zich in het lichaam bevindt. Aan de hand van deze informatie bepaalt een arts welke delen van het lichaam wel en niet bestraald moeten worden en de maximale dosis die de patiënt mag ontvangen. Met behulp van een computerprogramma wordt een plan waar en hoeveel straling het stralingsapparaat af geeft, dit wordt een bestralingsplan genoemd.

Om er zeker van te zijn dat het bestralingsplan klopt, wordt het plan gecontroleerd door middel van film dosimetrie. Het bestralingsplan wordt afgestraald op een film welke zich in een fantoom bevindt. Dit fantoom is gemaakt van water equivalent materiaal om zo goed mogelijk het weefsel van het menselijk lichaam na te bootsen. De bestraalde film bevat een 2D dosisverdeling van het bestralingsplan. Om dit te kunnen vergelijken met het plan wat gemaakt is met het computer programma wordt het originele bestralingsplan opnieuw berekend op een computertomografie scan van het fantoom. Hier komt een 3D dosisverdeling in het fantoom uit voort. Dit berekende plan wordt onderling vergeleken met de dosisverdeling van het berekende plan met de 2D dosisverdeling gemeten met de film.

Een bestraalde film wordt uitgelezen door een commerciële flatbed scanner. Een flatbed scanner heeft twee verschillende mogelijkheden om te scannen: transmissie modus of reflectie modus. In het algemeen wordt de transmissie modus gebruikt om de dosis te bepalen. Op deze scan manier heeft de waarde van de dosis een bepaalde onnauwkeurigheid. Er zijn onderzoekers^{2,3} die beweren dat de onnauwkeurigheid in de dosis verminderd kan worden door in reflectie modus te scannen.

In dit rapport wordt het onderzoek naar verschillende scan methoden behandeld. Er is onderzocht welke manier van scannen de kleinste onnauwkeurigheid in het bepalen van de dosis geeft. Verder is er onderzocht of er een verschil is tussen de onnauwkeurigheid in de A4 en de A3 scanner.

In hoofdstuk twee wordt de theorie achter de *External Beam Treatment* (EBT) films en de scanner uitgelegd. In hoofdstuk drie wordt besproken welke fouten bij het scannen ontstaan en hoe deze gemeten worden. In hoofdstuk vier worden de berekende fouten besproken en vergeleken. In hoofdstuk vijf worden de conclusies van het onderzoek onder de aandacht gebracht en hieruit aanbevelingen gegeven.

2. Theorie

In dit hoofdstuk wordt uitgelegd wat een EBT film is, hoe hier uit de dosis wordt bepaald en hoe er gescand wordt.

2.1 EBT3 Film

Een EBT film is een dun blad van 20,3 x 25,4 cm dat verkleurt afhankelijk van de hoeveelheid straling die op de film valt. Hoe meer straling op de film, hoe donkerder de film kleurt. De film wordt geproduceerd in Ashland (NY, USA) en is de afgelopen tien jaar kwalitatief significant ontwikkeld. In 2004 kwam de eerste versie van de EBT film uit. Dit is een blauw gekleurd blad en is over de gehele film even goelig voor straling. In 2008 is de EBT2 film op de markt gebracht. Deze film bestaat uit hetzelfde gevoelige materiaal als de EBT film, maar aan deze film is een kleurstof (dye) toegevoegd om de gevoelige laag van de film te corrigeren voor dikte verschillen (zie §2.3). De EBT2 film heeft een gele kleur als gevolg van de kleurstof. De EBT3 film bestaat uit dezelfde actieve stof als de EBT2 film, maar heeft een symmetrische opbouw gekregen. De actieve laag in de film bestaat uit monomeren en een de dye in een kristal structuur. De EBT3 heeft een polyester laag over de actieve laag heen. Deze laag voorkomt Newton ringen tussen de glasplaat en de film tijdens het scannen. Wanneer het in de film gebruikte monomeer wordt bestraald, verandert dit naar een polymeer. Hoe hoger de dosis waarmee de film wordt bestraald, hoe meer monomeren over gaan in polymeren. De polymeren zorgen voor de kleuring in de film en is een maat voor de hoeveelheid geabsorbeerde straling.⁴ Een bestraalde film kan er als figuur 1 uit zien.



Figuur 1: voorbeeld van een bestraalde film

Een bestraalde film wordt door een commerciële transmissie flatbed scanner gescand. Deze scanners zijn snel en hebben een hoge resolutie. De resolutie van een flatbed scanner is maximaal 4800 *dots per inch* (dpi). De scans die in dit onderzoek zijn gebruikt, zijn ingesteld met een standaard resolutie van 72 dpi. De scan wordt in een *Tagged Image File Formate* (.tiff) uitgelezen. Een .tiff file bevat drie kleuren: rood, groen en blauw (RGB). De intensiteit van elke kleur wordt in een schaal uitgelezen. De schaal voor de intensiteit wordt de grijswaarde genoemd. Een hoge grijswaarde geeft een lichte kleur, een lage grijswaarde geeft een donkere kleur. Door de grijschaal van de RGB kleuren te combineren, is het mogelijk om elke kleur te creëren. Een .tiff file wordt in een 16-bit formaat uitgelezen, wat betekent dat er per kleur 2^{16} (65536) verschillende grijswaarde mogelijkheden zijn. Wanneer de detector een maximale intensiteit ontvangt, geeft dit een waarde van 65535. Indien de detector een minimale intensiteit ontvangt,

geeft de detector een waarde van nul. Omdat de waarde van een analoog naar een digitaal signaal geconverteerd wordt, wordt deze waarde *Analog to Digital Converter* (ADC) genoemd.

De hoeveelheid geabsorbeerd licht per pixel wordt de *Optical Density* (OD) genoemd. De OD wordt bepaald door middel van formule 1.

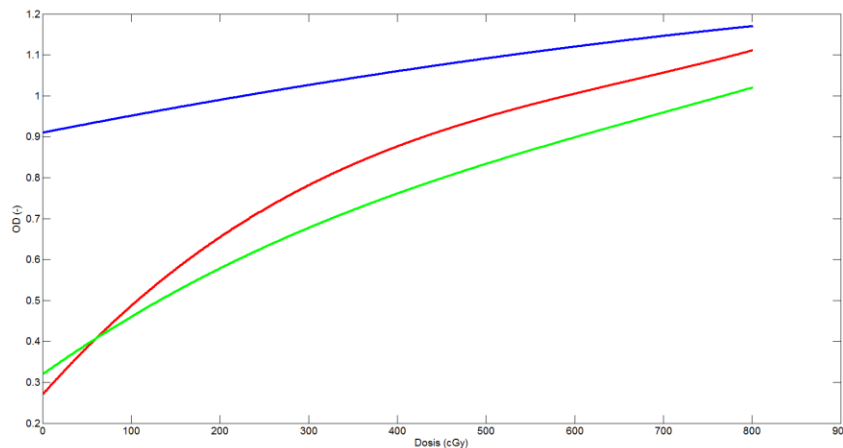
$$OD(x,y) = {}^{10}\log\frac{I_0(x,y)}{I_t(x,y)} \quad [1]$$

waarin:

OD	:	Optical Density	[-]
I_0	:	Intensiteit licht voor de film (lege glasplaat scan)	[ADC]
I_t	:	Intensiteit licht na de film	[ADC]

Het is belangrijk dat de absorptie alleen wordt berekend uit de absorptie van de film en niet uit de absorptie van het glas. Door I_0 en I_t op elkaar te delen, worden oneffenheden in de glasplaat weg gedeeld.

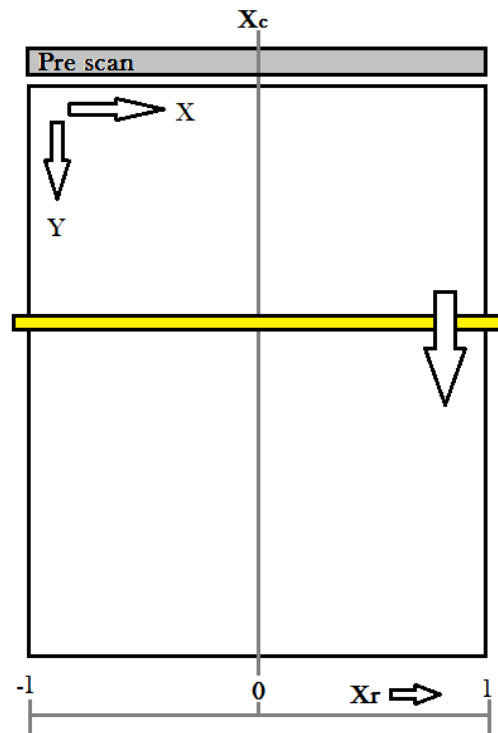
Om de OD om te rekenen naar een waarde voor de dosis, wordt er een kalibratie file gemaakt. Dit wordt gedaan door stukjes film met een bekende dosis door het bestralingsapparaat te bestralen. De stukjes film worden gescand en de OD wordt berekend. De berekende OD wordt uitgezet tegen de bekende dosis, zie figuur 2. In figuur 2 staat de rode lijn voor het rode kleur kanaal, de groene lijn voor het groene kleur kanaal en de blauwe lijn voor het blauwe kleur kanaal. Wanneer een bestraalde film wordt gescand, wordt de OD van elke pixel bepaald. Met behulp van de kalibratie curve wordt de waarde van de OD omgerekend naar een waarde voor de dosis in de film.



Figuur 2: kalibratie grafiek, de OD van de 3 RGB kleuren uitgezet tegen de dosis in cGy

2.2 De Scanner

De gebruikte scanners voor dit onderzoek zijn: *Epson 1680 Expression Pro* met een scan oppervlak van $22 \times 30 \text{ cm}^2$ (A4 formaat) en een *Epson 10000 X* met een scan oppervlak van $31 \times 43 \text{ cm}^2$ (A3 formaat). De scanners worden aangestuurd via de computer met behulp van het programma *SilverFast*. In dit verslag wordt de lengte van het scan oppervlakte vastgesteld als y richting en de breedte van het scan oppervlakte wordt vastgesteld als x richting, zie figuur 3. De lamp in de scanner heeft in de x richting dezelfde breedte als de scanner. In figuur 3 is dit de gele lijn. In de onderkant van de scanner bevindt zich een *charge-coupled device* (CCD) chip, een lamp voor reflectie modus en een computersysteem om het signaal te verwerken. De lamp in de scanner is een Xenon Gas Cold Cathode Fluorescent Lamp. Deze lamp produceert weinig warmte en heeft hierdoor een hoog rendement. De CCD chip bevindt zich in het centrum van de breedte (X_c).



Figuur 3: Boven aanzicht van de Epson 1680 scanner

Het detector systeem bestaat uit vier spiegels en een CCD chip, zie figuur 4. Licht afkomstig uit de lamp reflecteert via de spiegels in de CCD chip. Licht dat reflecteert, polariseert wat zorgt voor intensiteit verlies⁵. Licht uitgezonden op X_c valt onder één hoek binnen op de spiegel. Het licht polariseert hier alleen in de x of y richting. Verder aan de zijkanten van het systeem valt het uitgezonden licht onder twee hoeken binnen en polariseert het zowel in de x als in de y richting. Door de polarisatie en het *optische pad lengte* (OPL) effect verschilt deze intensiteit over de breedte van de scanner. Om te corrigeren voor dit intensiteitsverlies wordt elke scan gekalibreerd in het pre-scan gebied van de scanner. Het pre-scan gebied is het stukje glas vóór het scan oppervlakte.

In het pre-scan gebied leest de detector een bepaalde intensiteit per pixel kolom per kleur uit. De gemeten intensiteit per kleur in het pre-scan gebied wordt gelijkgesteld aan een grijswaarde van 65535 ADC. Wanneer er een film wordt gescand, wordt een deel van het licht geabsorbeerd door de film. De ontvangen intensiteit in de detector wordt vergeleken met intensiteit dat in het pre-scan gebied wordt ontvangen. Door deze waarden van de intensiteit te vergelijken, wordt de ADC waarde van de ontvangen lichtstraal bepaald.

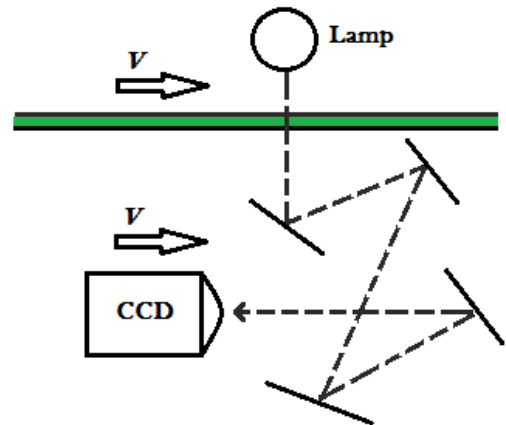
De Epson 1680 Expression Pro en de Epson 10000 X hebben beide de mogelijkheid om op twee verschillende manieren te scannen: transmissie of reflectie modus.

2.2.1 Transmissie modus

Bij de transmissie modus gaat het licht afkomstig van de lamp door de glasplaat van de deksel, door de film en vervolgens via de glasplaat van het onderste deel naar de detector, zie figuur 4.

De lamp is in de deksel door middel van een systeem aan een schroefdraad bevestigd. De detector in de onderkant van de scanner is aan een rubberen band bevestigd. De schroefdraad en de rubberen band draaien beide met een bepaalde snelheid zodat de lamp over de gehele y-as boven de detector zit.

Het VUmc beschikt over twee Epson 1680 expression pro scanners. Een van de twee scanners wordt gebruikt om uit elkaar te halen en te onderzoeken hoe het systeem in elkaar zit: *de spare*. Voor het onderzoek aan de transmissie modus is van beide deksel gebruik gemaakt om eventuele verschillen te vinden. De deksel die bij het onderste deel hoort, wordt aangeduid als *deksel 1*. De deksel die bij de spare hoort, wordt aangeduid als *deksel 2*.

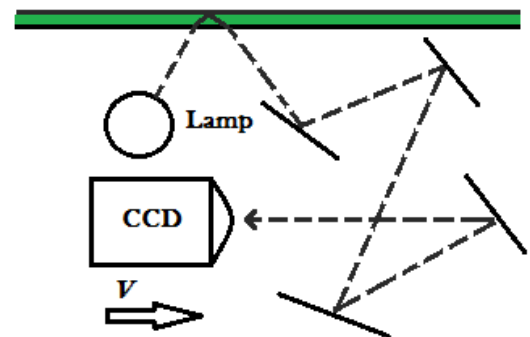


Figuur 4: spiegel systeem en detector bij transmissie modus

2.2.2 Witte reflectie plaat

In reflectie modus bevinden de lamp en de detector zich in het onderste deel van de scanner. De lamp is bevestigd in het detector systeem, waardoor de afstand tussen de lamp en de detector gelijk blijft.

De witte reflectie plaat heeft een diffuus oppervlakte en reflecteert invallend licht in alle richtingen. Licht afkomstig van de lamp aan de onderkant van de scanner zendt licht via de onderste glasplaat door de film. Op de witte reflectie plaat wordt het licht diffuus gereflecteerd en straalt opnieuw door de film en de glasplaat, zie figuur 5.



Figuur 5: spiegel systeem en detector bij reflectie modus

2.2.3 Spiegel

De gebruikte spiegel is een front coated mirror. Bij een front coated mirror is de reflecterende laag de eerste laag op de glasplaat. Als er met behulp van de spiegel wordt gemeten, wordt de spiegel met de spiegellende kant op de film gelegd. De lamp in de scanner zendt het licht uit met een ruimte hoek van ongeveer $\frac{1}{2}\pi$ steradiaal. Het pre-scan gebied reflecteert het licht met een wit diffuus oppervlakte. Wanneer I_0 van de spiegel wordt bepaald, reflecteert een groot deel van het licht onder een te grote hoek op de spiegel en valt buiten de eerste spiegel in het systeem. Doordat dit licht buiten de eerste spiegel valt, valt het uiteindelijk buiten de detector. Omdat ten opzichte van het pre-scan gebied weinig licht op de detector valt, geeft het systeem een lage ADC waarde voor I_0 . Wanneer er vervolgens van een film de I_1 wordt gemeten, gaat het licht aan de onderkant via het systeem door de glasplaat en reflecteert voor een groot deel diffuus op de film. Hierdoor valt er een groot deel van het licht in detector. In dit geval is I_1

groter dan I_0 . De logaritme van een getal kleiner dan één geeft een negatieve waarde. Wanneer een film wordt uitgelezen met behulp van een spiegel, krijgt de OD dus een negatieve waarde. Een film met een lage dosis reflecteert het licht meer dan een film met een hoge dosis. Dit resulteert in een grote, negatieve OD bij lage doses en een kleinere, negatieve OD bij hogere doses.

2.3 Polarisatie film

Rood en groen licht worden geabsorbeerd door de polymeren in de film, in tegenstelling tot blauw licht. Polymeren zorgen voor polarisatie van licht. Wanneer een bestraalde film wordt gescand, wordt het rode en het groene licht gepolariseerd. Het aantal polymeren in de film is afhankelijk van de hoeveelheid straling waarmee de film bestraald is. Hoe meer straling er op een film valt, hoe meer monomeren worden omgezet in polymeren. Er zal meer rood en groen licht polariseren bij een hogere dosis en een andere intensiteit krijgen dan bij een lagere dosis. De polymeren in de film hebben nauwelijks invloed op de kleur blauw en verschilt hierdoor in intensiteit niet veel tussen verschillende doses. De ratio tussen het rode en blauwe kanaal en de ratio tussen het groene en blauwe kanaal is bij een verschillende dosis anders. Het rode en het groene licht polariseren beide en zijn afhankelijk van elkaar. Bij een verschillende dosis is de ratio tussen het rode en groene licht even groot.

Het is mogelijk dat er in een film dikte verschillen zijn van de actieve laag. Dit wil zeggen dat de monomeer dichtheid per pixel kan variëren en daarmee de polymeer dichtheid bij een gelijke dosis die over alle pixels wordt aangeboden. Deze verschillen zijn op te sporen met de *triple colour correctie*⁶ methoden. Wanneer er een onbestraalde film wordt gescand, wordt verwacht dat de ratio's over de gehele film niet veranderd. Indien er variatie is in de rood - blauw, respectievelijk de groen - blauw ratio, betekent dit dat er verschillen zijn in de mengverhouding van de monomeren en de dye van de actieve stof. Deze variaties zijn ontstaan in het fabricage proces van de film.

Indien er verschillen in de rood - groen ratio zijn, betekent het dat vermoedelijk de CCD chip van de scanner kapot is.

2.4 Matlab

Om de data nauwkeurig en consistent te verwerken wordt gebruik gemaakt van Matlab. In Matlab zijn diverse codes geschreven om de resultaten zo nauwkeurig en zo snel mogelijk te bepalen.

3. Meetmethoden

Tabel 1 is een samenvatting van wat er gemeten is en waar dit in het verslag is terug te vinden.

√ = Gemeten in RGB, ✕ = niet gemeten

Tabel 1: samenvatting van de uitgevoerde experimenten en waar deze in het verslag te vinden zijn

	A4			A3			Paragraaf		Appendix B	
	Transmissie	Wit	Spiegel	Transmissie	Wit	Spiegel	Methoden	Resultaat	Figuur	Tabel
Reproduceerbaarheid signaal/pixel korte termijn	√	√	√	√	√	✕	3.1	4.1	8,10,11,13	3,5
Reproduceerbaarheid signaal/pixel lange termijn	√	√	✕	√	√	✕	3.1	4.1	9,12	4,6
Reproduceerbaarheid ratio/pixel korte termijn	√	√	√	√	√	✕	3.2	4.2	8,10,11,13	7,9
Reproduceerbaarheid ratio/pixel lange termijn	√	√	✕	√	√	✕	3.2	4.2	9,12	8,10
Opstarten lamp	√	√	√	√	√	✕	3.3	4.3	18 t/m 22	-
Spectrum	√	√	√	√	√	✕	3.4	4.4	-	2
Lateraal effect	√	√	√	√	√	✕	3.5	4.5	23 t/m 27	-
Reproduceerbaarheid lateraal effect	√	√	√	√	√	✕	3.6	4.6	28 t/m 32	-
Polarisatie	√	√	√	✕	✕	✕	3.7	4.7	33 t/m 41	12 t/m 14

3.1 Reproduceerbaarheid signaal/pixel

Een belangrijk aspect om de dosis uit een film zo nauwkeurig mogelijk te bepalen, is om te weten wat de reproduceerbaarheid is waarmee de scanner scant. Wanneer er meerdere scans worden gemaakt van een film, wordt verwacht dat de ADC waarden van een volgende scan exact hetzelfde is. Om te onderzoeken of er variatie in een scan is, is van de A4 scanner voor elk van de drie scan methoden tien keer direct achter elkaar de lege glasplaat gescand. Op de A3 scanner is dit alleen gedaan voor de transmissie modus en met de witte reflectie plaat. Er is gekozen voor een lege glasplaat, omdat op deze manier alleen de effecten van de scanner invloed hebben op de onnauwkeurigheid. In Matlab worden de tien scans uitgelezen. Van een pixel(x,y) wordt het gemiddelde en de standaard deviatie van dezelfde pixel(x,y) over de tien scans bepaald. Bij bijvoorbeeld een ADC waarde van 50000 heeft een ruis van 20 ADC minder invloed dan een ruis van 20 bij een ADC waarde van 200 (resp. 0,04% en 10%). Om de standaard deviaties met elkaar te mogen vergelijken, wordt de standaard deviatie van de pixel gedeeld door het gemiddelde van de pixel. Hieruit volgt formule 2.

$$\sigma_{ADC} = \frac{\sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}}}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad [2]$$

waarin:

σ_{ADC}	:	De standaard deviatie gedeeld door het gemiddelde	[%]
x_i	:	De waarde van het getal in de reeks	[ADC]
$\bar{x}$	:	Het gemiddelde van alle getallen in de reeks	[ADC]
n	:	Het aantal getallen in de reeks	[-]

De gevonden waarden worden uitgezet in een afbeelding waarin de afwijkingen per pixel te zien zijn.

