

De invloed van de parameter Water-Fat Shift op de reductie van het metaal susceptibiliteitsartefact voor de 3.0T Philips Achieva X-serie MRI-scanner: een fantoom studie.



Rotteveel M.



Fontys Paramedische Hogeschool Eindhoven
Medisch Beeldvormende en Radiotherapeutische Technieken
Afstudeerfase, individueel projectverslag
Eindhoven, 2012

Philips Healthcare, Best

Mark Rotteveel
Fontys-studentennummer: 2137399
Cohort: 2008 - voltijd

Voorwoord

Het verslag heeft betrekking op een onderzoek waarbij de invloed van de scanparameter Water-Fat Shift (WFS) op het metaal susceptibiliteitsartefact voor de 3.0 Tesla Philips Achieva X-serie Magnetische Resonance Imaging (MRI) scanner is onderzocht. De praktische uitvoering van het onderzoek is met behulp van een door de projectgroep ontwikkeld fantoom gebeurd. Het betreft dus een fantoomstudie.

Het doel van het onderzoek is om het metaal susceptibiliteit artefact door middel van de aanpassing van de WFS te kunnen reduceren bij het huidige 3.0T MRI heupprotocol. Door middel van literatuuronderzoek, tijdens de opleiding verworven kennis en vaardigheden en het in dit artikel beschreven onderzoek zal ik op wetenschappelijke basis verantwoorde en beargumenteerde keuzes proberen te maken, met als doel om deze invloed te onderzoeken.

De opleiding Medische Beeldvormende en Radiotherapeutische Technieken (MBRT) heb ik met veel plezier doorlopen. Niet alleen de praktische kant van de verschillende modaliteiten trok mij erg aan maar ook de wetenschappelijke benadering. Tevens is de Minor Advanced Radiological Technology (ART) van de Fontys Hogeschool te Eindhoven erg leerzaam geweest.

In het voorwoord wil ik mijn dank uitspreken naar het gehele docententeam van de opleiding MBRT. Deze heeft ervoor gezorgd dat tijdens alle veranderingen omtrent het afstuderen de studenten zo goed mogelijk werden geïnformeerd, begeleid en ondersteund. Mijn bijzondere dank gaat uit naar de begeleiders van dit onderzoek: Lambert Baken en Geert van Overbruggen. Ook de interne begeleidster vanuit Philips, Wendy Hopkins, wil ik graag bedanken. Zij was voor de projectgroep een bron van inspiratie en informatie. Altijd stond ze klaar met haar positieve instelling wanneer nodig.

Tot slot gaat mijn dank uit naar de opdrachtgever, Koert Bloemers, die het mogelijk heeft gemaakt om af te kunnen studeren in een spannende en leerzame omgeving. Allen bedankt voor jullie inzet om het afstuderen van onze projectgroep mogelijk te maken.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
Inleiding.....	2
Methode	2
Resultaten	2
Discussie	2
Conclusie	2
Summary	3
Introduction.....	3
Methods	3
Results	3
Introduction.....	3
Conclusion	3
Inleiding	4
Methode	6
Studieopzet.....	6
Studiemateriaal.....	7
Uitkomstmaten	8
Dataverzameling	8
Data-analyse	10
Resultaten	11
Discussie	19
Conclusie	21
Referenties	22
 Bijlagen	 23
Bijlage I	23
Bijlage II	26

Samenvatting

Inleiding Medische beeldvorming bij patiënten met een heupprothese door middel van Magnetic Resonance Imaging (MRI) blijkt complex. Er ontstaan bijvoorbeeld metaal susceptibiliteitsartefacten welke het beeld ernstig kunnen verstoren. Het stellen van een correcte diagnose wordt hierdoor nagenoeg onmogelijk. Metal artefact reduction sequences (MARS) zijn ontwikkeld voor de 1.5T Philips Achieva X-serie MRI-scanner waardoor het metaal susceptibiliteitsartefact wordt gereduceerd. Het stellen van een diagnose wordt hierdoor weer mogelijk. Echter, voor de 3.0T Philips Achieva X-serie MRI-scanner zijn zulke scantechnieken nog niet ontwikkeld. De scanparameter Water-Fat Shift (WFS) speelt een belangrijke rol in het 1.5T MARS protocol bij de reductie van het metaal susceptibiliteitsartefact. In dit protocol draagt een kleinere WFS bij aan een kleiner metaal susceptibiliteitsartefact. Het doel van dit onderzoek is de invloed die de scanparameter WFS heeft op het metaal susceptibiliteitsartefact op een 3.0T MRI systeem te onderzoeken. De volgende onderzoeksvraag wordt onderzocht: "Bij welke waarde van de scanparameter WFS is de invloed het grootst op de reductie van de vervorming op het kubusfantom, gescand in drie richtingen (coronaal, sagittaal en transversaal)."

Methode De prospectieve, kwantitatieve fantoomstudie is uitgevoerd bij Philips Healthcare (Best, Nederland). Het door de projectgroep ontwikkelde fantoom bestaat uit een plastic bak gevuld met water. In het midden van de bak staat een roestvrijstalen kubus op een PolyVinylChloride (PVC) buisje. De data is verzameld met behulp van een 3.0T Philips Achieva X-serie MRI-scanner. Voordat elke serie van de scans (coronaal, sagittaal en transversaal) werd vervaardigd, is eerst een overzichtsscan gemaakt zonder de RVS kubus. De vervorming van de plastic bak door de kubus speelt dan geen rol waardoor het exact plannen van de slices mogelijk werd. De oppervlakte, lengte en breedte van het metaal susceptibiliteitsartefact werden bepaald voor de volgende WFS instellingen: 0.5; 0.8; 1.1; 1.4; 1.7; 2; 4; 6; 8; en 10.0 pixels. Bij elke hierboven genoemde WFS instelling werd op drie plaatsen in het fantoom het metaal susceptibiliteitsartefact gemeten. De metingen werden verricht op twee slices buiten de kubus en één slice binnen de kubus. De metingen zijn uitgevoerd door drie onafhankelijke beoordelaars die niet op de hoogte waren van elkaars resultaten. De statistische analyse is door middel van het software pakket Statistical Package for the Social Sciences 15.0 (SPSS Chicago II) verricht. Alle data werden weergegeven als gemiddelde en standaarddeviatie.