Met een gemeten ruis van de ADC waarde, wordt deze ruis omgerekend naar een ruis voor de OD waarde via formule 3. Met behulp van een bekende fout wordt de maximale en de minimale OD van een waarde berekend. Door de maximale en de minimale waarde van elkaar af te trekken, ontstaat de ruis voor de OD.

$$\sigma_{OD} = {}^{10}\log\left(\frac{I_0}{I_t - I_t \cdot \sigma_{ADC}}\right) - {}^{10}\log\left(\frac{I_0}{I_t + I_t \cdot \sigma_{ADC}}\right) \quad [3]$$

waarin:

σ_{OD}	:	ruis over de OD waarde	[-]
σ_{ADC}	:	ruis over de ADC waarde	[ADC]

Formule 3 wordt omgeschreven naar:

$$\sigma_{OD} = {}^{10}\log\left(\frac{1 + \sigma_{ADC}}{1 - \sigma_{ADC}}\right)$$

Om de variatie in scans over een grotere tijd te bepalen, wordt er op willekeurige tijdstippen en op willekeurige dagen een scan gemaakt. Op deze manier zit er nog een extra variabele in de onzekerheid van de scanner, namelijk scanmoment. Er wordt verwacht dat de waarden voor ruis voor deze scans groter is. Dit wordt verwacht omdat in de tussen tijd onder andere de deksel van de scanner een aantal keer open en dicht is gedaan, de deksel een stukje wordt opgeschoven of er op een andere scan een stofdeeltje op het pre-scan gebied ligt. Dit resulteert in andere waarden voor de scan. De grootte van de ruis wordt berekend met behulp van formule 2.

3.2 Reproduceerbaarheid ratio/pixel

Omdat de drie kleurkanalen een ruis hebben, betekent dat de ratio's tussen de drie kleurkanalen ook een ruis hebben. Om te onderzoeken hoe groot deze ruis is, zijn dezelfde tien scans gebruikt als het bepalen van de ruis over de kleurkanalen. Van elke scan wordt de ratio tussen de drie kleurkanalen bepaald. Van de berekende ratio's wordt het gemiddelde en de standaard deviatie bepaald. Door de standaard deviatie door het gemiddelde te delen zoals in formule 2, wordt de ruis in de ratio bepaald. Het gemiddelde van de ratio's wordt via formule 4 bepaald:

$$\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{B_i}, \frac{G_i}{B_i}, \frac{R_i}{G_i} \quad [4]$$

waarin:

$\bar{r}$	:	Gemiddelde ratio	[ADC]
n	:	Het aantal getallen in de reeks	[-]
R, G, B	:	RGB kanaal	[ADC]

3.3 Opstarten lamp

De temperatuur van een gloeilamp warmt, net nadat deze is aangezet, nog op. Bij een temperatuur verandering in de lamp is er ook een intensiteit verandering. Indien de lamp van de scanner opwarmt tijdens het scannen van een film, kan dit voor een andere dosis zorgen. Om te testen of de lamp van de scanner opwarmt, wordt een bestraald stukje film van 600 cGy zeven keer direct achter elkaar gescand. Voor de eerste meting heeft de scanner minimaal drie uur niet gescand om er zeker van te zijn dat de lamp koud is. Vervolgens is hetzelfde experiment voor de reflectiemodus, zowel de witte plaat als de spiegel, gedaan. In Matlab worden de zeven films en de I_0 geladen. In Matlab worden vervolgens de x,y coördinaten van één film geselecteerd. Matlab selecteert automatisch dezelfde coördinaten voor de overige files. Hierdoor is het zeker dat dezelfde punten worden vergeleken. Matlab berekent de OD van de zeven films en plot deze vervolgens in een grafiek als functie van de opwarmtijd.

3.4 Spectrum

Het gedrag van het spectrum kan aan de hand van de standaard deviaties van de kleurkanalen en de standaard deviaties van de ratio's worden bepaald. De verhouding tussen de standaard deviatie van een kleurkanaal en van een ratio heeft vier verschillende mogelijkheden, zie tabel 2.

Tabel 2: verschillende spectrum combinaties

Kleur _{stdev}	Ratio _{stdev}	Toelichting
Hoog	Hoog	Spectrum variatie, de kleuren signalen zijn onafhankelijk van elkaar
Hoog	Laag	Spectrum variatie, de kleuren signalen zijn afhankelijk van elkaar
Laag	Hoog	Niet mogelijk
Laag	Laag	Het spectrum is constant

Hoog - Hoog

Wanneer de ruis van een kanaal hoog is, veranderen de waarden voor de kleuren in het spectrum. Als ook ruis van de ratio hoog is, variëren de kleuren onafhankelijk van elkaar.

Hoog - Laag

Wanneer de ruis van een kanaal hoog is, veranderen de waarden voor de kleuren in het spectrum. Als de ruis van de ratio laag is, variëren de kleuren in dezelfde maat met elkaar. Wanneer bijvoorbeeld het rode kanaal x keer zo groot wordt, wordt ook het blauwe kanaal x keer zo groot.

Laag - Hoog

Het is niet mogelijk om een lage ruis in het kleuren kanaal te hebben en een hoge ruis in de ratio. Als de ADC waarde van twee kleuren weinig verandert, is het niet mogelijk dat de verhouding tussen deze twee kleuren veel verandert.

Laag - Laag

Wanneer de ruis van de kleurkanalen en de ruis van de ratio laag is, is het spectrum van de lamp constant en is er weinig variatie.

Indien de kleuren in het spectrum onafhankelijk van elkaar zijn, wordt de volgende vergelijking voor de standaard deviatie verwacht:

$$\left(\frac{A}{B}\right)_{stdev} = \sqrt{A_{stdev}^2 + B_{stdev}^2}$$

De waarde voor de standaard deviatie is in dit geval *hoog*.

Indien de kleuren afhankelijk van elkaar zijn, wordt de volgende vergelijking verwacht:

$$\left(\frac{A}{B}\right)_{stdev} < \sqrt{A_{stdev}^2 + B_{stdev}^2}$$

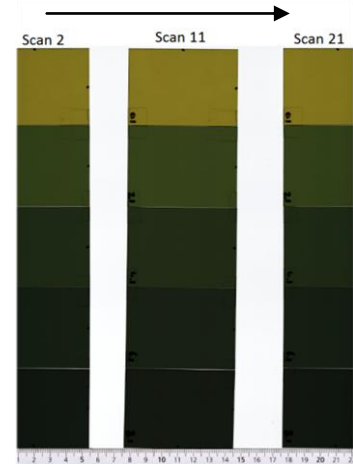
De waarde voor de standaard deviatie is in dit geval *laag*.

Verwacht wordt dat het spectrum van de lamp constant is, een hoge standaard deviatie in de ratio kan daarom een indicatie zijn voor een kapotte CCD chip.

3.5 Lateraal effect

De scanner wordt in het pre-scan gebied gekalibreerd voor de polarisatie en reflectie voor de lege glasplaat en de spiegels in het systeem. Dit zorgt ervoor dat over de gehele breedte dezelfde intensiteit wordt ontvangen. Wanneer een film wordt gescand, ontstaat er polarisatie en OPL effect in de film. Afhankelijk van de hoek waarmee het licht op de film valt, is het OPL effect en de polarisatie anders dan op X_c . Doordat het OPL effect en het polarisatie effect naar de randen van de film toeneemt, ontvangt de CCD chip hier een lagere intensiteit. Een intensiteit verandering staat gelijk aan een dosis verandering, zie formule 1.

Idealiter zou een OD op X_c dezelfde OD moeten opleveren aan de randen van de scanner. Om dit te testen wordt een stukje film aan de rand van de scanner gelegd en gescand. Wanneer de film is gescand, wordt deze een centimeter over de x-richting verplaatst en wordt opnieuw gescand. Door dit meerdere keren te herhalen, wordt steeds hetzelfde stukje film over de gehele breedte van de scanner gescand. De gebruikte dosis voor de meting zijn: 0 cGy (onbestraalde film), 200 cGy, 400 cGy, 600 cGy en 800 cGy, zie figuur 6. Voor de A4 scanner zijn dit 22 scans. Er wordt verwacht dat de scans van de A4 scanner vrijwel hetzelfde resultaat op levert als bij de A3 scanner. Daarom is ervoor gekozen om bij de A3 scanner om de drie centimeter een gedeelte film te scannen. Dit geeft voor de A3 scanner elf scans per situatie.



Figuur 6: scan methoden lateraal effect

De OD wordt voor elk stukje film van iedere scan bepaald. Elke gemeten OD wordt gedeeld door de OD die op X_c gemeten is. Hierdoor is de procentuele afwijking ten opzichte van de OD in X_c te zien. De I_0 en de scans van de films worden in Matlab geselecteerd. Om oneffenheden in de film weg te filteren, wordt elke film in matlab gefilterd met behulp van *5 points moving average filter*. Van elke scan wordt er vijf keer een punt geselecteerd, voor elke dosis één keer, waar de OD van wordt bepaald. Door dit voor elke scan in dezelfde volgorde te doen, ontstaat er voor elke kleur en voor elke dosis een profiel over de x-as van de scanner. Vanwege de polarisatie en het OPL wordt verwacht dat I_t aan de zijkanten een lagere ADC waarde heeft dan op X_c . Een lagere I_t resulteert in een hogere OD aan de zijkanten, zie formule 1.

Het is bekend dat de polymeren in de film nauwelijks invloed hebben op blauw licht, dit betekent dat in het blauwe kanaal alleen de OPL van invloed is.

3.6 Reproduceerbaarheid lateraal effect

Matlab creëert voor de RGB kleuren een profiel voor de afwijking ten opzichte van X_c . Om er zeker van te zijn dat de resultaten reproduceerbaar zijn, is het lateraal effect in Matlab drie keer uit de zelfde meting bepaald. De RGB kleuren worden over de drie metingen vergeleken. Van elke kleur wordt het gemiddelde en de spreiding bepaald.

3.7 Polarisatie

Licht bestaat uit een $\vec{E}$ en een $\vec{M}$ component, welke ieder weer uit een x- en y-component bestaan. Wanneer een film wordt gescand, zorgen de polymeren voor lineaire polarisatie van $\vec{E}$ component (de $\vec{M}$ component wordt niet verder beschouwd). Omdat een deel van het licht door de niet-polariserende monomeren trekt, zal het uiteindelijke $\vec{E}$ veld bestaan uit een vaste verhouding tussen $\vec{E}_x$ en $\vec{E}_y$. Deze verhouding verandert wanneer de film 90 graden gedraaid is. Omdat deze verhouding verandert en daarmee $\vec{E}$, verandert de OD waarde. Indien de film niet van oriëntatie verandert, zal ongeacht de dosis die gegeven wordt, de verhouding tussen de $\vec{E}_x$ en de $\vec{E}_y$ component van de lichtbundel die door de film trekt niet veranderen.

Om te onderzoeken hoeveel de OD verandert afhankelijk van de hoek, wordt er een stukje bestraalde film in een systeem geplaatst die 360 graden kan draaien, zie figuur 7. Om de 10 graden wordt er een scan van de film gemaakt, zodat er in totaal van de film 36 scans zijn. Elk stukje film wordt 360 graden gemeten voor de transmissie modus, reflectie modus met behulp van de witte reflectieplaat en reflectie modus met behulp van de spiegel. Omdat de hoeveelheid gepolariseerd licht in de film dosis afhankelijk is, wordt het experiment voor vier verschillende doses herhaald. De gemeten doses zijn: 0 cGy (onbestraalde film), 200 cGy, 400 cGy en 600 cGy.

De gemeten OD en de bijbehorende hoek wordt voor de RGB kleuren in Matlab uitgelezen. Matlab bepaalt uit de data de amplitude, de evenwichtstand en de fase, zie formule 5.

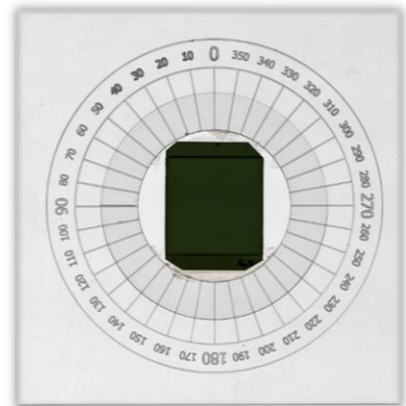
$$OD = A \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{180} \cdot \theta + \phi\right) + \varphi \quad [5]$$

waarin

A	:	amplitude	[-]
θ	:	hoek	[°]
ϕ	:	fase	[rad]
φ	:	evenwichtsstand	[OD]

Uit de gevonden constante wordt een verband tussen de grote van de amplitude en dosis bepaald en een verband bepaald tussen de fase en de dosis.

Via formule 5 worden de waarden van de OD voor 360 graden bepaald. Elk van de berekende waarde wordt afgetrokken van de evenwichtsstand. Hierdoor ontstaat er een afwijking ten opzichte van de evenwichtsstand in OD. Door de OD waarde van de afwijking te delen door de OD waarde van de evenwichtsstand, ontstaat de afwijking in procenten als functie van de hoek.



Figuur 7: 360 graden systeem

4. Meetresultaten

In het volgende hoofdstuk worden de resultaten uit hoofdstuk drie berekend en met elkaar vergeleken. De tabellen van de resultaten zijn te vinden in Appendix B en de figuren van de resultaten zijn te vinden in Appendix C.

4.1 Reproduceerbaarheid signaal/pixel

Via Matlab is per pixel de standaard deviatie gedeeld door het gemiddelde over tien scans. De verwachting dat over tien films de reading per pixel een standaard deviatie van 0 heeft, is niet het geval. Dit betekent dat de lamp en/of de CCD chip een ruis heeft. De gevonden waarden worden uitgezet in een afbeelding waarin de afwijkingen per pixel te zien is. De kleur van de pixel is een maat voor de ruis. Uit de berekende sigma voor elke pixel, wordt de gemiddelde sigma van de hele film berekend. De gemiddelde sigma en de bijbehorende standaard deviatie zijn in de volgende tabellen te vinden:

De resultaten van de ruis op korte termijn van de A4 scanner zijn te vinden in tabel 3 en in de figuren 8, 10, 11 en 13.

De resultaten van de ruis op lange termijn van de A4 scanner zijn te vinden in tabel 4 en in figuur 9 en 12.

De resultaten van de ruis op korte termijn van de A3 scanner zijn te vinden in tabel 5 en in figuur 14 en 16.

De resultaten van de ruis op lange termijn van de A3 scanner zijn te vinden in tabel 6 en in figuur 15 en 17.

Wat opvalt in de resultaten is dat de spiegel een grote ruis heeft, namelijk tussen de 2% en 4% voor de drie kleuren. De spiegel is erg gevoelig voor veranderingen in een scan. Door de trillingen in het systeem tijdens het scannen bewegen er stofdeeltjes over het oppervlakte. Als de ADC waarde van tien scans met elkaar wordt vergeleken, hebben stofdeeltjes erg veel invloed op de standaard deviatie.

Voor de A4 transmissie modus is de ruis op korte termijn bijna twee keer zo klein als de ruis op lange termijn. Bij de witte reflectie modus is de ruis op korte termijn voor de kleur rood ongeveer vijf keer zo klein als de ruis op lange termijn. Voor de kleur groen vijf keer zo klein en voor de kleur blauw is de ruis op lange termijn bijna tien keer zo groot als de ruis op korte termijn.

Voor de A3 transmissie modus is de ruis op korte termijn bijna twee keer zo klein als de ruis op lange termijn. Bij de witte reflectie plaat is de ruis op korte en lange termijn bijna even groot.

4.2 Reproduceerbaarheid ratio/pixel

Via Matlab zijn per pixel de ratio's van tien scans bepaald. Van deze ratio's is per pixel het gemiddelde en de standaard deviatie over de tien scans berekend. Om de data te kunnen vergelijken wordt de standaard deviatie van de ratio's gedeeld door de gemiddelde waarde van de pixel, zie formule 2. Uit de berekende sigma voor elke pixel, wordt de gemiddelde sigma van de hele film berekend.

De gemiddelde sigma en de bijbehorende standaard deviatie zijn in de volgende tabellen te vinden:

De resultaten van de ruis over de ratio's op korte termijn van de A4 scanner zijn te vinden in tabel 7 en in de figuren 8, 10, 11 en 13.

De resultaten van de ruis over de ratio's op lange termijn van de A4 scanner zijn te vinden in tabel 8 en in figuur 9 en 12.

De resultaten van de ruis over de ratio's op korte termijn van de A3 scanner zijn te vinden in tabel 9 en in figuur 14 en 16.

De resultaten van de ruis over de ratio's op lange termijn van de A3 scanner zijn te vinden in tabel 10 en in figuur 15 en 17.

Wat op valt in de resultaten is dat de spiegel, in vergelijking met de rest, een hoge standaard deviatie heeft. De verklaring dat deze standaard deviatie zo hoog is, is de zelfde verklaring als in §4.1.

Voor de A4 scanner is het verschil tussen de ruis op korte termijn en de ruis op lange termijn van de transmissie klein, ongeveer 0,05%. Het verschil in ruis op korte en lange termijn voor de witte reflectie plaat is voor de ratio rood - blauw bijna een factor tien. Hoe dit verschil zo groot kan zijn, is niet bekend.

Voor de A3 scanner zijn de verschillen in ratio's op korte en lange termijn erg klein. Voor zowel de transmissie modus als de witte reflectie plaat modus is het verschil ongeveer 0,02%.

4.3 Opstarten lamp

Via Matlab zijn de ODs van de zeven scans met elkaar vergeleken, zie figuur 18 tot en met 22. De variaties tussen de scans vallen binnen de ruis die bij iedere scan-methoden gemeten is. Dit betekent dat de lamp zelf vermoedelijk stabiel is en de meetvariatie veroorzaakt wordt door de meeton nauwkeurigheid (ruis).

4.4 Spectrum

Om de waarden voor *hoog* en *laag* uit tabel 2 te bepalen, wordt van elke scan modus de standaard deviatie van de ratio vergeleken met de standaard deviatie over de kleuren. Indien de standaard deviatie van de ratio lager is dan de som van de standaard deviatie van de twee kleuren, krijgt dit de waarde *laag*. Indien de standaard deviatie van de ratio groter of gelijk is aan de standaard deviatie van de twee kleuren, krijgt dit de waarde *hoog*. De gevonden waarden zijn voor elke scan modus uitgezet in tabel 11.

In tabel 11 is te zien dat voor zowel op korte termijn als op lange termijn het spectrum van de scanner in alle situaties constant blijft, ongeacht de gebruikte scanner.

4.5 Reproducibiliteit lateraal effect

Om er zeker van te zijn dat het gemeten lateraal effect reproduceerbaar is, is voor elke situatie drie keer het lateraal effect berekend. De resultaten van de drie kleuren zijn vervolgens voor elke meting met elkaar vergeleken. Een kleur is reproduceerbaar als de maximale uitwijkingen van de drie metingen binnen de eerder bepaalde ruis valt.

De variatie in de drie metingen zijn in figuur 28 tot en met figuur 32 weergegeven voor een dosis van 400 cGy.

Voor de transmissie modus zijn voor zowel de A4 als de A3 scanner de drie kleuren reproduceerbaar en consistent aan de theorie.

Voor de witte reflectie plaat zijn bij zowel de A4 als de A3 scanner de kleuren rood en groen reproduceerbaar. De kleur blauw blijkt niet consistent aan de theorie te zijn.

Bij de spiegel is alleen het rode kanaal voor het lateraal effect reproduceerbaar.

Dat de kleur blauw in reflectie modus niet reproduceerbaar is, is te verklaren met behulp van de Rayleighverstrooiing. De verstrooiing van het licht is golflengte afhankelijk met $1/\lambda^4$. Blauw licht heeft een golflengte die ongeveer twee keer zo kort is als rood licht en wordt daardoor ongeveer 16 keer zo goed verstrooid.

4.6 Lateraal effect

In de figuren 23 tot en met 27 zijn de laterale curves van één meting per kleur gegeven als functie van de dosis. Het lateraal effect is dosis afhankelijk en er valt dus niet één waarde voor de afwijking te geven. De gegeven waarden zijn de waarden van de maximale uitwijking voor de kleuren die reproduceerbaar zijn.