Resultaten Het verminderen van de WFS tot een minimum van 0,5 pixels resulteerde in de kleinste vervorming van het kubusfantom ten gevolge van het metaal susceptibiliteitsartefact.

Discussie Dit is het eerste onderzoek dat op systematische wijze een invloed van de WFS op het metaal susceptibiliteitsartefact heeft onderzocht op een 3.0T Philips MRI-scanner. Het onderzoek betreft een fantoomstudie. Of de resultaten toepasbaar zijn in de klinische praktijk is nog onduidelijk. Vervolgonderzoek is daarom vereist voordat de optimale WFS setting kan worden geïntegreerd in een nieuw MARS-protocol. De aanbeveling is om de WFS van 0,5 pixels toe te passen in een nieuw MARS-protocol en dit protocol te testen op een patiënt.

Conclusie Een toenemende WFS leidt tot een groter metaal susceptibiliteitsartefact waarna een plateau fase wordt bereikt. De vervorming van het kubusfantom ten gevolge van het metaal susceptibiliteitsartefact is het kleinst bij de kleinste onderzochte WFS van 0,5 pixels. Dit geldt voor de oppervlakte, lengte en breedte van het metaal susceptibiliteitsartefact. Hierop zijn twee uitzonderingen. Bij slice 1 in de coronale richting werd de kleinste breedte bij een WFS van 1,1 pixels gevonden. Bij slice 3 in transversale richting was de breedte het kleinst bij een WFS van 2,0 pixels.

Summary

Introduction Medical imaging of patients with hipimplants using Magnetic Resonance Imaging (MRI) is complicated. Certain metal susceptibility artefacts may occur which results in distorted images. Diagnosing the patient becomes difficult. Metal artefact reduction sequences (MARS) for the 1.5T Philips Achieva X-series MRI-scanner have been developed. Diagnosing the hip became once again possible. However, for the 3.0T Philips Achieva X-series MRI systems such scanning techniques are not yet developed. Within the 1.5T MARS protocol, the system parameter Water-Fat Shift (WFS) plays an important role reducing the metal susceptibility artefact. In this protocol decreasing the WFS decreases the metal susceptibility artefact. The aim of this study is to investigate the influence of the parameter WFS on the metal susceptibility artefact for the 3.0T MRI system. The following question is answered in this study: "Which value of the system parameter WFS does have the greatest impact on the reduction of the distortion of the cube phantom, scanned in three planes (coronal, sagittal and transversal).

Methods The prospective, quantitative phantom study was conducted at Philips Healthcare (Best, The Netherlands). The homemade phantom consisted of a water filled plastic box. A stainless steel cube was placed on a PVC tube in the middle of the box. The data was collected on a 3.0T Philips Achieva X-series MRI-scanner. Before each series of scans (coronal, sagittal and transversal) a survey scan without the cube was made. Therefore distortion by the cube was out of the question an exact planning of the slices was possible. The surface, length en width of the metal susceptibility artefact were determined for the following WFS settings: 0.5; 0.8; 1.1; 1.4; 1.7; 2; 4; 6; 8; and 10.0 pixels. For each WFS setting the above-stated measurements were conducted on three slices. One slice was positioned in the stainless steel cube while the other two slices were positioned outside the cube. The measurements were conducted by three independent observers. Statistical analyses were conducted using Statistical Package for the Social Sciences 15.0 (SPSS Chicago III) software. All data are reported as mean and standard deviation.

Results Decreasing the WFS to a minimum of 0.5 pixels results in the smallest distortion of the cube phantom due to the metal susceptibility artefact.

Discussion This is the first study where the relation between the WFS and the metal susceptibility artefact on a Philips 3.0T MRI-scanner is described. This research was a phantom study. It's not clear if the results and conclusions are applicable on the hip implant and patient. Further research is required before the optimal setting of the parameter WFS could be incorporated into a new MARS-protocol for reducing metal susceptibility artefact. Thereby the suggestion is to determine the effects of changing the parameter WFS in patient imaging. The recommendation is to integrate the minimum WFS of 0,5 pixels into a new MARS-protocol and test this protocol on the patient.

Conclusion This study demonstrates that increasing the WFS results in a larger metal susceptibility artifact and finally results into a plateau phase. The distortion of the cube phantom due to the metal susceptibility artifact is decreased most by using the smallest researched WFS of 0,5 pixels. This principle is applicable on all directions, slices and measurements. However, two exceptions were found. Slice 1 in the coronal plane showed that the width of the artefact was minimal at a WFS of 1,1 pixels. Slice 3 in the transverse plane showed the smallest width of the metal susceptibility artifact at a WFS of 2,0 pixels.

Inleiding

Het aantal patiënten in Nederland met orthopedische heupprothesen is fors toegenomen.¹ Tussen de jaren 1986 en 1997 is een groei van 68% waargenomen. Hierbij heeft het aantal totale primaire heupimplantaten een recordhoogte van 17.401 bereikt.¹ Deze groei zet naar verwachting nog geruime tijd door. In het jaar 2020 zal volgens schattingen het aantal totale operaties voor totale heupprothesen zelfs zijn toegenomen met 44% tot 25.090.¹ Deze toename wordt met name veroorzaakt door zowel verbeterde materialen en nieuwe ontwerpen van het heupimplantaat als verbeterde chirurgische technieken. De vergrijzing van de Nederlandse bevolking draagt ook bij aan deze toename maar is niet de belangrijkste grondlegger voor deze ontwikkeling.¹

Diagnostiek van patiënten met een gedeeltelijke of totale heupprothese door middel van medische beeldvormende technieken wordt in veel gevallen belemmerd door de prothese. Bij de verschillende afbeeldende technieken kunnen bepaalde beeldartefacten ten gevolge van de heupprothese ontstaan.²⁻³ Ook bij Magnetische Resonance Imaging (MRI) leidt een heupprothese tot artefacten. Dit zijn de zogenoemde metaal susceptibiliteitsartefacten.³ Deze artefacten belemmeren het beoordelen van een MRI-scan door de radioloog en daarmee het stellen van een diagnose.