Bij de A4 scanner is in de transmissie modus de maximale afwijking voor de kleur rood 12%. Voor de kleur groen is de maximale afwijking 10% en voor de kleur blauw 4%. De drie kleuren hebben aan beide zijanten ongeveer dezelfde afwijking.

Voor de A3 scanner in de transmissie modus hebben de drie kleuren aan de zijanten ook ongeveer dezelfde afwijking. De maximale afwijking voor de kleur rood 15%, voor de kleur groen is de maximale afwijking 8% en voor de kleur blauw 6%. Vanuit de scanner constructie komt dit overeen met de verwachtingen.

Voor de A4 scanner is met behulp van de witte reflectie plaat de maximale afwijking voor de kleur rood 11% aan beide kanten van de scanner. De kleur groen heeft aan de linkerkant van de scanner een afwijking van 2% en aan de rechterkant van de scanner een afwijking van -2%. De reden van deze asymmetrie is niet duidelijk.

Voor de A3 scanner is met behulp van de witte reflectie plaat de maximale afwijking voor de kleur rood 13% aan beide kanten van de scanner. De kleur groen heeft aan de linkerkant van de scanner een

afwijking maximaal 1% en aan de rechterkant van de scanner een afwijking van -3%. De reden van deze asymmetrie is niet duidelijk.

De spiegel heeft voor de kleur rood aan de linkerzijde een maximale afwijking van -15%, aan de rechterzijde heeft de scanner een maximale afwijking van -25%.

4.7 Polarisatie

De ligging van de film ten opzichte van de x-positie op de glasplaat heeft invloed op de OD waarde. De afwijking ten opzichte van de rotatiehoek is voor de drie kleuren en drie situaties te vinden in figuur 33 tot en met 35. De amplitude ten opzichte van de dosis is te vinden in figuur 36 tot en met 38 en de fase ten opzichte van de dosis is te vinden in figuur 39 tot en met 41. De waarden van de fit resultaten *A* en de *fase* zijn te vinden in tabel 12 tot en met 14.

In de figuren 36 tot en met 38 is te zien dat de polarisatie de kleinste afwijking heeft indien er wordt gescand met behulp van de witte reflectie plaat met een maximale afwijking van $\sim 0,8\%$. De maximale afwijking in transmissie modus is 2% en de maximale afwijking bij de spiegel is 2,5%.

De kleur blauw polariseert bij de drie situaties ten opzichte van de andere kleuren weinig. Dit komt overeen met de verwachting.

De amplitude vertoont alleen een logisch verband, afhankelijk van de dosis, indien er in transmissie wordt gemeten. Voor de witte reflectie en de spiegel is er geen logisch verband tussen de amplitude en de dosis. Voor de fase is alleen voor de transmissie modus een effect als functie van de dosis waarneembaar. De fase bij de witte reflectie plaat en de spiegel lijkt constant. Dit komt mogelijk door de dubbele gang van het licht door de film en de reflectie aan het oppervlakte van de film.

5. Conclusie

Om de kleinste onnauwkeurigheid in de gemeten dosis te hebben, wordt geadviseerd om de bestraalde films uit te lezen in transmissie modus op de A4 scanner.

De transmissie modus heeft de kleinste ruis in de kleurkanalen en de kleinste ruis in de ratio. Het spectrum is op de A4 scanner voor zowel op korte als op lange termijn het meest constant van alle scan methoden. Indien in er in transmissie modus gemeten wordt is triple color correction mogelijk.

Wanneer bij een triple color correctie controle de ratio verhoudingen tussen het rode en groene kanaal veel groter zijn dan de ruis van 0,23%, is de uitgevoerde scan niet betrouwbaar. Dit kan het gevolg zijn van een kapotte scanner.

Het is belangrijk dat de bestraalde film in de zelfde richting wordt gescand als de kalibratie film. Indien hier verschil in is, komt door de polarisatie van de film de waarde voor de dois niet overeen met de kalibratie film.

Indien er gedurende een periode langer dan een uur geen scans worden gemaakt met de scanner, wordt er geadviseerd om eerst een nieuwe I_0 scan te maken. Voor bestraalde films die in kortere periodes achter elkaar worden gescand, is hiertoe geen noodzaak en is het voldoende om een I_0 scan die binnen het afgelopen uur gescand is te gebruiken.

6. Bronnen

1. <http://scripts.kwfkankerbestrijding.nl/bestellingen/documents/brochure-behandeling-radiotherapie-adiotherapie.pdf>
2. S. Park, "Variations in dose distribution and optical properties of Gafchromictm EBT 2 film according to scanning mode" April 2012
3. H. Alva, "The use of reflective scanner to study radiochromic film response" August 2002
4. L.J. van Battum, "Lateral optical density variation in flatbed scanners in combination with Gafchromic film" February 2014
5. E. Hecht, "Optics", 4ed, Addison Wesley, San Fransico USA
6. R.R. Mayer, "Enhanced dosimetry procedures and assessment for EBT2 radiochromic film" March 2012

Appendix A: Begrippenlijst

EBT	External Beam Threatment
dpi	Dots Per Inch
tiff	Tagged Image File Formate
ADC	Analog to Digital Converter
OD	Optical Density
CCD	Charge-coupled Device
OPL	Optische Pad Lengte
RGB	Rood, Groen en Blauw

Appendix B: Tabellen

Tabel 3: reproduceerbaarheid A4 scanner op korte termijn

ADC	Transmissie, deksel 1		Transmissie, deksel 2		Witte reflectieplaat		Spiegel	
	gem	stdev	gem	stdev	gem	stdev	gem	stdev
Rood	0.20%	0.07%	0.34%	0.11%	0.22%	0.07%	3.68%	5.32%
Groen	0.22%	0.08%	0.38%	0.12%	0.24%	0.85%	3.37%	4.78%
Blauw	0.28%	0.12%	0.51%	0.16%	0.27%	0.07%	2.24%	2.21%
OD								
Rood	0.18%		0.29%		0.19%		3.20%	
Groen	0.19%		0.33%		0.21%		2.93%	
Blauw	0.24%		0.44%		0.23%		1.95%	

Tabel 4: reproduceerbaarheid A4 scanner op lange termijn

ADC	Transmissie		Witte reflectieplaat	
	gem	stdev	gem	stdev
Rood	0.40%	0.24%	1.11%	0.65%
Groen	0.44%	0.24%	1.41%	0.85%
Blauw	0.45%	0.23%	2.38%	1.20%
OD				
Rood	0.35%		0.96%	
Groen	0.38%		1.22%	
Blauw	0.39%		2.07%	

Tabel 5: reproduceerbaarheid A3 scanner op korte termijn

ADC	Transmissie		Witte reflectieplaat	
	gem	stdev	gem	stdev
Rood	0.27%	0.09%	0.41%	0.10%
Groen	0.27%	0.09%	0.48%	0.11%
Blauw	0.36%	0.10%	0.51%	0.12%
OD				
Rood	0.23%		0.35%	
Groen	0.23%		0.42%	
Blauw	0.31%		0.44%	

Tabel 6: reproduceerbaarheid A3 scanner op lange termijn

ADC	Transmissie		Witte reflectieplaat	
	gem	stdev	gem	stdev
Rood	0.40%	0.18%	0.42%	0.28%
Groen	0.45%	0.18%	0.46%	0.28%
Blauw	0.47%	0.19%	0.46%	0.30%
OD				
Rood	0.35%		0.36%	
Groen	0.39%		0.40%	
Blauw	0.41%		0.40%	

Tabel 7: reproduceerbaarheid ratio's A4 scanner op korte termijn

ADC	Transmissie, deksel 1		Transmissie, deksel 2		Witte reflectieplaat		Spiegel	
	gem	stdev	gem	stdev	gem	stdev	gem	stdev
Rood/Blauw	0.26%	0.09%	0.31%	0.08%	0.25%	0.07%	4.10%	1.78%
Groen/Blauw	0.25%	0.09%	0.29%	0.08%	0.26%	0.08%	3.85%	1.70%
Rood/Groen	0.23%	0.08%	0.24%	0.07%	0.23%	0.06%	4.80%	2.22%
OD								
Rood/Blauw	0.23%		0.27%		0.22%		3.56%	
Groen/Blauw	0.22%		0.26%		0.22%		3.34%	
Rood/Groen	0.20%		0.21%		0.20%		4.18%	

Tabel 8: reproduceerbaarheid ratio's A4 scanner op lange termijn

ADC	Transmissie		Witte reflectieplaat	
	gem	stdev	gem	stdev
Rood/Blauw	0.31%	0.14%	2.11%	0.61%
Groen/Blauw	0.27%	0.14%	1.66%	0.44%
Rood/Groen	0.29%	0.16%	0.54%	0.23%
OD				
Rood/Blauw	0.23%		1.83%	
Groen/Blauw	0.23%		1.44%	
Rood/Groen	0.31%		0.47%	

Tabel 9: reproduceerbaarheid ratio's A3 scanner op korte termijn

ADC	Transmissie		Witte reflectieplaat	
	gem	stdev	gem	stdev
Rood/Blauw	0.28%	0.08%	0.41%	0.11%
Groen/Blauw	0.26%	0.08%	0.40%	0.11%
Rood/Groen	0.26%	0.08%	0.40%	0.11%
OD				
Rood/Blauw	0.23%		0.35%	
Groen/Blauw	0.23%		0.42%	
Rood/Groen	0.31%		0.44%	

Tabel 10: reproduceerbaarheid ratio's A3 scanner op lange termijn

ADC	Transmissie		Witte reflectieplaat	
	gem	stdev	gem	stdev
Rood/Blauw	0.26%	0.07%	0.40%	0.13%
Groen/Blauw	0.26%	0.07%	0.40%	0.11%
Rood/Groen	0.27%	0.07%	0.40%	0.11%
OD				
Rood/Blauw	0.23%		0.35%	
Groen/Blauw	0.23%		0.42%	
Rood/Groen	0.31%		0.44%	

Tabel 11: Ruis kanaal - ruis ratio

	Transmissie (deksel 1)	Transmissie (deksel 2)	Witte reflectieplaat	Spiegel
A4 kort	Laag	Laag	Laag	Laag
A4 Lang	Laag	n.v.t.	Laag	n.v.t.
A3 kort	Laag	n.v.t.	Laag	n.v.t.
A3 Lang	Laag	n.v.t.	Laag	n.v.t.

Tabel 12: Constante transmissie

	$A_{rood}(OD)$	$A_{groen}(OD)$	$A_{blauw}(OD)$	$Fase_{rood}(\theta)$	$Fase_{groen}(\theta)$	$Fase_{blauw}(\theta)$
0	-0.005	-0.004	0.006	3.33	1.83	0.06
200	0.013	0.010	0.007	0.29	0.34	0.24
400	0.016	0.014	0.008	0.25	0.14	0.10
600	0.016	0.017	0.009	0.10	0.15	0.18

Tabel 13: Constante witte reflectie plaat

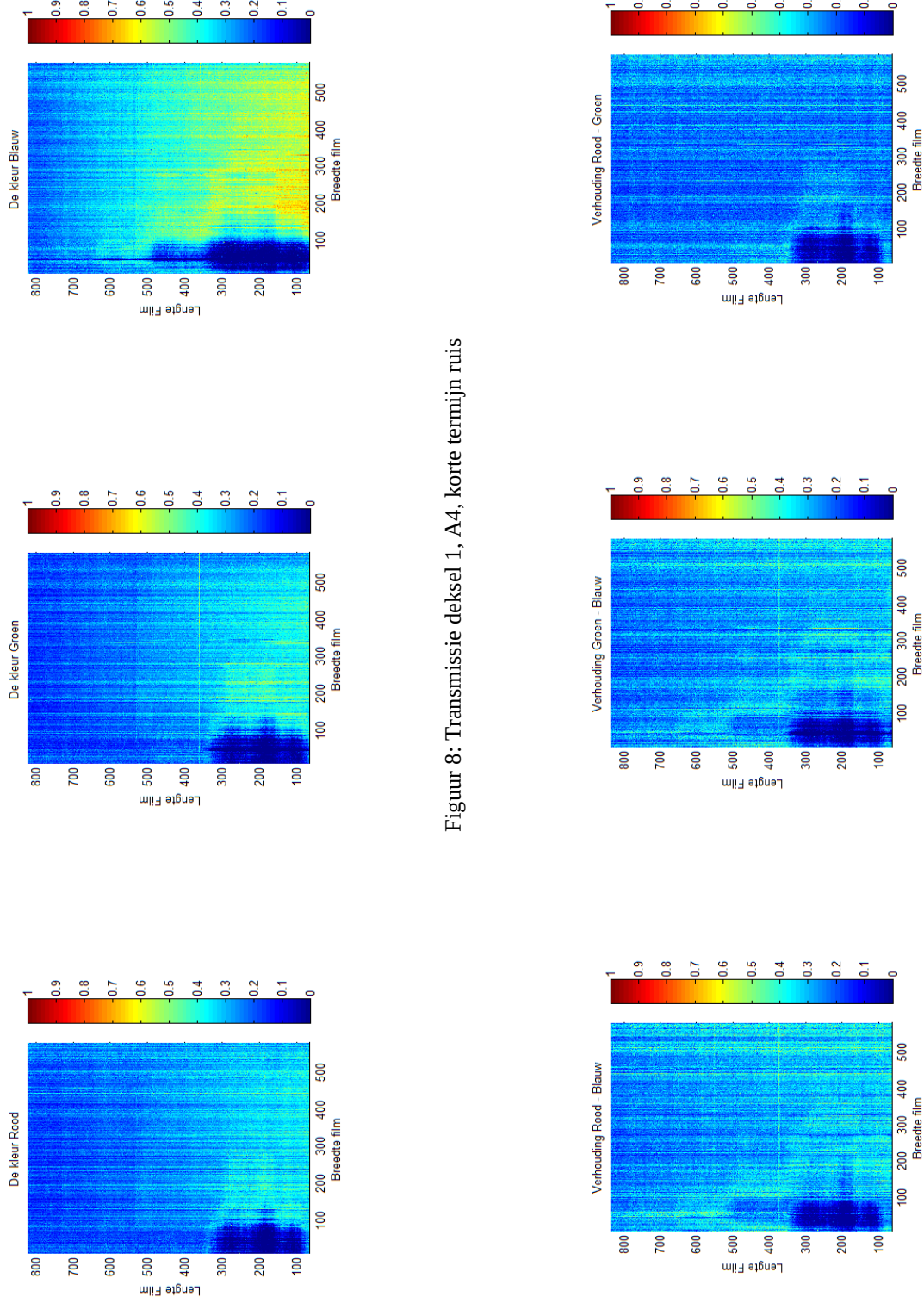
	$A_{rood}(OD)$	$A_{groen}(OD)$	$A_{blauw}(OD)$	$Fase_{rood}(\theta)$	$Fase_{groen}(\theta)$	$Fase_{blauw}(\theta)$
0	0.000	0.000	0.001	1.84	2.08	1.92
200	0.002	0.002	0.004	1.97	1.90	1.70
400	0.001	0.004	0.003	1.83	0.78	1.81
600	0.000	0.001	0.001	1.80	1.80	1.82

Tabel 14: Constante spiegel

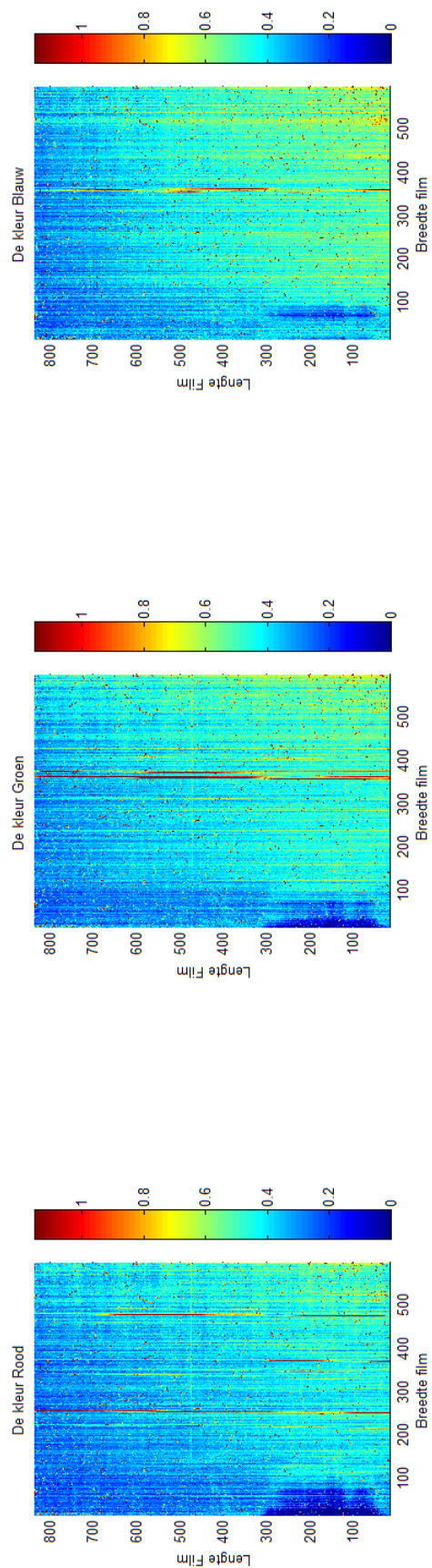
	$A_{rood}(OD)$	$A_{groen}(OD)$	$A_{blauw}(OD)$	$Fase_{rood}(\theta)$	$Fase_{groen}(\theta)$	$Fase_{blauw}(\theta)$
0	0.008	0.006	0.003	3.17	3.19	2.62
200	0.010	0.007	0.003	3.14	3.24	2.66
400	0.008	0.006	0.004	2.65	2.64	1.87
600	0.006	0.004	0.000	2.94	2.80	3.21

Appendix C: Grafieken

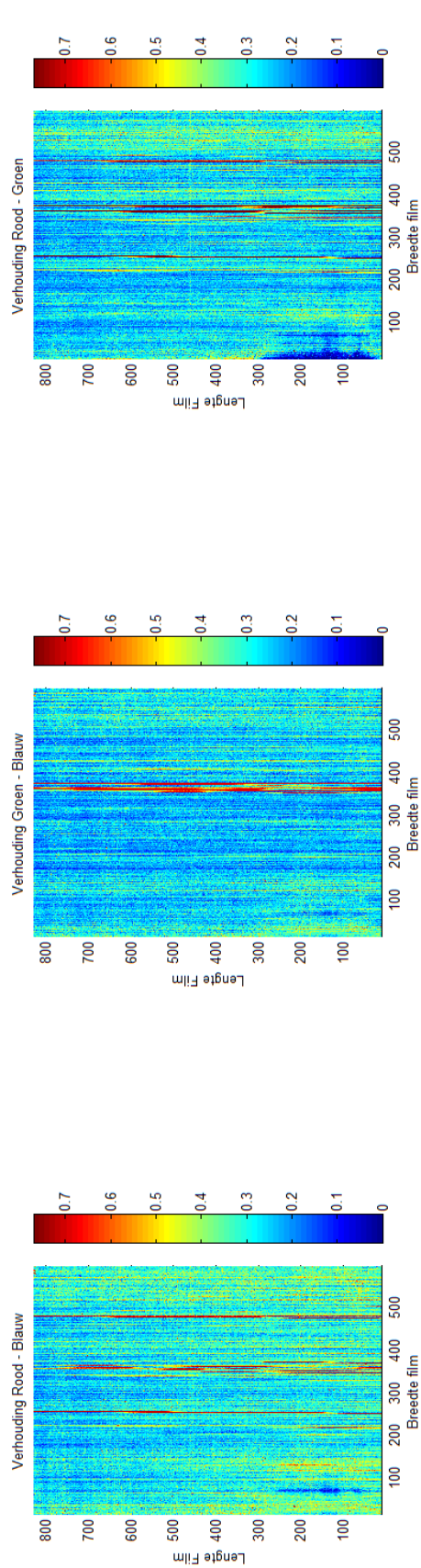
In figuur 8 t/m figuur 17 is de ruis van de kleurkanalen en de ruis van de ratio's te zien. Om de figuren correct te zien, dient de bladzijde 90 graden gedraaid te worden. De bovenste rij zijn de kleuren kanalen, de onderste rij zijn de ratio's. De assen zijn voor de drie kleuren als ook voor de ratio's aan elkaar gesteld. De kleur of ratio staat boven de afbeelding aangegeven. De maximale uitwijking en dus de schaalverdeling verschillen per scan methoden.