Het ontstaan van magnetische susceptibiliteitsartefacten treedt op bij gebieden met verschillende magnetische susceptibiliteiten. Magnetische susceptibiliteit is de gevoeligheid van weefsel om gemagnetiseerd te worden.⁴⁻⁵ Naast elkaar gelegen weefsels met verschillende magnetische susceptibiliteiten verstoren lokaal het magneetveld. Er treedt defasering en frequentieverschuivingen van naast elkaar gelegen protonen op. Het magneetveld wordt hierdoor inhomogeen en leidt uiteindelijk tot het metaal susceptibiliteitsartefact.⁵⁻⁶ Bepaalde gebruikte metalen in prothesen zoals roestvrij staal kennen een grote magnetische susceptibiliteit. Dit leidt daarmee tot grote beeldartefacten waarbij het beoordelen van een MRI-scan van de heup nagenoeg onmogelijk wordt. Voor optimale beeldvorming van de heup met een prothese met behulp van MRI is het dus van groot belang dat metaal susceptibiliteitsartefacten gereduceerd worden.³

Voor het afbeelden van de heup met een heupprothese zijn metal artefact reduction sequences (MARS) ontwikkeld. Deze door Philips ontwikkelde sequenties reduceren het metaal susceptibiliteitsartefact. Onder andere de gradiënt mode, echo-spacing, plakdikte en Turbo Spin Echo (TSE) factor spelen een rol bij deze sequenties.⁷ Tevens is de scanparameter Water-Fat shift (WFS) belangrijk voor de reductie van het metaal susceptibiliteitsartefact.⁷

De scanparameter WFS bepaalt in welke mate het WFS artefact optreedt. Het WFS artefact ontstaat doordat waterstofprotonen in vet een lagere precessie frequentie hebben dan waterstofprotonen in water.⁶ Bij een 1.5 Tesla (T) MRI scanner is het verschil in precessie frequentie 220 Hertz (Hz).⁶ Door het verschil in precessie frequentie wordt het signaal van vet ten opzichte van het signaal van water in de meetrichting onjuist gecodeerd. Het WFS artefact treedt dus op in de frequentiecoderings richting.⁶ Om de pixel verschuivingen en daarmee het WFS artefact te reduceren kan de scanparameter WFS verkleind worden. De WFS is afhankelijk van de frequentiebandbreedte van de meetgradiënt. Hoe hoger deze bandbreedte is hoe kleiner de WFS wordt. Een kleinere WFS en daarmee een grotere bandbreedte zorgt ervoor dat er meer verschillende frequenties per pixel worden

gecodeerd en het WFS artefact afneemt. Ook is de WFS afhankelijk van de veldsterkte van het hoofdmagnetisch veld B₀. Een grotere veldsterkte resulteert in een grotere WFS.⁶

Voor de Philips 1.5T Achieva X-serie MRI-scanner geldt dat de WFS niet enkel invloed uitoefent op het WFS artefact maar ook op de mate van het metaal susceptibiliteitsartefact. Een kleinere WFS leidt bij de 1.5T MRI-scanner namelijk ook tot een grotere bandbreedte en daarmee tot een geringer metaal susceptibiliteitsartefact. Voor de 1.5T MRI scanner wordt daarom door Philips aanbevolen om een WFS van 0,5 tot 0,7 pixels te gebruiken om het metaal susceptibiliteitsartefacten te reduceren.⁷

Het MARS heupprotocol is tot op heden enkel voor de 1.5T Philips Achieva X-serie MRI-scanner ontwikkeld. Uit de praktijk blijkt dat een 1.5T MARS heupprotocol zonder aanpassingen niet toepasbaar is op de 3.0T MRI scanner. Met andere woorden, eenzelfde mate van artefact reductie wordt niet bereikt. Voor de 3.0T Philips Achieva X-serie MRI-scanner is dus nog geen MARS protocol ontwikkeld.

Omdat de scanparameter WFS een belangrijk onderdeel is van het 1.5T MARS protocol, wordt deze parameter nu ook voor een 3.0T MRI scanner onderzocht. Dit gebeurt door middel van de in deze scriptie beschreven fantoomstudie. Dit is het eerste onderzoek dat systematisch, op een wetenschappelijke verantwoorde manier de relatie tussen de scanparameter WFS en het metaal susceptibiliteitsartefact bestudeerd voor een 3.0T Philips Achieva X-serie MRI-scanner .

Het doel van het onderzoek is om het metaal susceptibiliteit artefact door middel van de aanpassing van de WFS te kunnen reduceren bij het huidige 3.0T MRI heupprotocol. Om dit te bereiken wordt beschreven wat de invloed van de scanparameter WFS is op het metaal susceptibiliteitsartefact bij het huidige heupprotocol op een Philips 3.0T Achieva X-serie MRI scanner. De expliciete onderzoeksvraag is: "Bij welke waarde van de scanparameter WFS is de invloed het grootst op de reductie van de vervorming op het kubusfantoom, gescand in drie richtingen (coronaal, sagittaal en transversaal)."

Methode*Studieopzet*

De studie is uitgevoerd bij Philips Healthcare (Best, Nederland). Het onderzoek betrof een prospectieve, kwantitatieve fantoomstudie. Data werd verzameld door middel van een experiment. De invloed van de scanparameter WFS op de mate van het metaal susceptibiliteitsartefact werd hierbij onderzocht. Voor de volgende WFS instellingen: 0.5; 0.8; 1.1; 1.4; 1.7; 2; 4; 6; 8; en 10.0 pixels werd de grootte van het metaal susceptibiliteitsartefact bepaald. Om de scans zo precies mogelijk te kunnen plannen werd eerst een overzichtscan (survey scan) van het kubusfantoom zonder de RVS kubus vervaardigd. Het fantoom veroorzaakte daardoor geen metaal susceptibiliteitsartefact, er was sprake van minimale vervorming van de plastic bak. Na de survey scan werd de RVS kubus weer teruggeplaatst in de bak. De positie van de tafel en daarmee het fantoom bleef hetzelfde. Om de mate van het metaal susceptibiliteitsartefact in drie richtingen te kunnen kwantificeren voor alle hierboven genoemde WFS instellingen, werd het kubusfantoom in de richtingen coronaal, sagittaal en transversaal gescand. Er werd uitgegaan van een standaard Philips T1-gewogen heupprotocol voor de 3.0T Philips Achieva X-MRI scanner (tabel 1). Het kubusfantoom kent per richting verschillende afmetingen (figuur 2-3). Om het fantoom in elke richting geheel te kunnen scannen werd de grootte van het scangebied per richting aangepast. Het field of view (FOV) en aantal slices verschilden dus per richting (tabel 1). De afstanden van de wanden van het kubusfantoom tot de RVS kubus (figuur 2-3) en de afmetingen van de RVS kubus zijn bekend. Om het metaal susceptibiliteitsartefact in het midden van de RVS kubus te kunnen onderzoeken werd per richting een slice in het midden van de kubus gepland (tabel 2) welke slice 2 werd genoemd. Ook werd het metaal susceptibiliteitsartefact buiten de kubus onderzocht. Hiervoor werden twee slices buiten de kubus gepland (slice 1 en 3). De verzamelde data werd vervolgens geanalyseerd door drie onafhankelijke projectleden die niet op de hoogte waren van elkaars metingen.

Tabel 1. Scanparameters standaard Philips heupprotocol voor de 1.5T Philips Achieva X-serie MRI-scanner.

	Coronaal	Transversaal	Sagittaal
Sequentie	T1W TSE	T1W TSE	T1W TSE
TR (ms)	500-700	500-700	715
TE (ms)	20	20	20
Plakdikte (mm)	2,5	2,5	2,5
FOV (mm)	FH 360 RL 251 AP 125	AP 300 RL 251 FH 171	AP 200 RL 144 FH 200
NSA	1	2	2
Slices	38	52	44
Acq. Matrix	488 x456	404x425	272x240

Tabel 2. Planning slices in het midden van de RVS kubus.

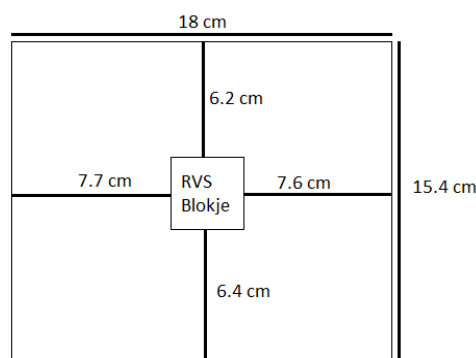
	Coronaal	Transversaal	Sagittaal
Slice gepland midden in RVS kubus	Slice 19	Slice 25	Slice 22
Gepland vanaf	Onderzijde kubusfantoom	Hoofdzijde kubusfantoom	Linkerkant kubusfantoom
Afstand (mm)	56,0	86,9	71,9

Studiemateriaal

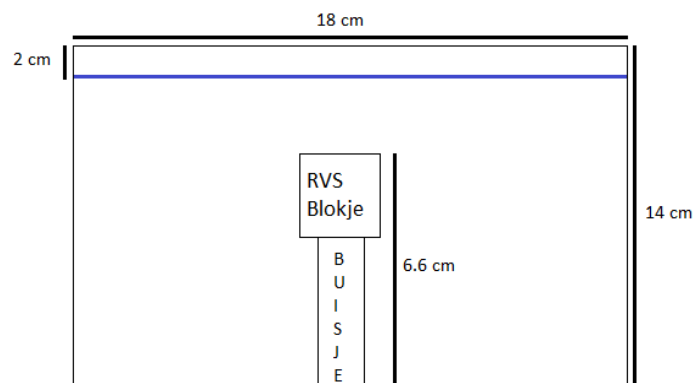
Om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden werd de fantoomstudie verricht met de 3.0T Philips Achieva X-serie MRI-scanner. Als spoel werd gekozen voor de Philips SENSE XL Torso coil. Deze flexibele spoel is opgebouwd uit 16 elementen en geschikt voor de Philips Intera en Achieva 3.0T MRI-scanners. Het bereik van de spoel is 40cm in de Feet-Head (FH) richting waardoor het gehele fantoom in één keer gescand kon worden. Het acquisitiestation bevatte de software MR Systems Intera (releasenummer 3.2.3.0, build 142) van Philips. Deze software bevat tevens een dicomviewer welke gebruikt is voor het kwantificeren van de metaal susceptibiliteitsartefacten. De statistische analyse werd uitgevoerd door middel van het software pakket Statistical Package for the Social Sciences 15.0 (SPSS Chicago II) waarbij de uiteindelijke tabellen en grafieken worden weergegeven in Microsoft Excel 2007 grafieken en tabellen. Als studieobject werd een door de projectgroep ontwikkeld kubusfantoom gebruikt (figuur 1). Het kubusfantoom bevatte een roestvrij stalen (RVS) kubus van 8 cm^3 . Deze kubus werd geplaatst op een hoogte van 4,6cm op een PolyVinylChloride (PVC) buisje. Dit geheel bevond zich in een plastic bak met de afmetingen 21 x 17 x 15 cm. De bak was gevuld met water tot 2 cm onder het deksel. De afmetingen van het kubusfantoom en de afstanden vanuit de randen van de kubus naar de uiteinden van de plastic bak worden weergegeven in figuur 2 en 3.



Figuur 1. Afbeelding van het kubusfantoom.



Figuur 2. Schematisch bovenaanzicht kubusfantoom



Figuur 3. Schematisch zijaanzicht kubusfantoom.

Er zijn verschillende heupfantomen op de markt die onderling verschillen in vorm, grootte en materiaal. De magnetische susceptibiliteit verschilt per materiaal en is van klein naar groot grofweg onder te verdelen in de groepen diamagnetisch, paramagnetisch, supramagnetisch en ferromagnetisch.³⁻⁴ Ferromagnetische materialen zoals ijzer, kobalt en nikkel hebben de grootste magnetische susceptibiliteit. De grootste metaal susceptibiliteitsartefacten zullen dus ontstaan bij ferromagnetische materialen.³ Om het metaal susceptibiliteitsartefact te kunnen kwantificeren werd, zoals hierboven beschreven, gekozen voor een RVS kubus als bron van het artefact. RVS is een ferromagnetisch materiaal en veroorzaakt dus de grootste metaal susceptibiliteitsartefacten. Het vinden van een oplossing om artefacten veroorzaakt door RVS te reduceren was de grootste uitdaging.