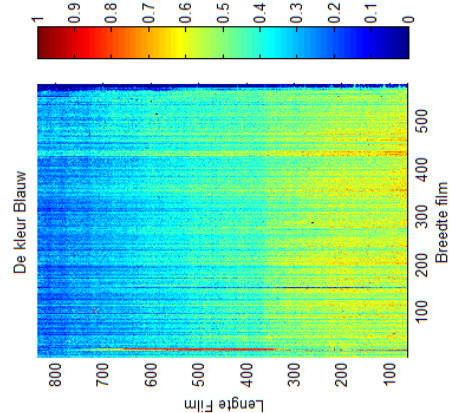
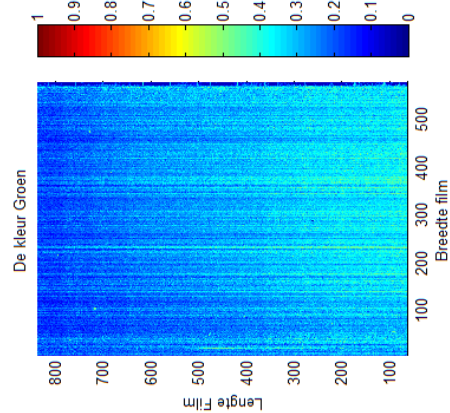
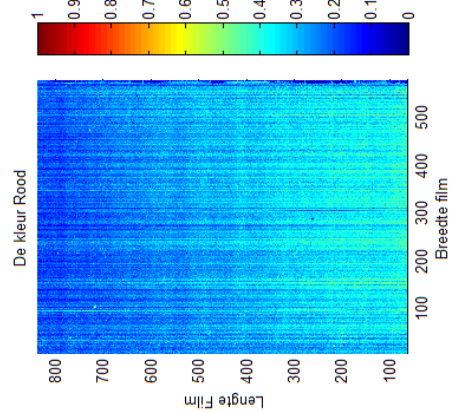


Figuur 8: Transmissie deksel 1, A4, korte termijn ruis

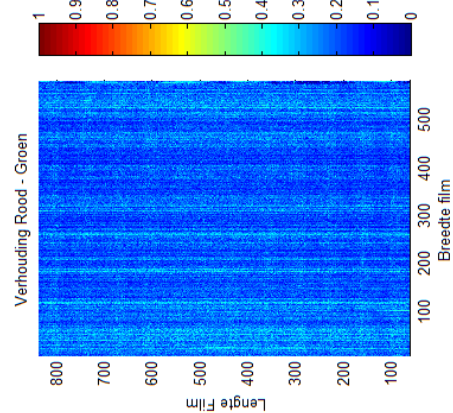
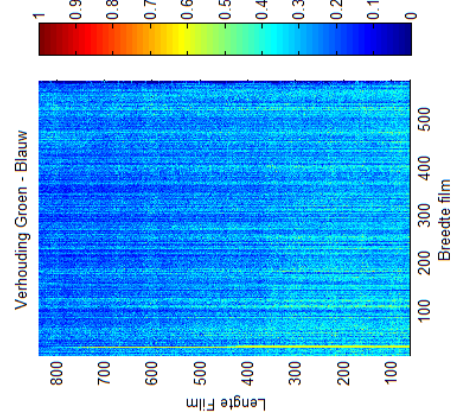
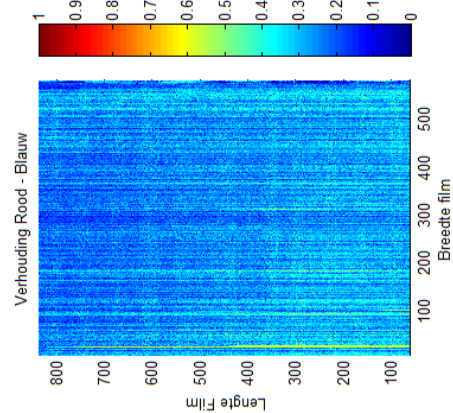


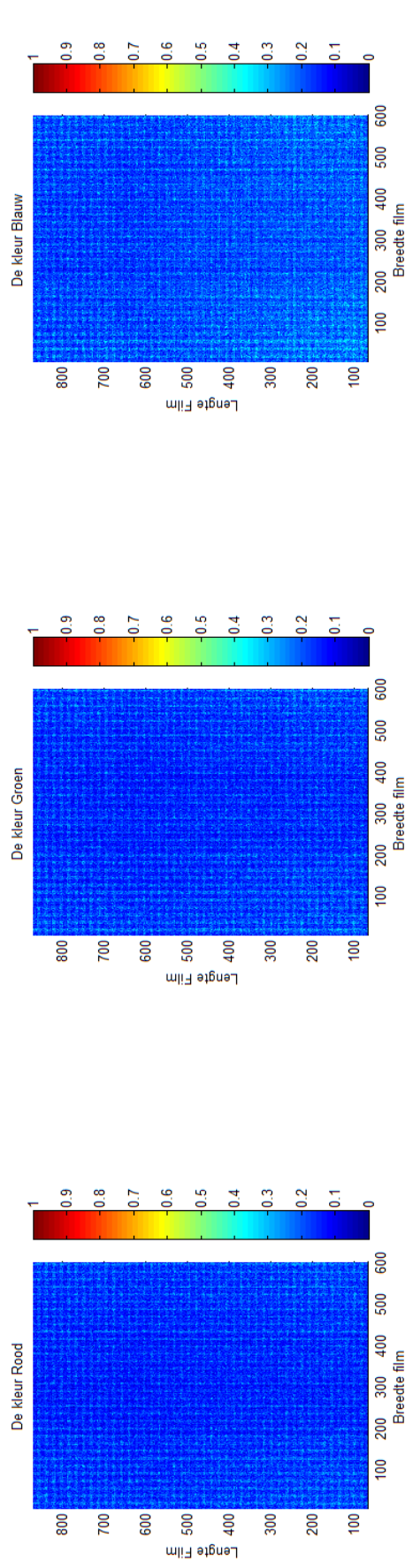
Figuur 9: Transmissie deksel 1, A4, lange termijn ruis



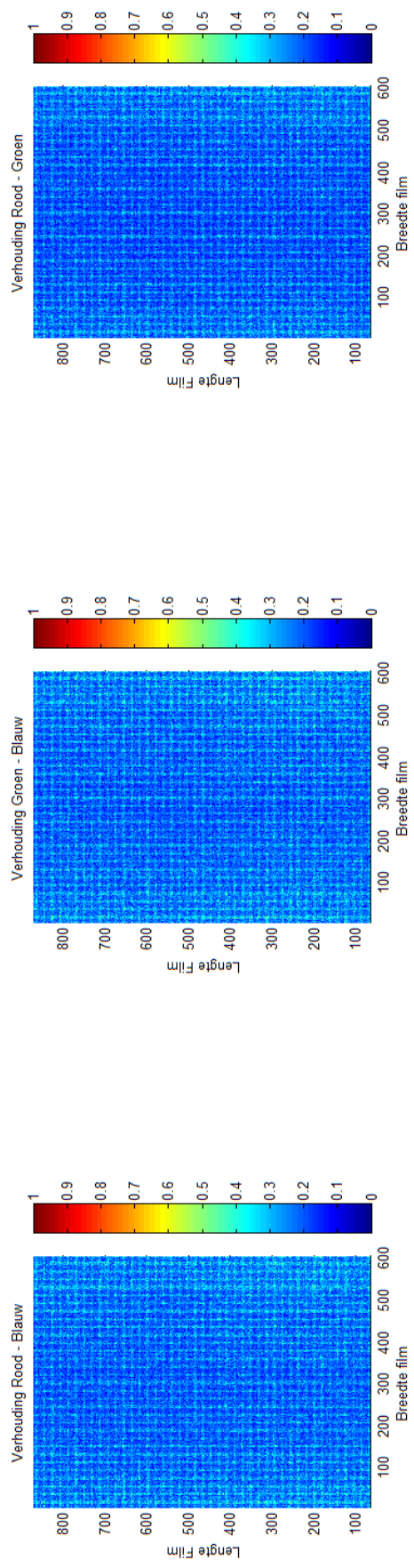


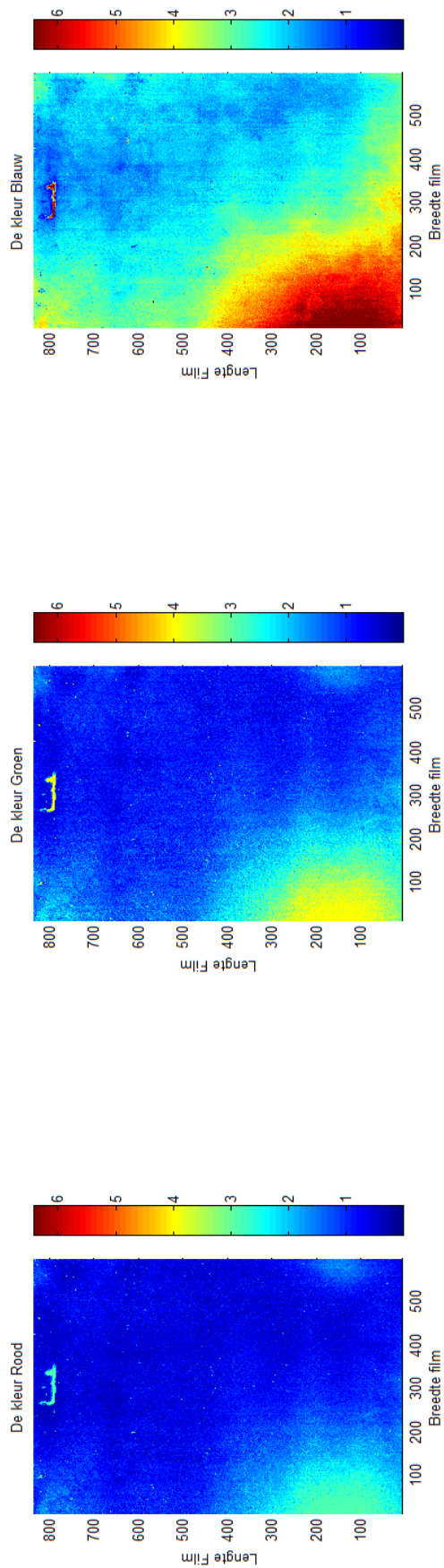
Figuur 10: Transmissie deksel 2, A4, korte termijn ruis



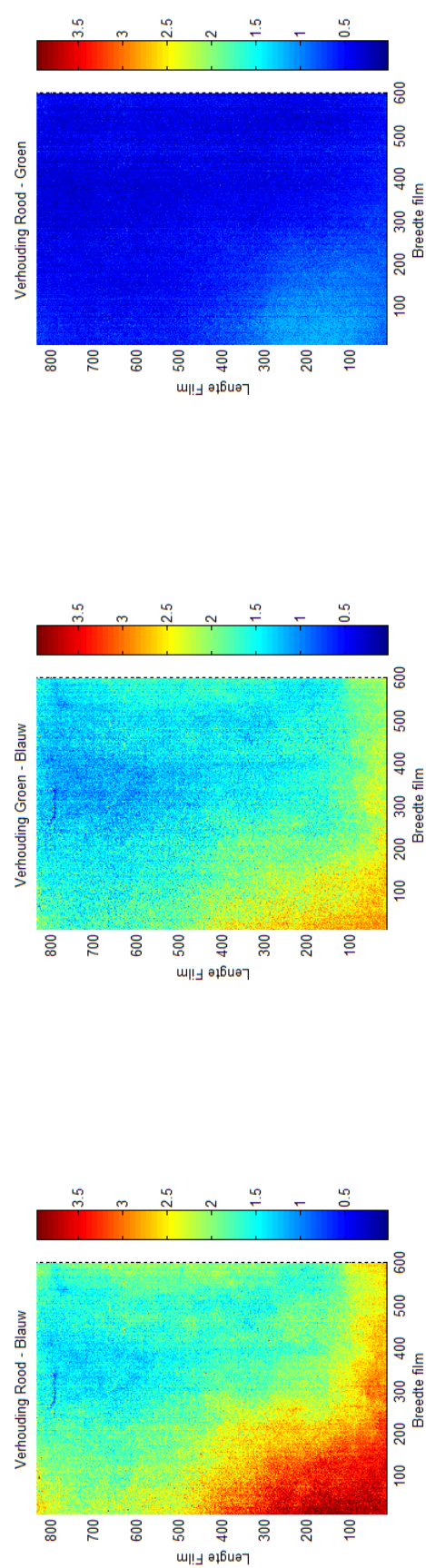


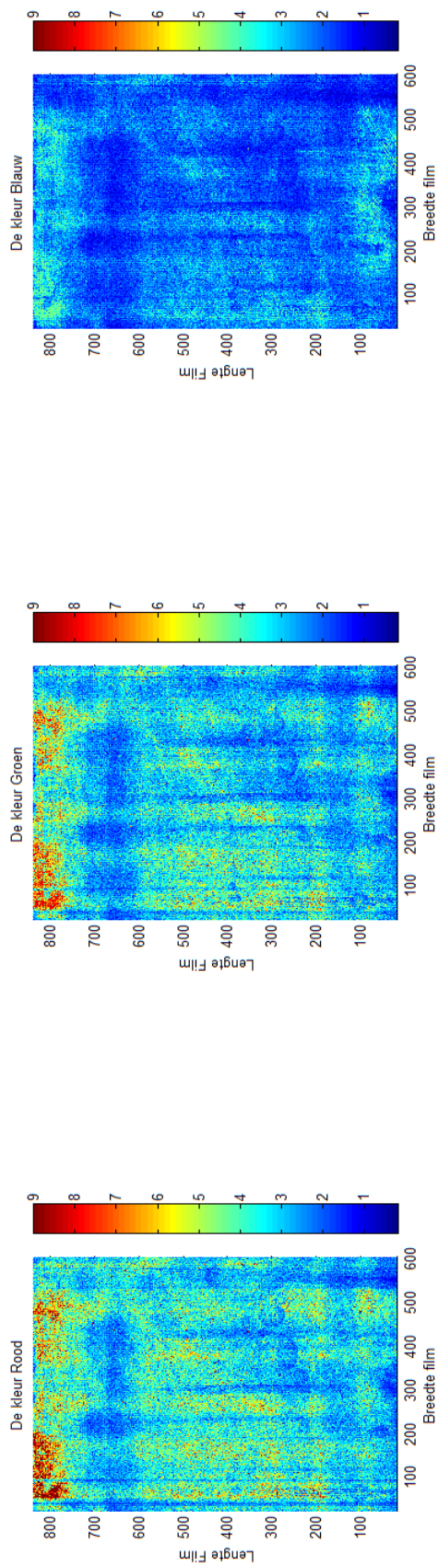
Figuur 11: Witte reflectie plaat, A4, korte termijn ruis



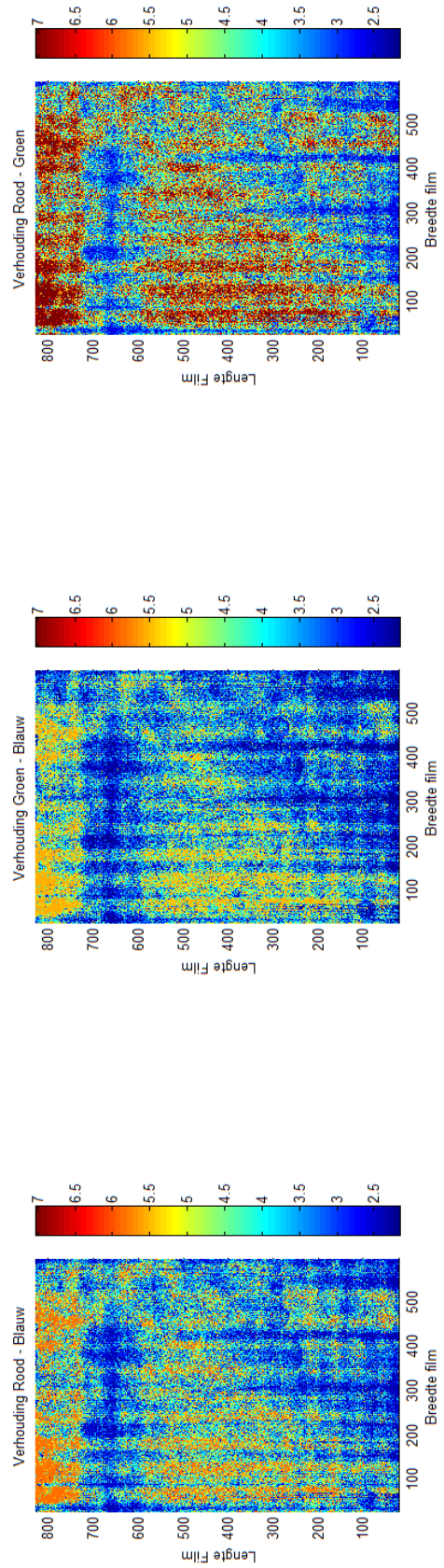


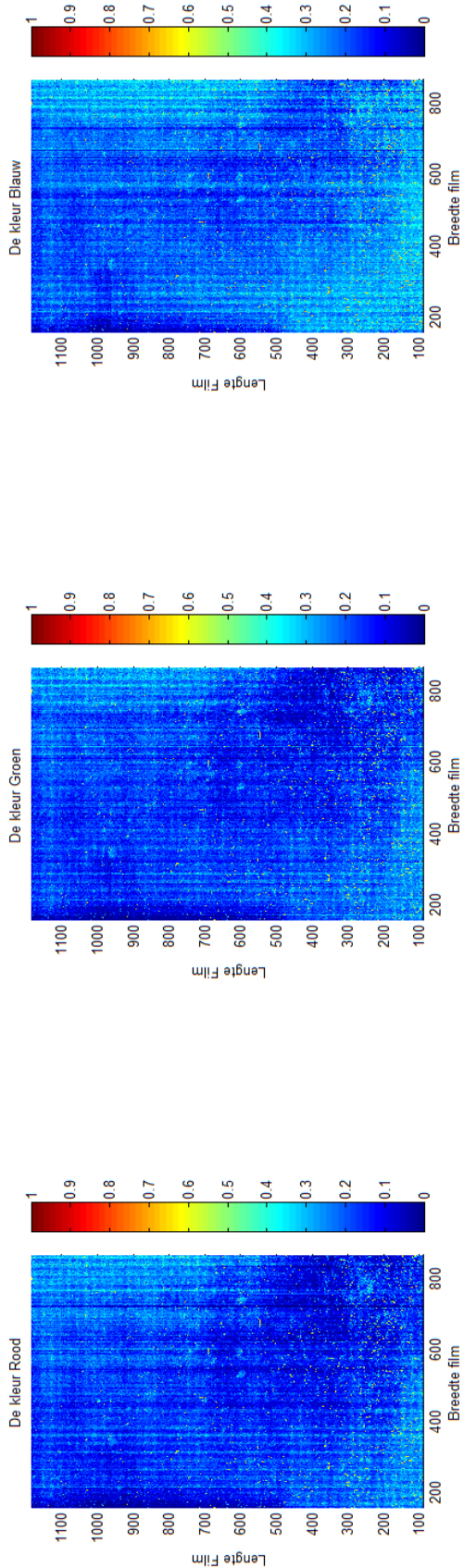
Figuur 12: Witte reflectie plaat, A4, lange termijn ruis



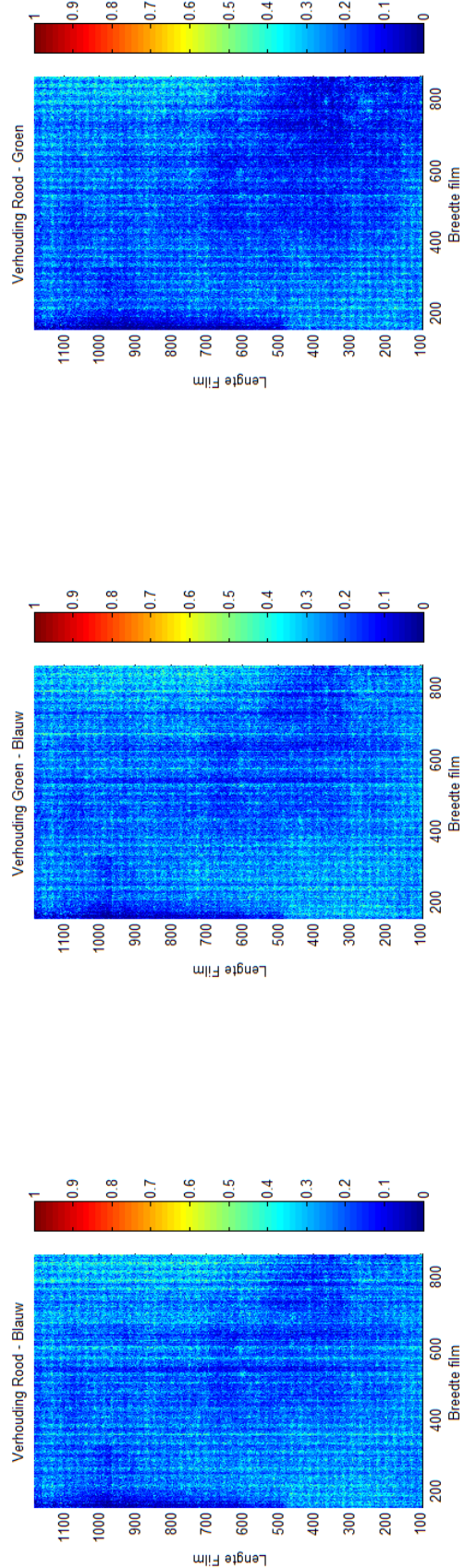


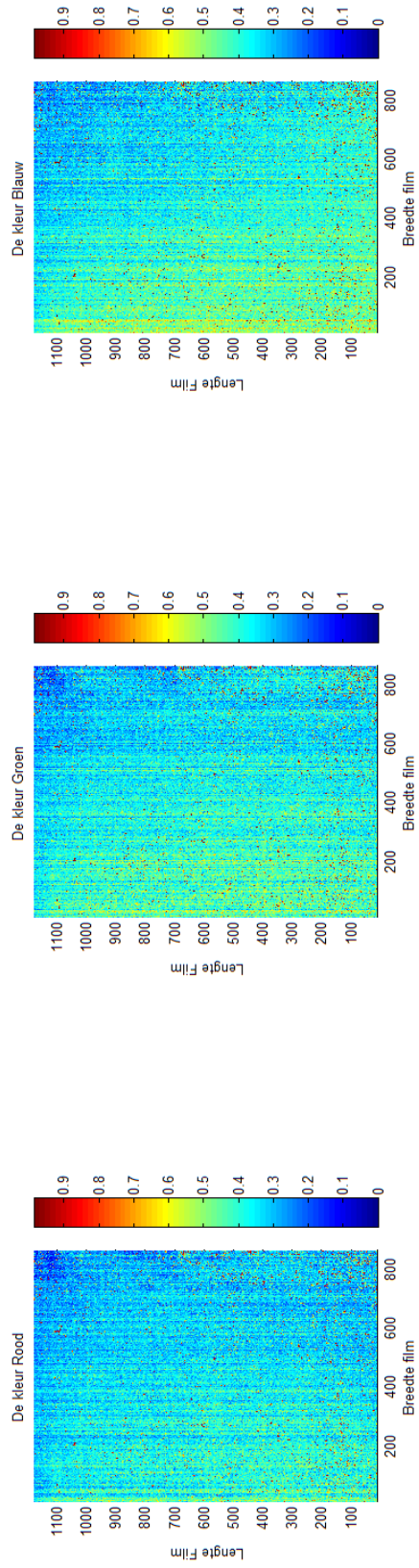
Figuur 13: Spiegel reflectie, A4, korte termijn ruis



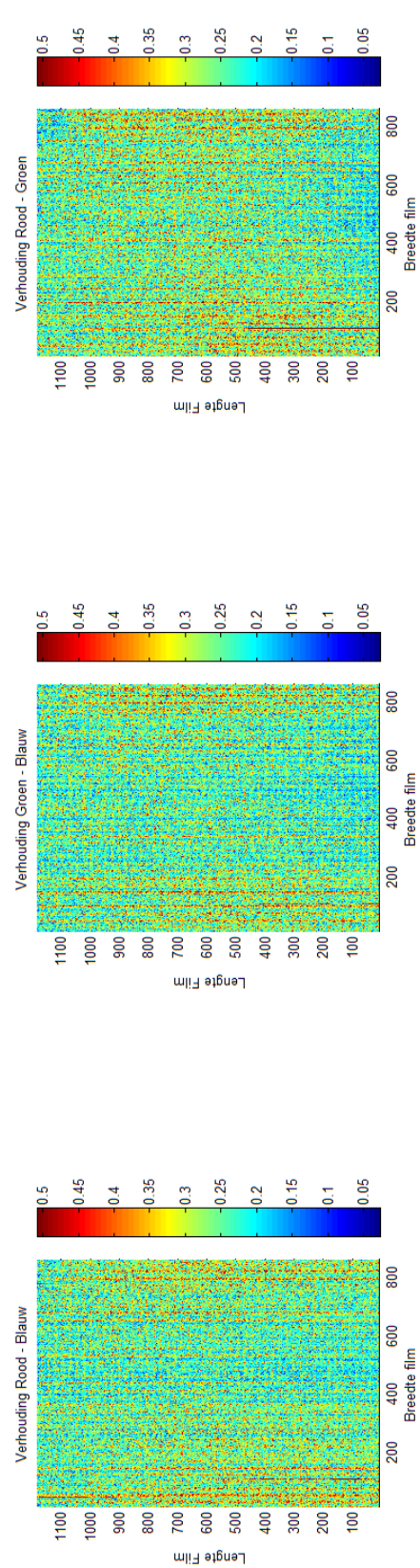


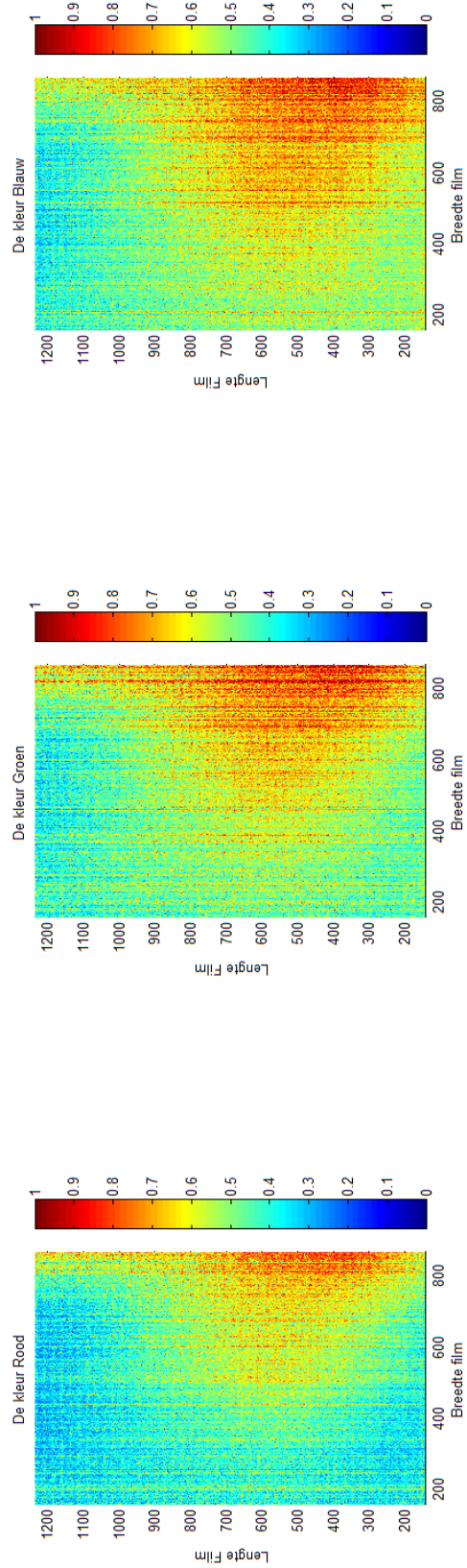
Figuur 14: Transmissie, A3, korte termijn ruis



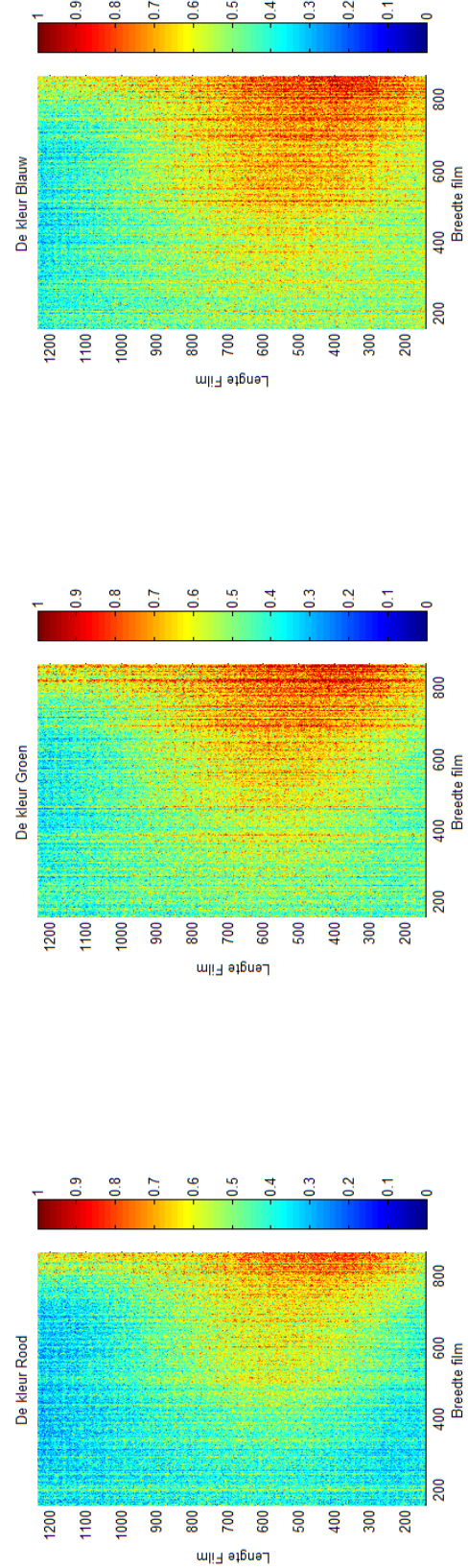


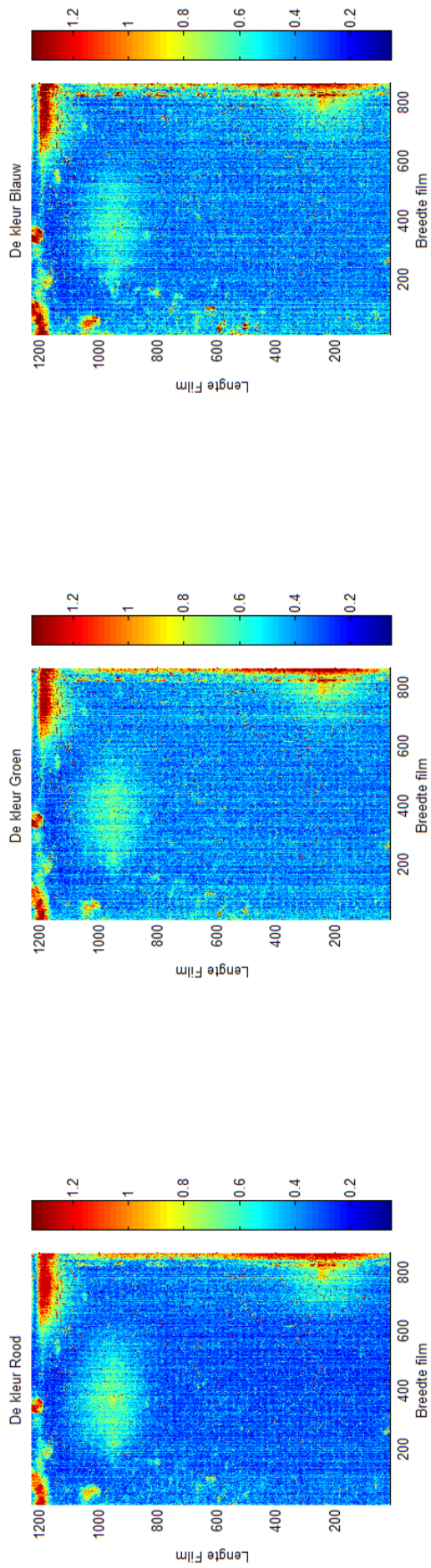
Figuur 15: Transmissie, A3, lange termijn ruis



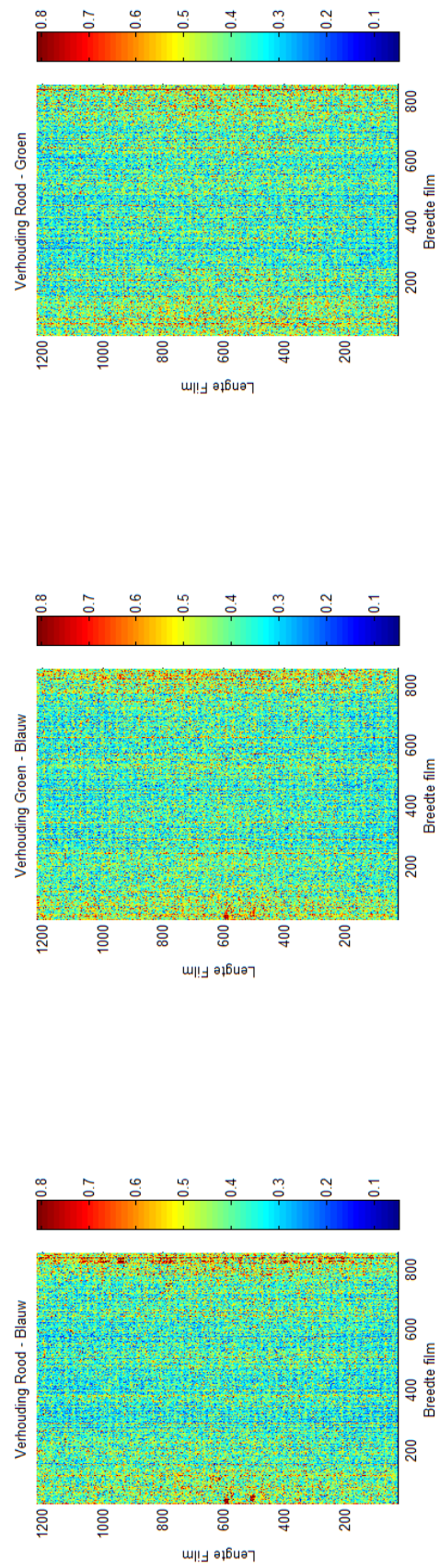


Figuur 16: Witte reflectie plaat, A3, korte termijn ruis

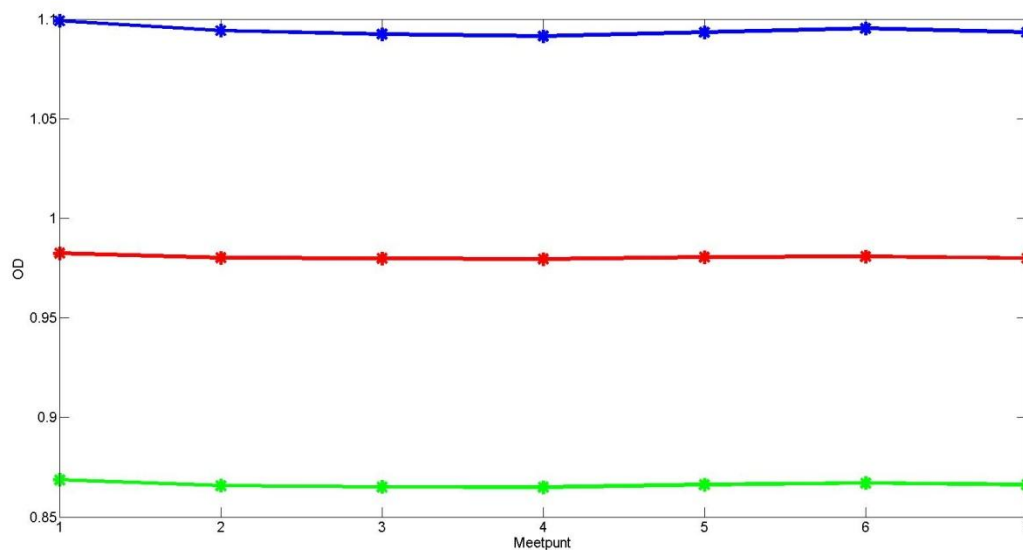




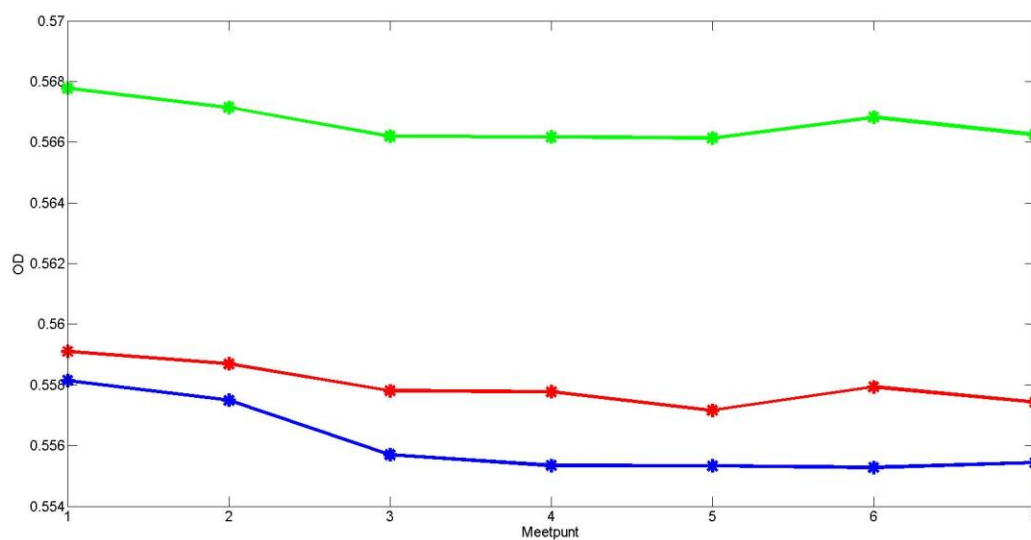
Figuur 17: Witte reflectie plaat, A3, lange termijn ruis



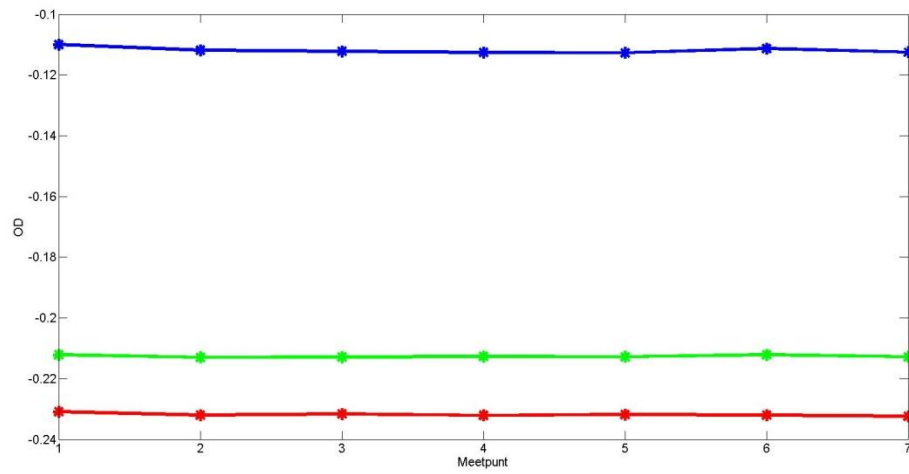
Om visueel een verband tussen de data punten te geven, is er in figuur 18 t/m 22 tussen de punten een lijn getrokken.