Het scanobject heeft een kubusvorm en bevat in alle te scannen richtingen dezelfde afmetingen. Verschillen in mate van het susceptibiliteitsartefact waren dus niet afhankelijk van het kubusfantom maar van de verschillende sequenties.

De juiste grootte van de kubus is door de projectleden experimenteel onderzocht. Om kwantificatie mogelijk te maken moest het metaal susceptibiliteitsartefact binnen het kubusfantom optreden. Voor drie verschillende RVS kubussen van verschillende grootten werd onderzocht of het artefact daadwerkelijk binnen het kubusfantom viel. Bij de kubus met een inhoud van 8cm^3 was dit het geval.

Om de externe invloed op het metaal susceptibiliteitsartefact zoveel mogelijk te reduceren werd het kubusfantom gevuld met water. De kubus werd daardoor omringd met één stof met een bepaalde dichtheid. Verschil in dichtheden oefenden daarom geen invloed uit op het metaal susceptibiliteitsartefact. Een uitzondering hierop was de PVC kubushouder, deze was noodzakelijk om de kubus in het midden van de bak te kunnen plaatsen. Immers, het metaalsusceptibiliteitsartefact moest in elke richting kunnen ontstaan zodat correct meten mogelijk was.

Uitkomstmaten

De primaire uitkomstmaten waren de oppervlakte, lengte en breedte van het metaal susceptibiliteitsartefact welke respectievelijk werden gemeten in de eenheden mm^2 en mm. Deze eenheden werden gemeten door in de software gebruikte tools.

Dataverzameling

De oppervlakte werd gemeten door de tool Region of Interest (ROI). De ROI's werden hierbij door de beoordelaars handmatig ingetekend. De lengte en breedte van de metaal susceptibiliteits artefacten werden door de beoordelaars bepaald met een softwarematige liniaal. Alle metingen werden verricht door drie onafhankelijke beoordelaars die niet op de hoogte waren van elkaars resultaten. Echter, om het metaal susceptibiliteitsartefact op een eenduidige manier te kunnen meten werd van tevoren door de projectgroep bepaald op welke wijze het metaal susceptibiliteitsartefact was gedefinieerd. Hierover werden onderstaande afspraken gemaakt:

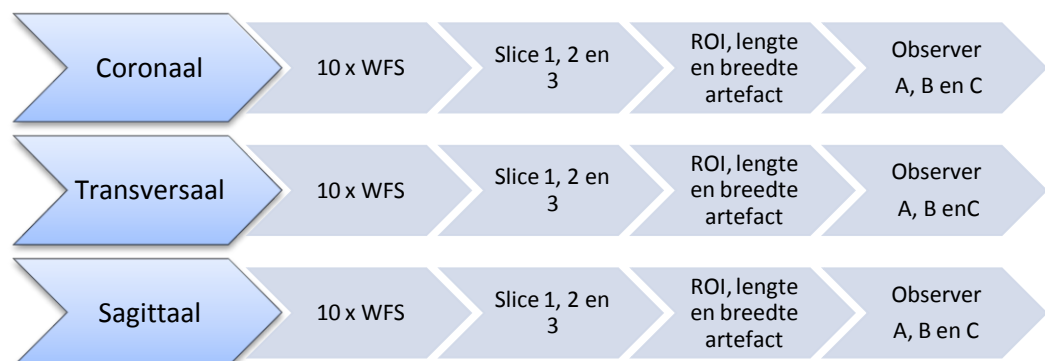
- De signaaluitdoving viel onder het metaal susceptibiliteitsartefact. Dit hield in dat alles wat echt zwart was, werd ingetekend. De vervaging werd buiten beschouwing gelaten.
- De signaalversterking viel ook onder het metaal susceptibiliteitsartefact. Dit hield in dat alles wat helder wit werd afgebeeld, werd ingetekend.
- Wanneer grijs afgebeelde structuren zich tussen twee gebieden van signaaluitdoving bevonden, werd dit gebied ook meegenomen met intekenen en dus gedefinieerd als metaal susceptibiliteitsartefact.

- Wanneer grijze, witte en zwarte structuren afwisselend voorkwamen, werd de buitenste witte of zwarte structuur gehanteerd als grens voor het metaal susceptibiliteitsartefact.
- Andere zichtbare artefacten buiten het metaal susceptibiliteitsartefact werden buiten beschouwing gelaten.

Om de interobservervariatie zoveel mogelijk te beperken werden onderstaande afspraken gemaakt over de manier van meten. Een voorbeeld hiervan is te vinden in bijlage 1.

- Per slice werd gekozen voor een vaste window-setting. Per geselecteerde slice werd daarom een window reset uitgevoerd.
- Het metaal susceptibiliteitsartefact werd door middel van een ROI zoveel mogelijk aaneengesloten ingetekend.
- Gebieden die zeer kleine metaal susceptibiliteitsartefacten toonden en goed waren te onderscheiden van het grotere aaneengesloten metaal susceptibiliteitsartefact werden door middel van een ROI apart ingetekend. De oppervlakten dienden daarna bij elkaar te worden opgeteld.
- De metingen met de digitale liniaal werden uitgevoerd op het visueel breedste of langste punt van het metaal susceptibiliteitsartefact.
- Gebieden die zeer kleine metaal susceptibiliteitsartefacten toonden en goed te onderscheiden waren van het grotere aaneengesloten metaal susceptibiliteitsartefact werden niet meegenomen in de totale lengte en breedte.
- De lengte en breedte van het metaal susceptibiliteitsartefact werd in coronale richting Feet-Head (FH) en Rechts-Links (RL) gemeten. In de transversale richting werd Anterior- Posterior (AP) en RL gemeten en de sagittale richting werd AP en FH gemeten.
- Het PVC buisje en de RVS kubus gaven geen signaal en kunnen dus lijken op een metaal susceptibiliteitsartefact. Wanneer deze objecten gelegen lagen in het metaal susceptibiliteitsartefact, werden deze structuren als metaal susceptibiliteitsartefact beschouwd en dus ingetekend.