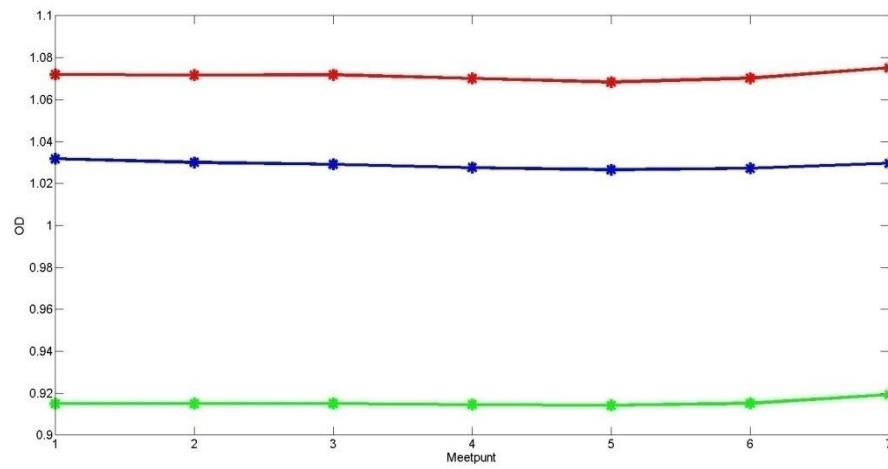
Figuur 18: Opwarmen lamp in transmissie modus, A4



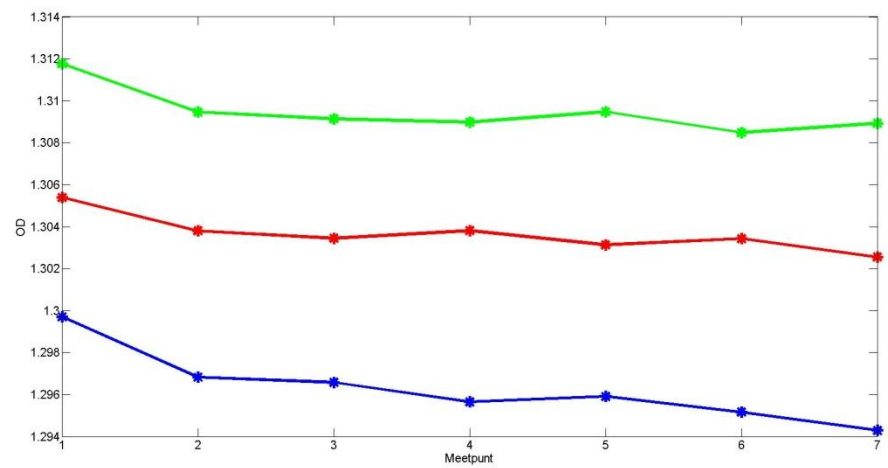
Figuur 19: Opwarmen lamp met witte reflectie plaat, A4



Figuur 20: Opwarmen lamp in reflectie met spiegel, A4

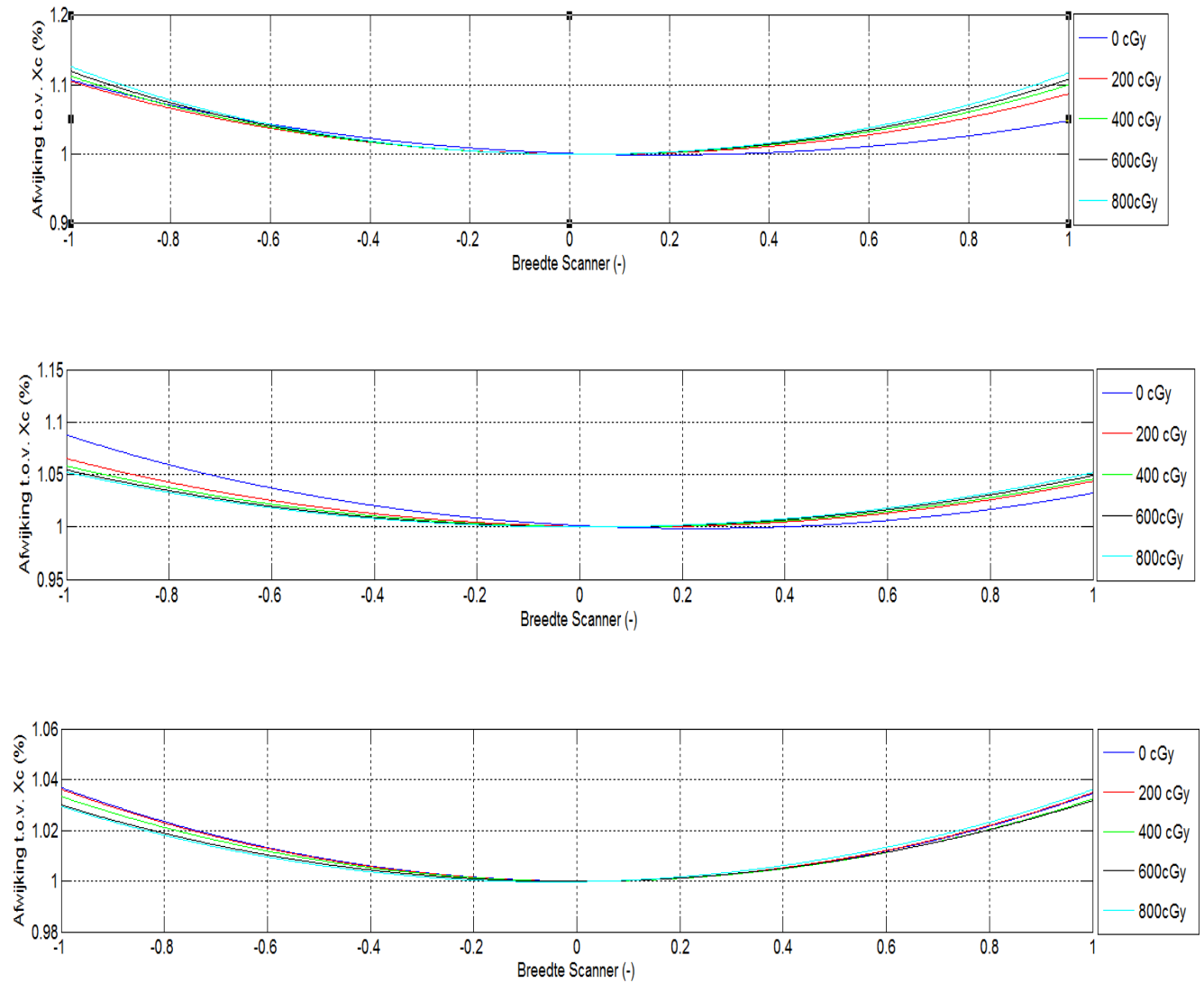


Figuur 21: Opwarmen lamp in transmissie modus, A3

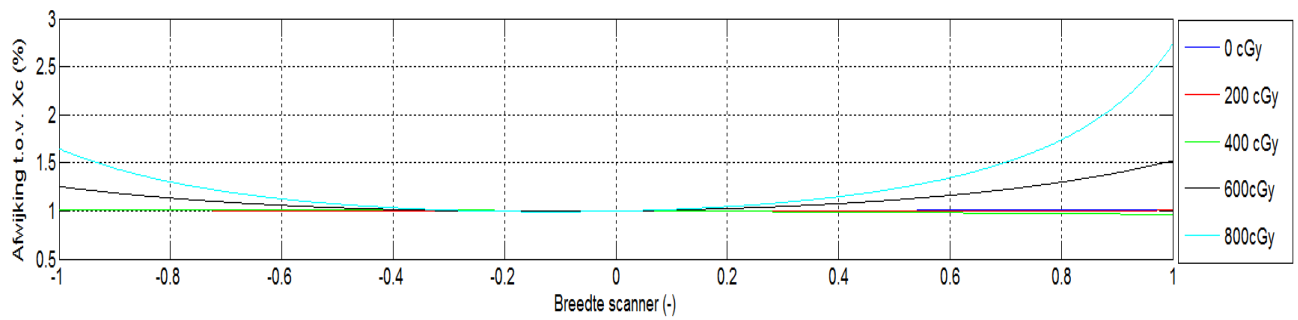
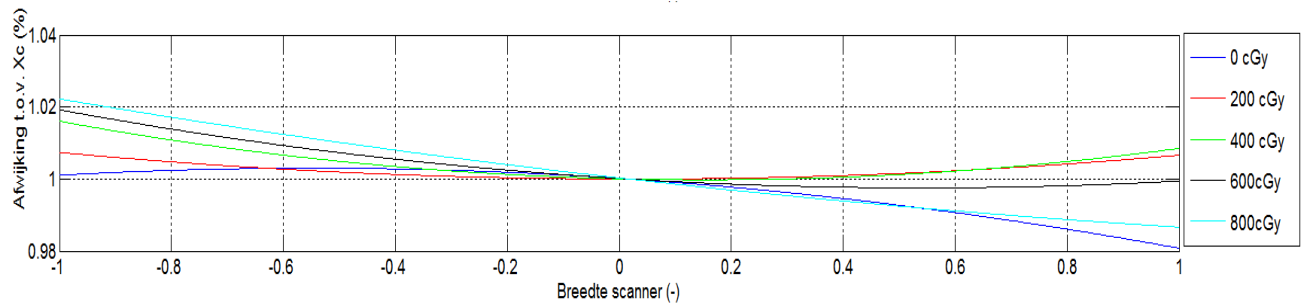
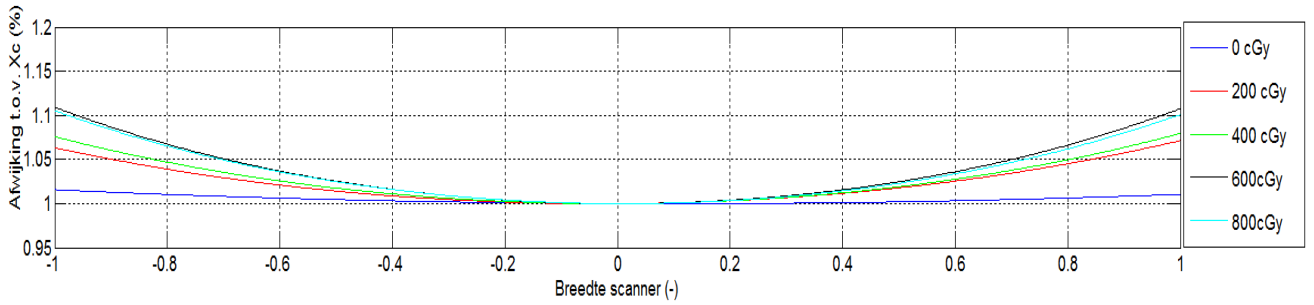


Figuur 22: Opwarmen lamp met witte reflectie plaat, A3

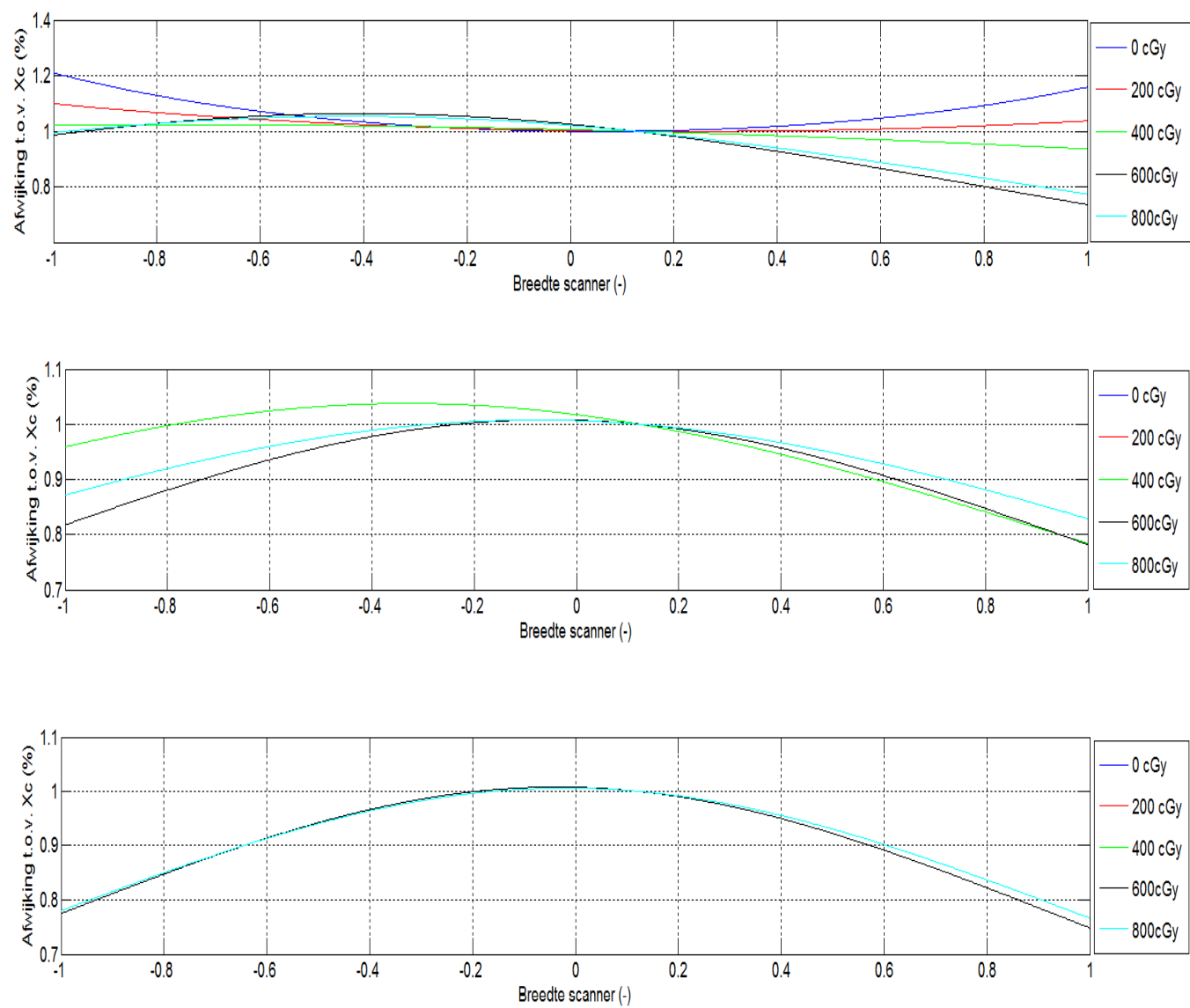
In figuur 23 t/m figuur 27 wordt de data van het lateraal effect van de verschillende scan methoden uitgezet. In elk van de figuren is het bovenste figuur de kleur rood, het middelste figuur de kleur groen en het onderste figuur de kleur blauw. Let op de eenheden op de y-as, deze zijn verschillend.



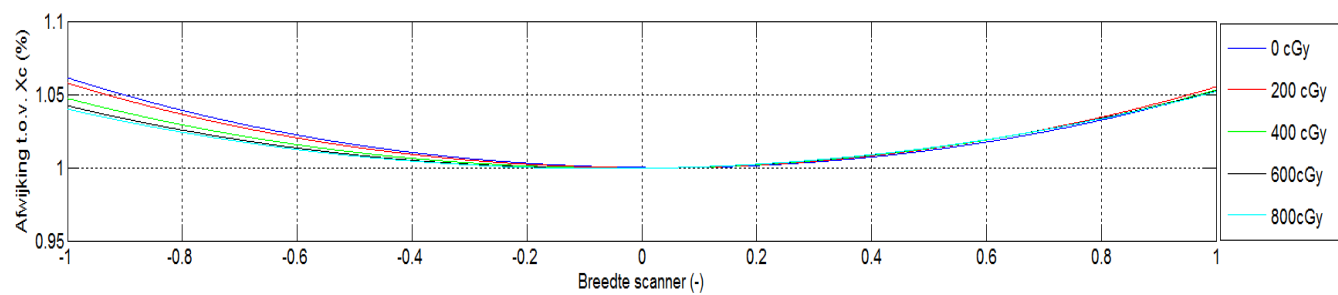
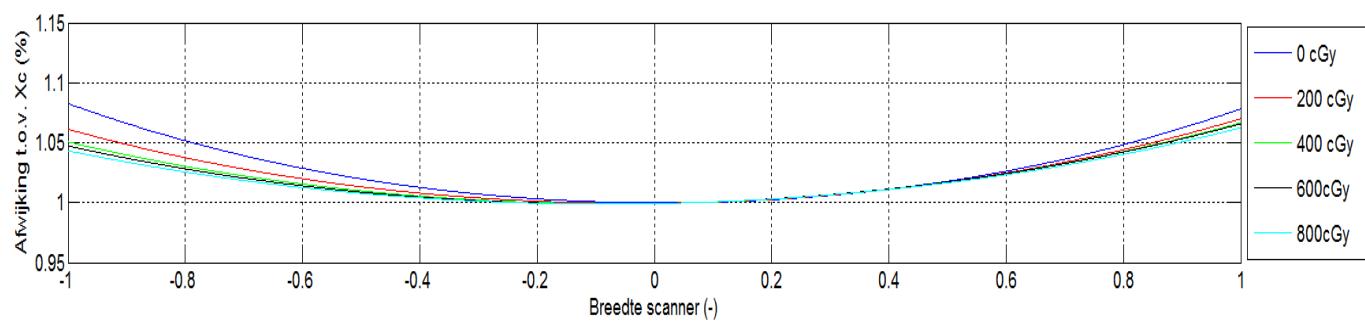
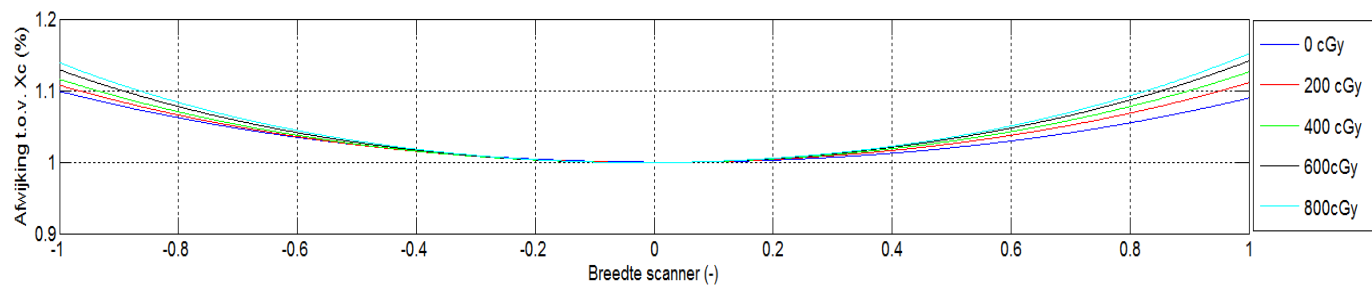
Figuur 23: Lateraal effect A4 transmissie



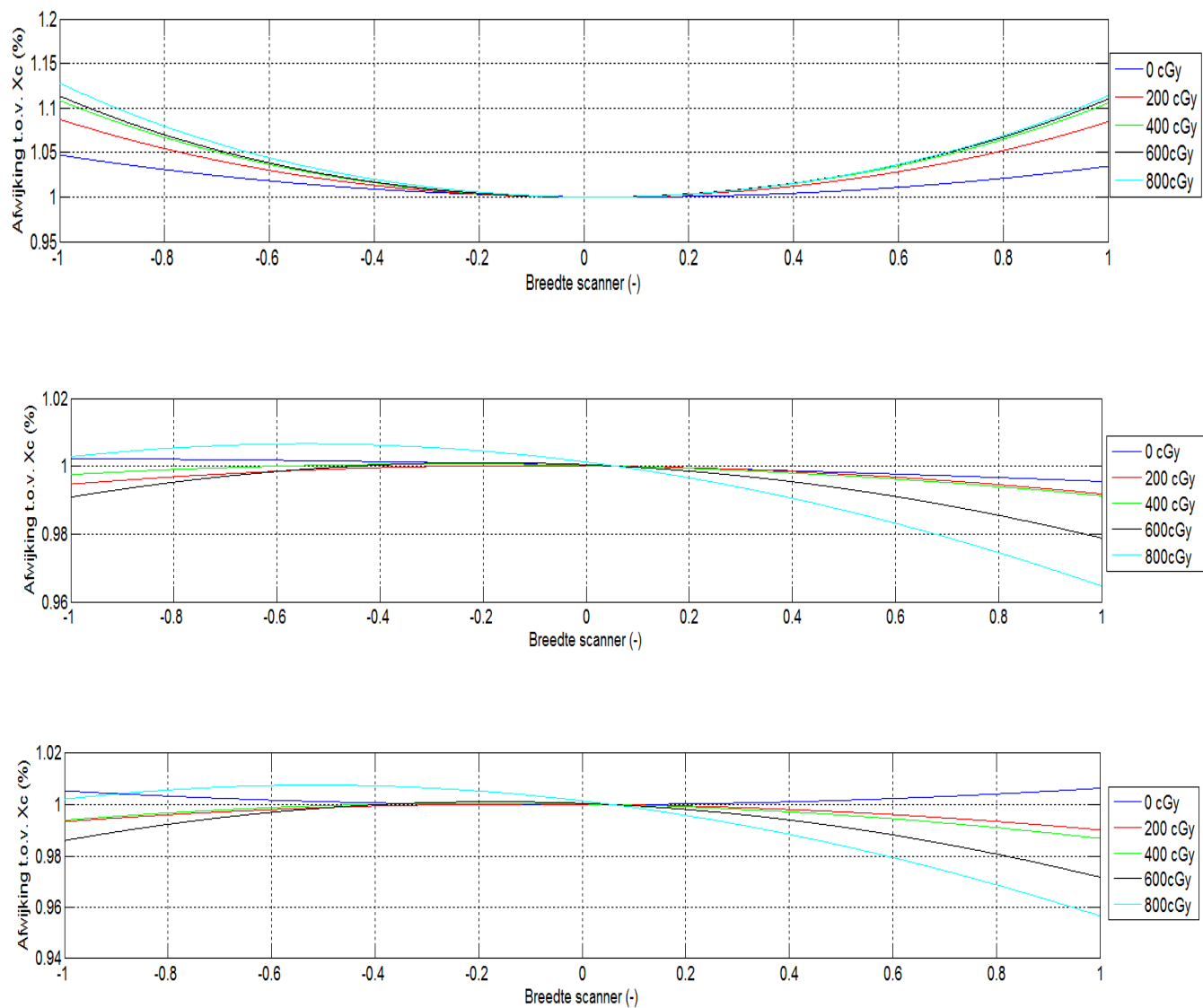
Figuur 24: Lateraal effect A4 witte reflectie plaat



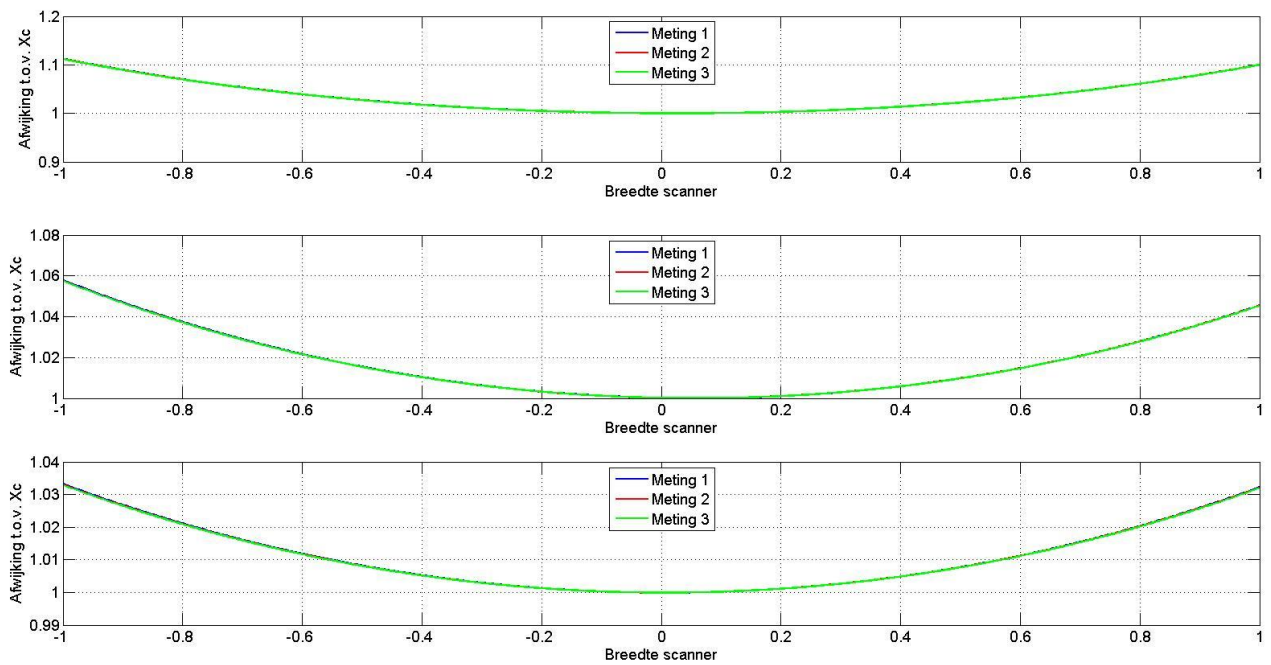
Figuur 25: Lateraal effect A4 spiegel



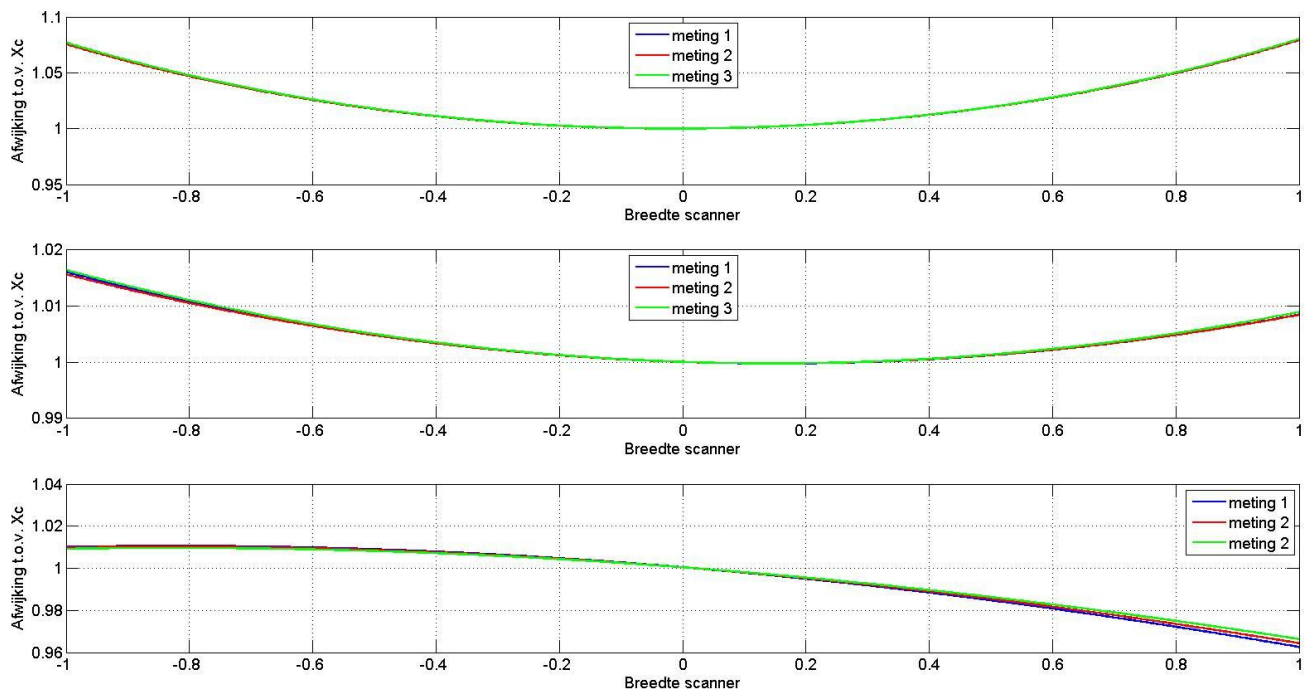
Figuur 26: Lateraal effect A3 transmissie



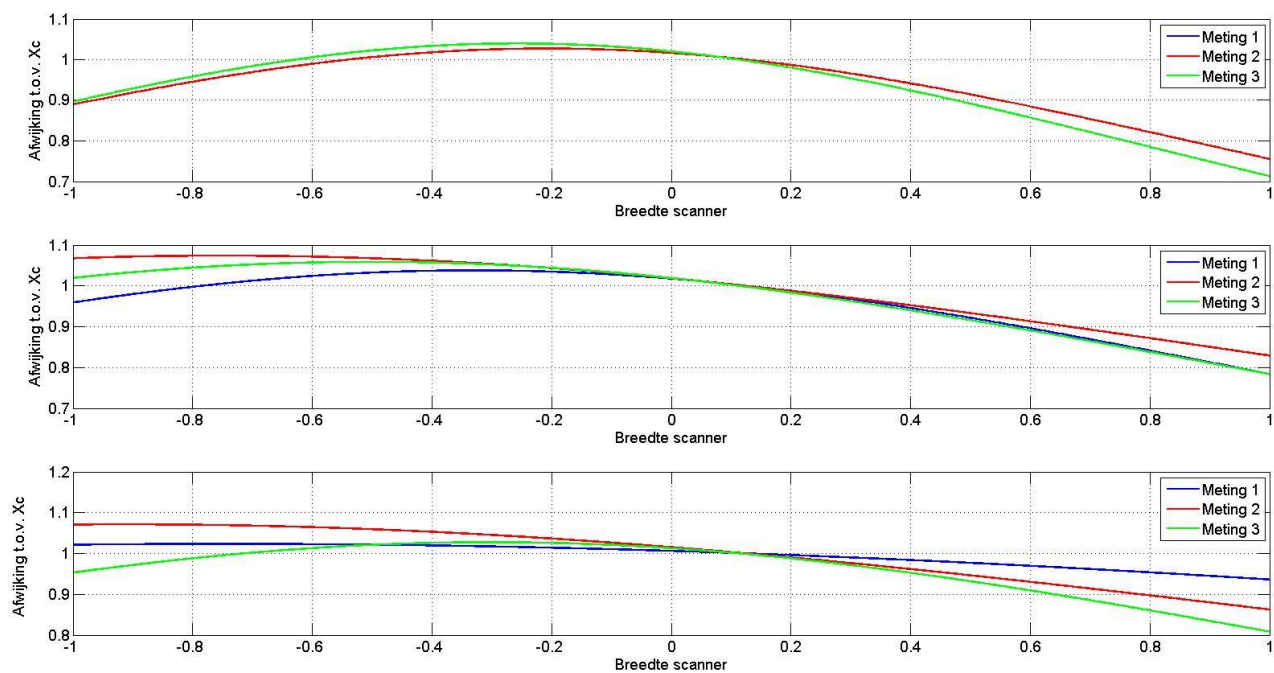
Figuur 27: Lateraal effect A3 witte reflectie plaat



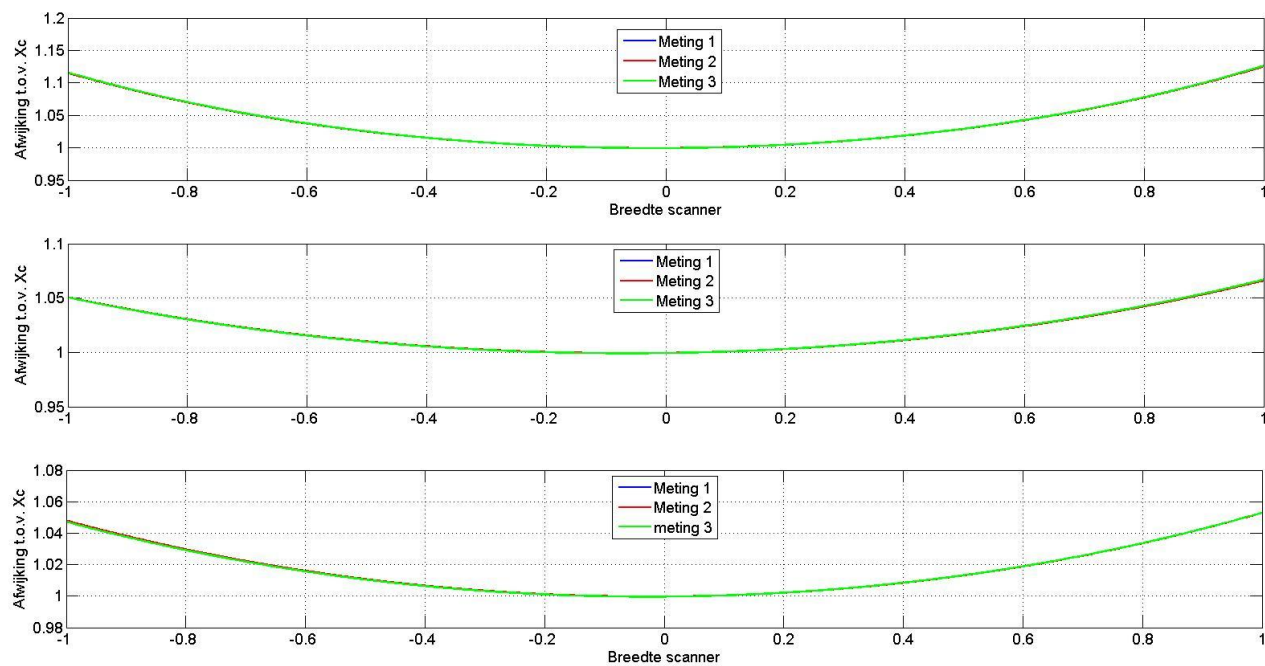
Figuur 28: Reproduceerbaarheid Transmissie A4



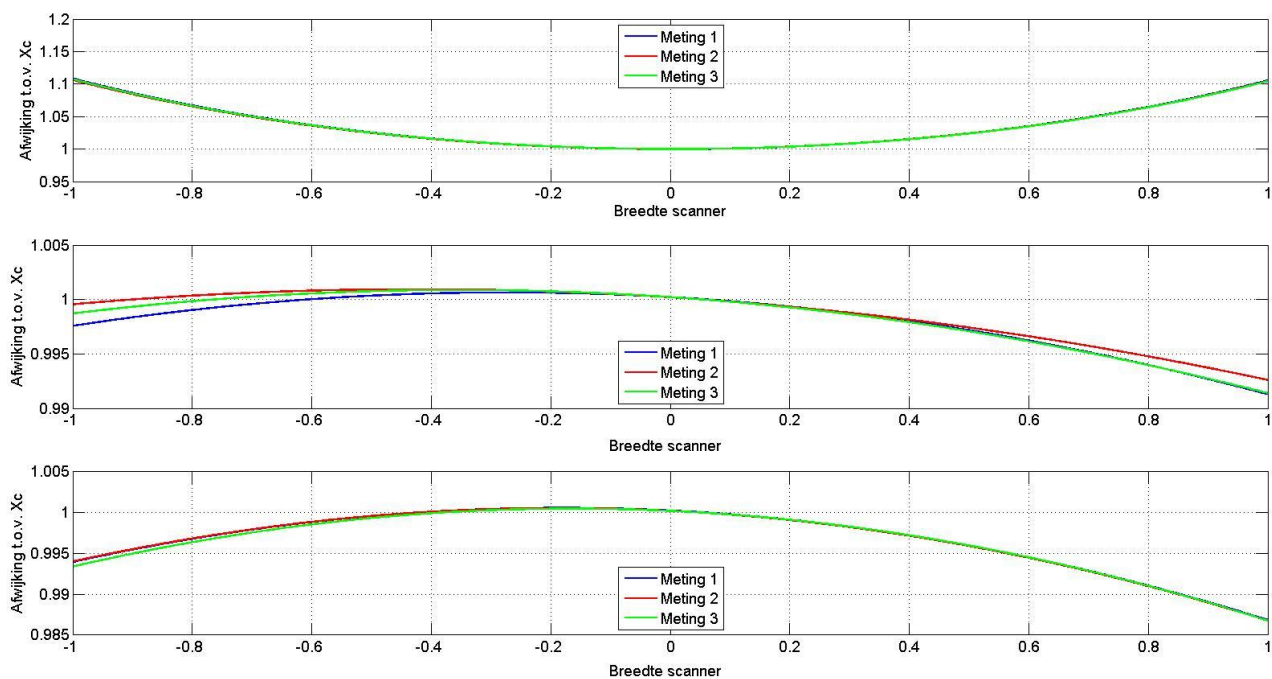
Figuur 29: Reproduceerbaarheid witte reflectie A4



Figuur 30: Reproduceerbaarheid spiegel A4

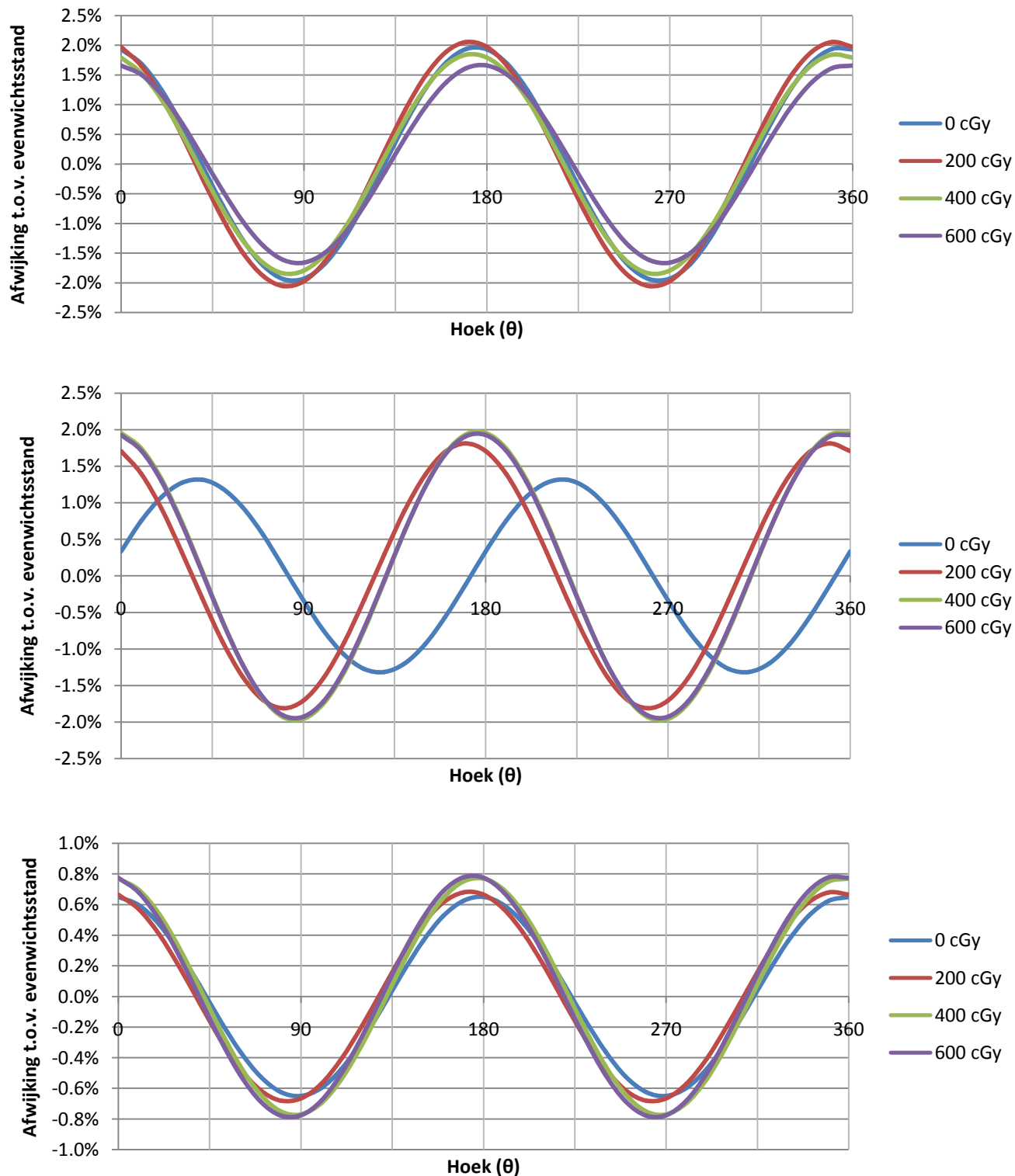


Figuur 31: Reproduceerbaarheid Transmissie A3

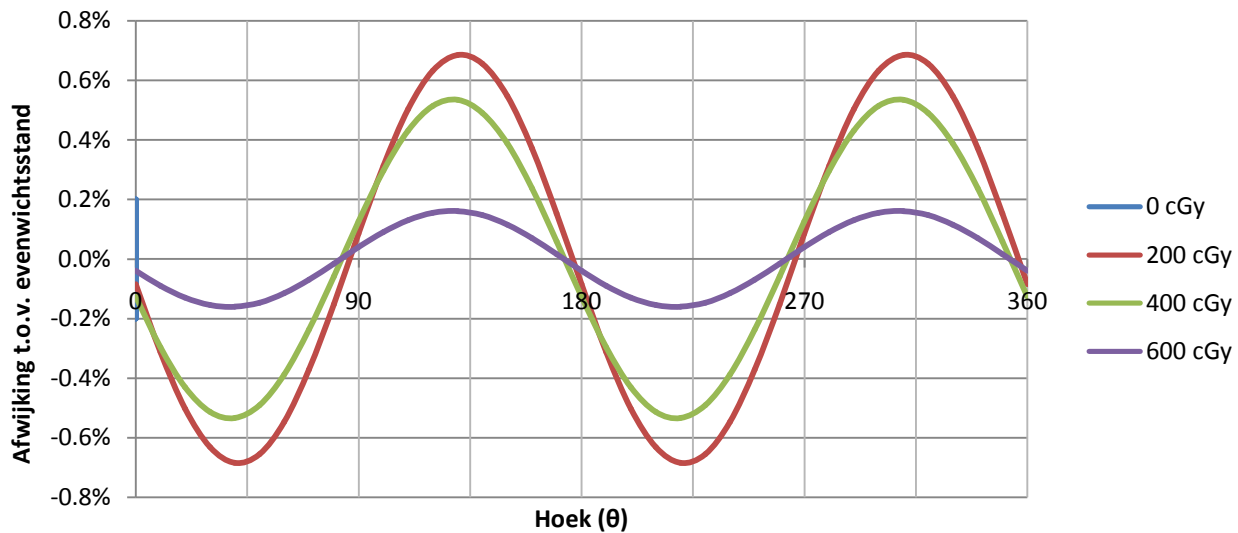
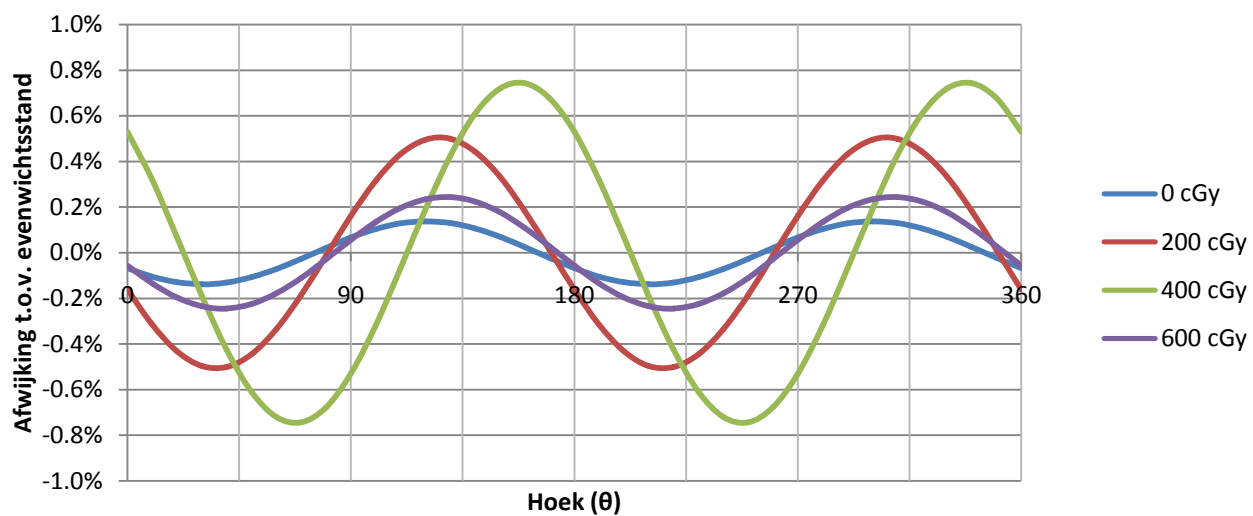
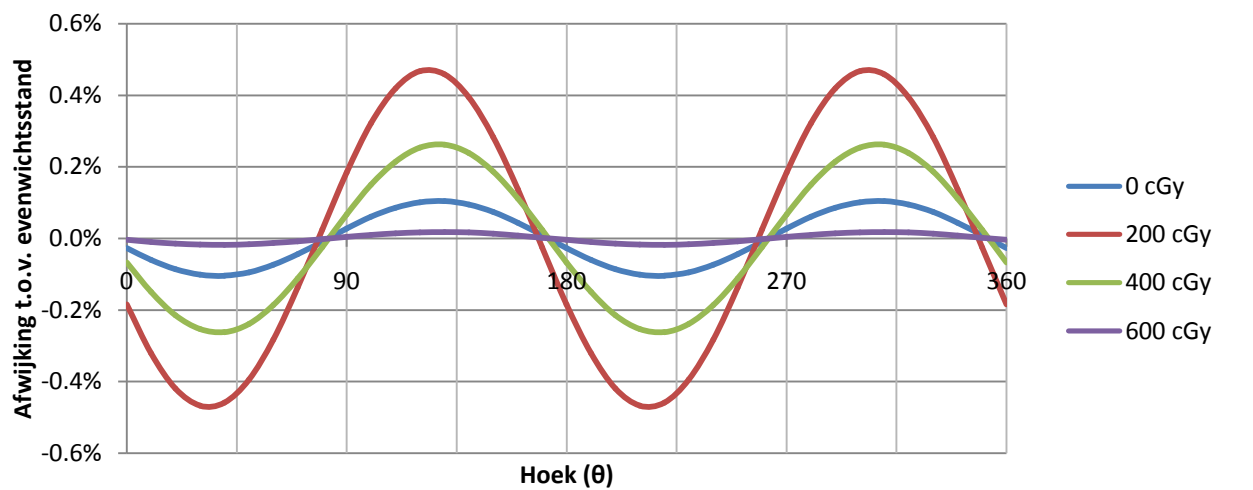