Voor elke WFS instelling werden de oppervlakte, lengte en breedte van het metaal susceptibiliteitsartefact gemeten. Alle metingen werden uitgevoerd voor de coronale, transversale en sagittale richtingen. Bovendien werd het artefact ook telkens op drie slices per scan gemeten (figuur 4). Twee slices bevonden zich aan weerszijde buiten de kubus terwijl één slice zich in de kubus bevond. Per beoordelaar werden er 270 metingen verricht en 810 metingen in totaal.



Figuur 4. Schematische weergave van het meetproces.

Data-analyse

Door middel van beschrijvende statistiek werd de mate van het metaal susceptibiliteitsartefact vastgelegd. Per scan werden de uitkomsten van de drie beoordelaars gepresenteerd in de vorm van een gemiddelde oppervlakte, gemiddelde lengte en gemiddelde breedte van het metaal susceptibiliteitsartefact.

Omdat het visueel beoordelen van de afbeeldingen ondanks een duidelijke definitie van het metaal susceptibiliteitsartefact in sommige gevallen complex bleek, zullen er verschillen tussen de beoordelaars aanwezig zijn. Aangezien elke meting telkens drie keer is verricht, heeft de projectgroep gekozen om steeds het gemiddelde te bepalen van deze drie metingen. Echter, omdat het aantal beoordelaars en dus het aantal metingen per afbeelding klein was, kan het gemiddelde een vertekend beeld geven. Immers de variatie tussen drie metingen is wellicht heel groot. Daarom werd tevens de standaarddeviatie (SD) bepaald. Deze werd vastgesteld om de mate waarin de waarden onderling verschillen, weer te geven.⁸

Resultaten

Allereerst worden per richting (coronaal, transversaal en sagittaal) de resultaten beschreven. Daarna worden de belangrijkste bevindingen benoemd. Dit gebeurt aan de hand van de figuren 5 t/m 13. Deze grafieken zijn gebaseerd op de gemiddelde meetwaarden van de beoordelaars (tabel 3-5). Een uitgebreidere weergave van de individuele meetwaarden is beschikbaar (bijlage 2). Voor de resultaten geldt dat wanneer er over de oppervlakte, lengte of breedte wordt gesproken, deze betrekking hebben op de vervorming ten gevolge van het metaal susceptibiliteitsartefact.

Coronaal

Een WFS van 0,5 pixels leidde in coronale richting tot de kleinste oppervlakte, lengte (FH) en breedte (RL) (figuur 5-7). Dit bleek voor alle slices. Echter, een uitzondering hierop was slice 1 waarbij de kleinste breedte bij een WFS van 1,1 pixels werd gevonden (figuur 7). De oppervlakte was bij alle onderzochte WFS instellingen het grootst bij slice 2 en het kleinst bij slice 1 (figuur 5). De lengte was telkens het kleinst bij slice 1 terwijl deze bij een WFS van 0,5 t/m 2,0 pixels het grootst bleek bij slice 3 en vanaf een WFS 2,0 t/m 10 pixels het grootst was bij slice 2 (figuur 6). De breedte bleek voortdurend het grootst bij slice 2. Echter, nu toonde slice 3 juist het kleinste artefact (figuur 7).

Transversaal

Een WFS van 0,5 pixels leidde ook in de transversale richting tot de kleinste oppervlakte, lengte (AP) en breedte (RL) (figuur 8-10). Een uitzondering hierop was slice 3 waarbij de breedte het kleinst was bij een WFS van 2,0 pixels (figuur 10). De grootste oppervlakte, lengte en breedte werd gevonden bij slice 2 (figuur 8 t/m 10). Terwijl de oppervlakte het kleinst was bij slice 1 (figuur 8) en de breedte en lengte het kleinst waren bij slice 3 (figuur 9-10).

Sagittaal

Ook in de sagittale richting leidde een WFS van 0,5 pixels tot de kleinste oppervlakte, lengte (AP) en breedte (FH) (figuur 11 t/m 13). Zowel de oppervlakte, lengte als breedte bleek telkens het grootst te zijn bij slice 2 (figuur 11 t/m 13). De kleinste oppervlakte werd gevonden bij slice 1 maar dit bleek niet te gelden voor alle onderzochte WFS instellingen (figuur 11). De kleinste lengte werd gevonden bij slice 1 (figuur 12) terwijl de kleinste breedte aangetroffen werd bij slice 3 (figuur 13).

Een WFS van 0,5 pixels leidt tot de minste vervorming ten gevolge van het metaal susceptibiliteitsartefact

Bij een WFS van 0,5 pixels werd voor zowel de richtingen coronaal, transversaal als sagittaal voor alle slices de kleinste oppervlakte, lengte en breedte van het metaal susceptibiliteitsartefact gevonden (figuur 5 t/m 13). Hierop waren twee uitzonderingen. De eerste uitzondering hierop is de coronale richting waarbij de kleinste breedte bij slice 1 voor een WFS van 1,1 pixels werd gevonden (figuur 7). De tweede uitzondering hierop is de transversale richting waarbij de kleinste breedte voor slice 3 bij een WFS van 2,0 pixels bleek te zijn (figuur 10).

De meeste vervorming ten gevolge van het metaal susceptibiliteitsartefact werd gevonden in het midden van de kubus

Voor de WFS van 0,5 t/m 10,0 pixels demonstreerde slice 2, welke was gepland in het midden van de RVS kubus, voor de richtingen coronaal, transversaal en sagittaal ten opzichte van slice 1 en 3 telkens het grootste metaal susceptibiliteitsartefact (figuur 5, 7 t/m 13). Dit gold voor zowel de oppervlakte, lengte als breedte. Een uitzondering

hierop was de lengte van het metaal susceptibiliteitsartefact bij de coronale richting (figuur 6). Hierbij leidde een WFS van 0,5 t/m 2,0 pixels tot een grotere lengte bij slice 3. Vanaf een WFS van 2,0 t/m 10,0 pixels vertoonde slice 2 weer de grootste lengte.