Figuur 32: Reproduceerbaarheid Witte Reflectie A4

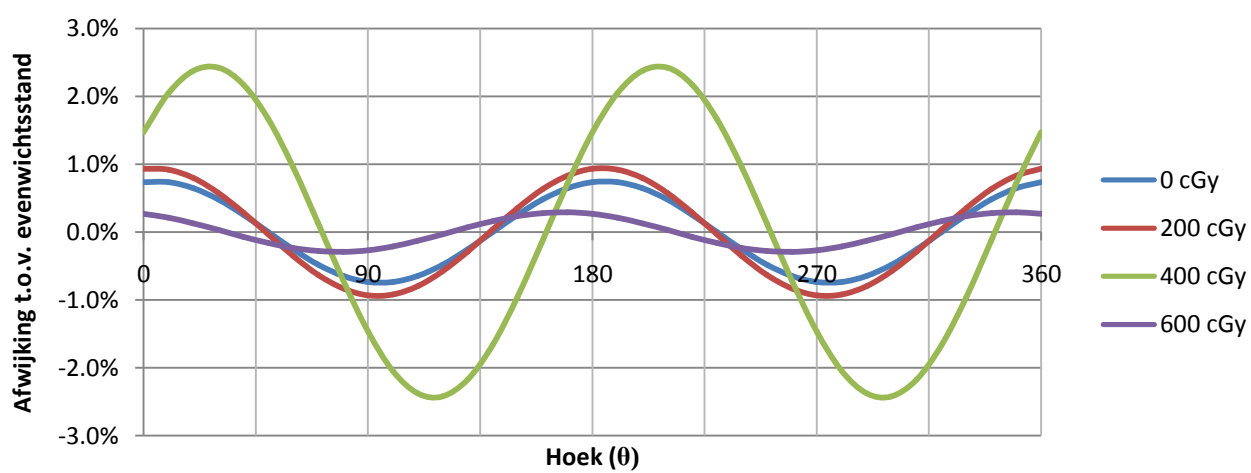
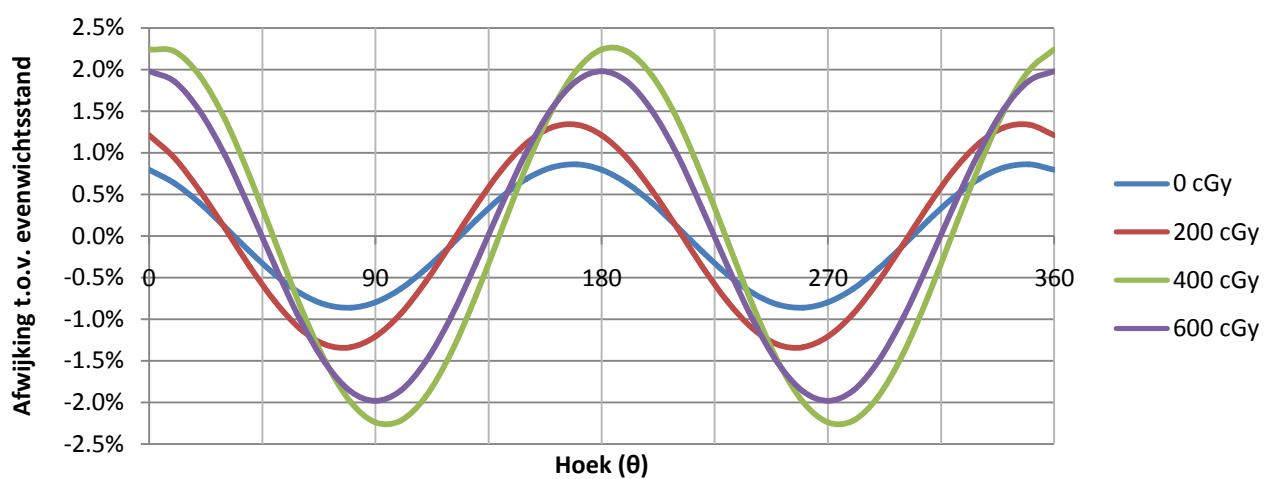
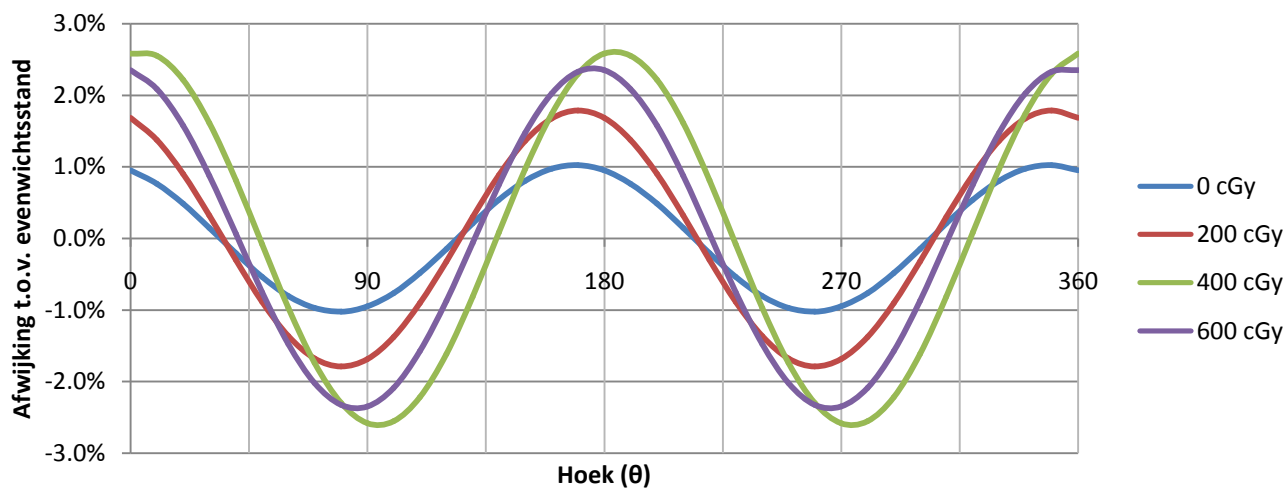
In figuur 33 t/m figuur 35 wordt de data van de polarisatie voor de verschillende scan methoden uitgezet. In elk van de figuren is het bovenste figuur de kleur rood, het middelste figuur de kleur groen en het onderste figuur de kleur blauw.



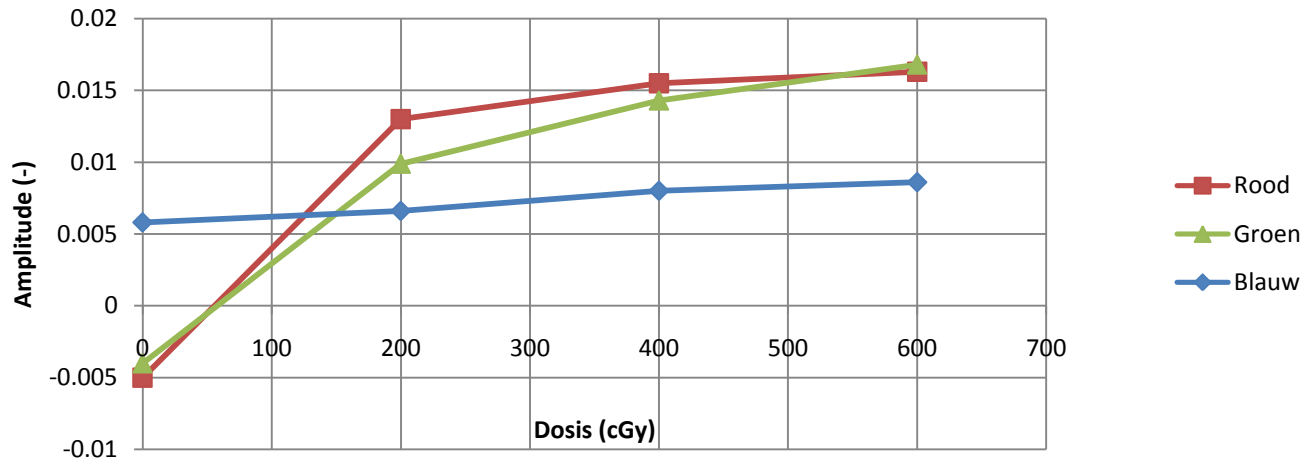
Figuur 33: polarisatie Transmissie, RGB



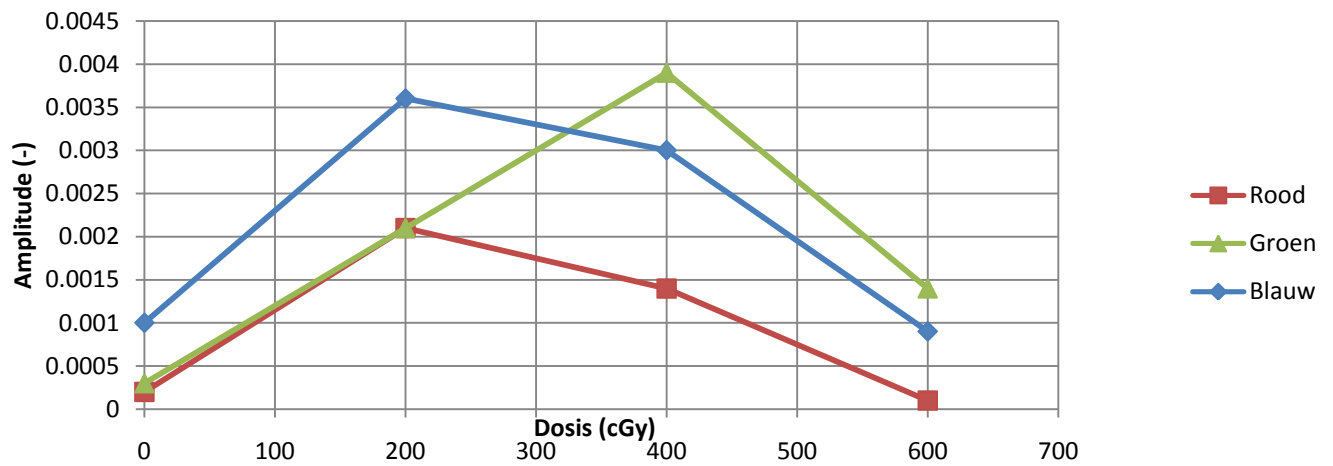
Figuur 34: polarisatie witte reflectie, RGB



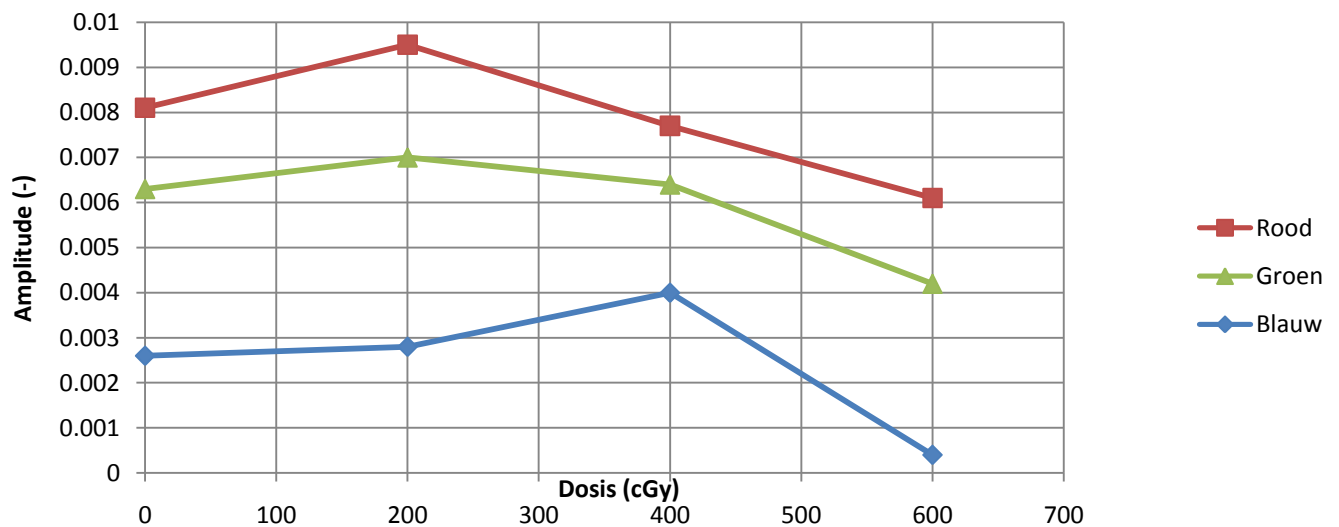
Figuur 35: polarisatie spiegel, RGB



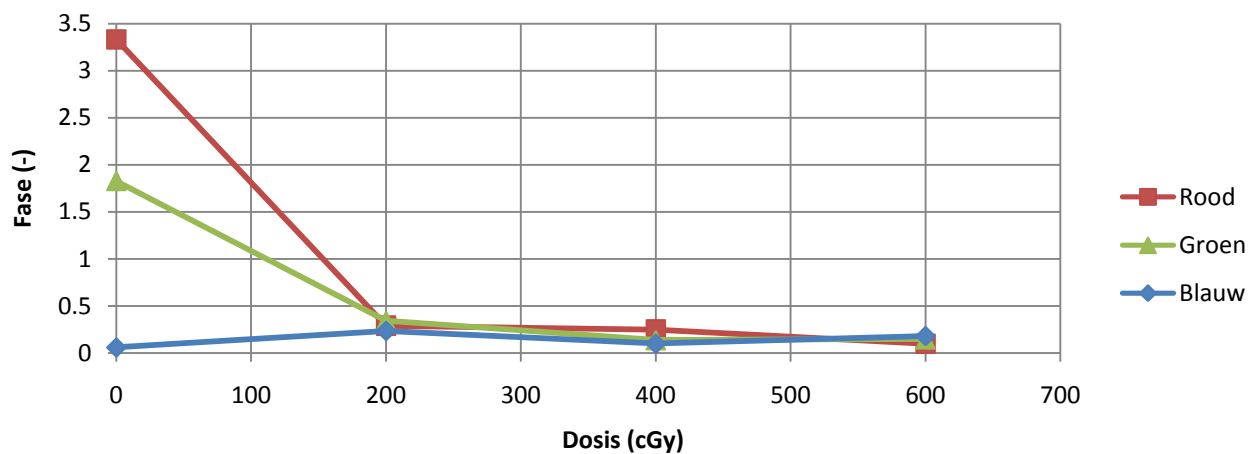
Figuur 36: transmissie, amplitude tegen de dosis



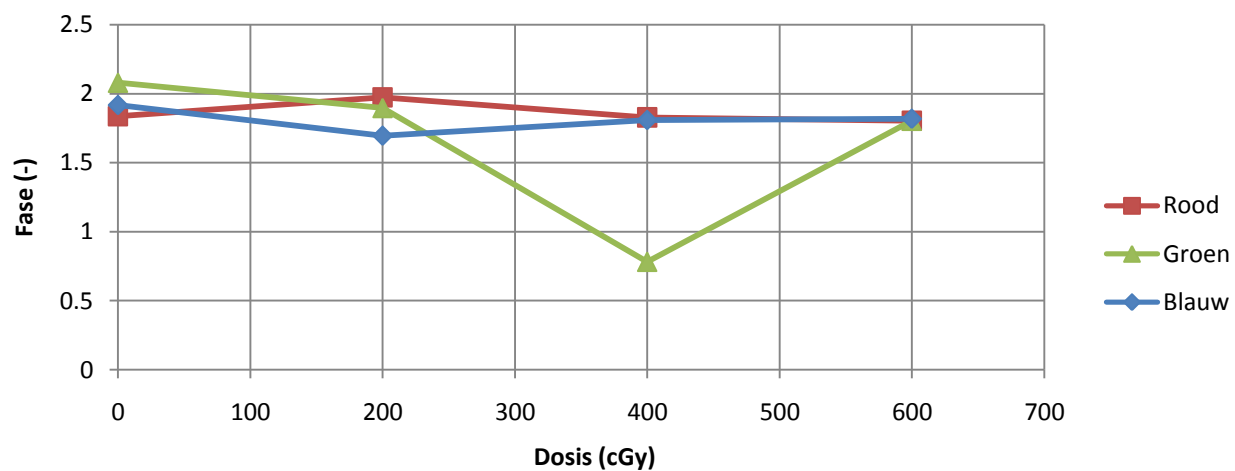
Figuur 37: witte reflectie, amplitude tegen de dosis



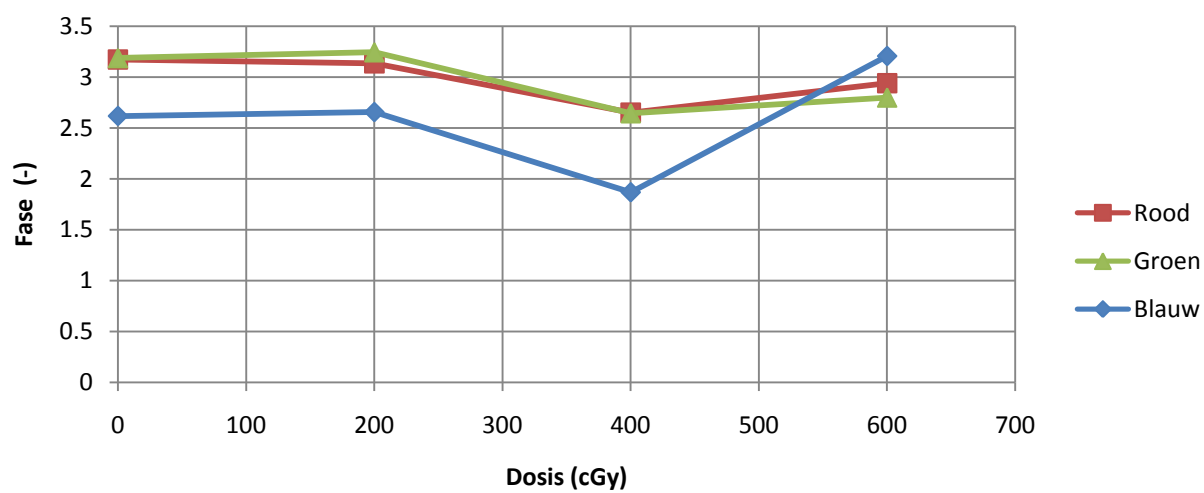
Figuur 38: spiegel, amplitude tegen de dosis



Figuur 39: transmissie, fase tegen de dosis



Figuur 40: witte reflectie, fase tegen de dosis



Figuur 41: spiegel, fase tegen de dosis