Transversaal demonstreerde de kleinste oppervlakte van het metaal susceptibiliteitsartefact

Transversaal liet telkens de kleinste gemiddelde oppervlakte van het metaal susceptibiliteitsartefact zien. Deze oppervlakten waren voor ROI slice 1 t/m 3 respectievelijk 1150,66mm², 2952,03mm² en 1632,59mm² (figuur 8).

Bij coronaal waren deze oppervlakten respectievelijk 1977,50mm², 3939,30mm² en 3110,20mm² (figuur 5). Bij sagittaal was dit 2434,60mm², 5006,10mm² en 2505,5mm² (figuur 11).

Coronaal demonstreerde de grootste oppervlakte van het metaal susceptibiliteitsartefact

De grootste gemiddelde oppervlakte van het metaal susceptibiliteitsartefact bleek bij te zijn bij slice 2 in de coronale richting, te zijn bij een WFS van 8,0 pixels (figuur 5).

Tabel 3. Coronaal – De standaarddeviaties (SD) en de gemiddelde waarden van de drie beoordelaars voor de oppervlakte (ROI), lengte (FH) en breedte (RL) van het metaal susceptibiliteitsartefact.

Coronaal – metaal susceptibiliteitsartefact										
WFS		ROI (mm ²)			FH (mm)			RL(mm)		
		Slice 1	Slice 2	Slice 3	Slice 1	Slice 2	Slice 3	Slice 1	Slice 2	Slice 3
0.5	Gem	1977,54	3939,30	3110,20	34,13	81,80	99,83	76,43	82,73	55,50
	SD	12,00	157,23	106,42	1,80	2,26	3,25	1,86	5,29	0,70
0.8	Gem	2087,29	4316,80	3239,98	35,63	88,60	100,00	75,60	83,43	57,30
	SD	32,94	125,00	200,32	1,89	2,61	3,48	1,44	1,33	1,04
1.1	Gem	2335,31	4589,70	3506,00	40,53	87,80	103,67	74,97	87,23	61,37
	SD	33,35	144,96	178,73	2,27	2,70	3,79	1,04	2,55	0,23
1.4	Gem	2463,52	5256,50	3618,70	43,33	96,53	106,00	77,70	89,67	64,87
	SD	39,91	48,66	301,06	2,76	2,20	4,58	1,30	0,93	0,29
1.7	Gem	2570,47	5715,30	4114,80	45,90	101,37	110,33	80,27	91,77	68,87
	SD	75,65	211,06	182,43	3,03	3,00	4,93	0,47	0,38	1,12
2.0	Gem	2832,59	6207,00	4528,07	49,87	108,67	114,33	82,50	95,53	73,67
	SD	212,89	162,58	53,10	6,89	0,58	3,21	0,44	1,00	0,55
4.0	Gem	3519,03	7938,34	5408,57	61,70	126,33	114,00	89,97	103,67	84,00
	SD	253,41	126,56	232,46	4,75	3,21	3,61	1,10	1,15	0,82
6.0	Gem	3842,52	7856,60	5502,27	67,27	125,67	115,00	89,87	104,00	83,10
	SD	184,66	71,34	537,16	4,35	2,08	4,00	0,80	1,00	1,21
8.0	Gem	3978,15	8010,69	5216,09	68,03	126,00	114,33	89,63	103,67	83,67
	SD	428,16	216,10	65,84	5,75	3,61	5,13	0,96	1,53	0,50
10.0	Gem	3939,09	7854,62	5215,43	69,20	125,00	116,33	89,20	104,67	83,10
	SD	496,86	280,42	54,34	8,48	2,65	4,16	1,15	0,58	1,21

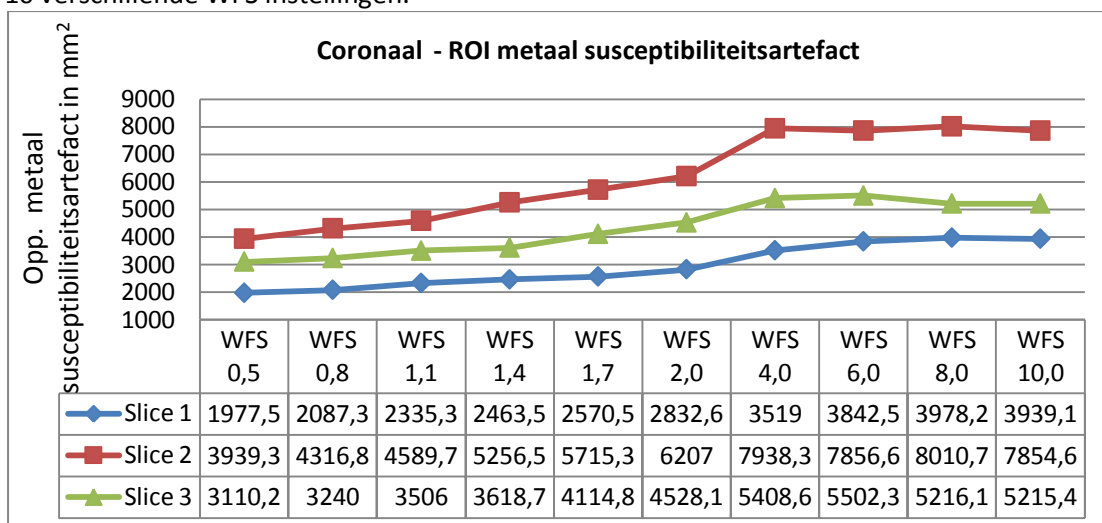
Tabel 4. Transversaal – De standaarddeviaties (SD) en de gemiddelde waarden van de drie beoordelaars voor de oppervlakte (ROI), lengte (AP) en breedte (RL) van het metaal susceptibiliteitsartefact.

Transversaal – metaal susceptibiliteitsartefact										
WFS		ROI (mm ²)			RL (mm)			AP (mm)		
		Slice 1	Slice 2	Slice 3	Slice 1	Slice 2	Slice 3	Slice 1	Slice 2	Slice 3
0.5	Gem	1150,66	2952,03	1632,59	50,20	65,13	45,80	58,13	65,10	46,50
	SD	135,86	232,41	50,98	3,12	1,72	0,20	0,78	5,09	1,92
0.8	Gem	1278,93	3284,63	1753,15	53,57	68,00	46,93	58,47	66,23	48,83
	SD	173,51	99,40	109,50	0,87	2,69	0,72	0,67	2,83	2,87
1.1	Gem	1504,79	3898,96	1879,99	52,87	72,20	46,97	61,70	73,57	52,63
	SD	212,90	371,40	177,89	1,98	2,86	1,34	2,42	5,83	3,33
1.4	Gem	1750,90	4133,71	1895,90	54,27	72,30	46,13	61,53	76,77	55,93
	SD	286,99	200,12	55,50	1,02	2,35	1,86	1,91	6,03	1,57
1.7	Gem	1832,72	4403,14	2006,01	54,90	76,07	46,73	63,10	77,50	54,93
	SD	150,91	322,48	159,13	1,39	2,72	2,14	2,40	5,98	2,14
2.0	Gem	1803,79	4348,15	1878,21	52,40	74,53	45,10	63,07	76,90	53,83
	SD	175,87	77,54	116,07	3,08	0,59	2,00	1,53	5,32	3,07
4.0	Gem	1789,96	4427,56	2013,57	54,73	74,93	45,90	62,53	76,70	55,63
	SD	179,86	270,32	67,58	2,38	2,34	0,85	1,23	5,18	1,92
6.0	Gem	1776,78	4476,11	1985,44	54,50	78,23	46,57	62,60	75,57	55,93
	SD	178,63	166,14	84,96	1,57	3,82	1,19	2,98	2,86	1,82
8.0	Gem	1766,95	4410,69	1874,68	54,00	75,10	45,77	61,73	76,87	53,83
	SD	157,29	211,27	114,69	1,74	1,30	1,62	0,78	4,54	1,76
10.0	Gem	1709,42	4384,81	1821,12	53,63	75,03	46,00	61,60	77,77	52,93
	SD	181,73	423,97	175,59	1,51	2,82	3,48	2,00	5,71	4,91

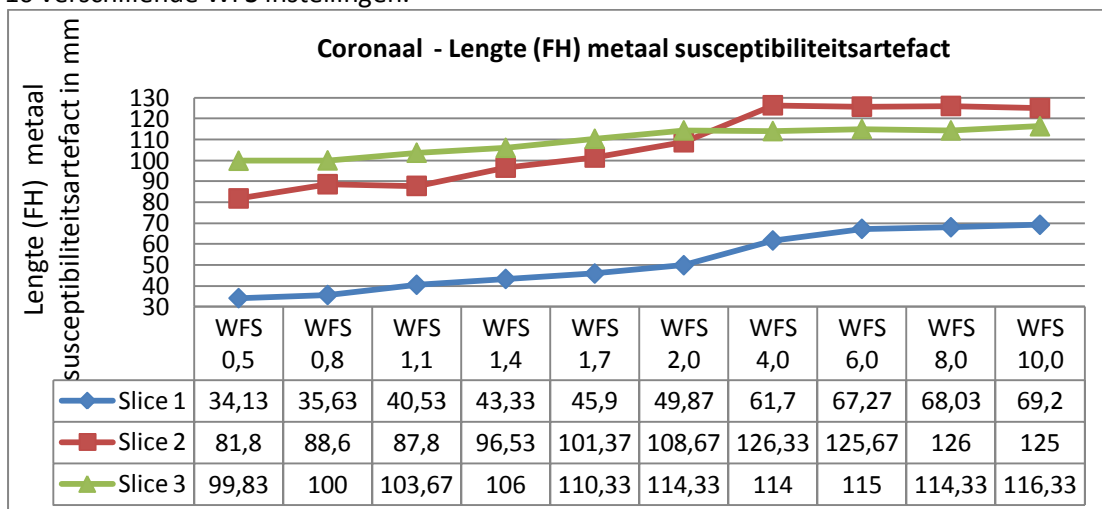
Tabel 5. Sagittaal – De standaarddeviaties (SD) en de gemiddelde waarden van de drie beoordelaars voor de oppervlakte (ROI), lengte (AP) en breedte (FH) van het metaal susceptibiliteitsartefact.

Sagittaal – metaal susceptibiliteitsartefact										
		ROI (mm ²)			FH (mm)			AP (mm)		
WFS		Slice 1	Slice 2	Slice 3	Slice 1	Slice 2	Slice 3	Slice 1	Slice 2	Slice 3
0.5	Gem	2434,57	5006,11	2505,47	45,77	98,40	91,50	75,33	83,13	50,73
	SD	63,21	110,84	361,07	1,40	0,71	8,20	0,25	2,89	2,57
0.8	Gem	2854,88	5575,49	2744,35	49,10	102,00	94,50	78,00	87,27	58,30
	SD	87,69	123,13	272,18	0,95	1,00	5,72	0,44	0,38	2,86
1.1	Gem	3130,46	5759,87	3357,77	53,43	104,67	96,63	81,03	90,77	69,87
	SD	50,71	119,34	185,29	1,27	1,15	0,15	0,31	2,97	0,81
1.4	Gem	3520,77	6208,36	3447,42	59,57	108,67	93,63	83,53	93,33	71,53
	SD	79,22	58,19	277,54	1,42	0,58	3,67	1,86	3,35	1,79
1.7	Gem	3516,43	6086,03	3467,86	59,27	106,67	95,43	84,10	95,00	71,90
	SD	52,86	8,20	275,45	0,78	1,53	1,62	1,30	3,27	7,10
2.0	Gem	3497,05	6143,74	3654,42	59,30	106,33	95,00	83,63	93,17	71,30
	SD	125,92	257,61	241,57	0,79	1,53	1,44	0,06	5,49	7,10
4.0	Gem	3436,69	6079,77	3727,55	58,33	107,67	95,80	84,37	94,23	74,40
	SD	98,78	254,74	495,21	0,81	1,15	1,65	0,76	2,54	13,87
6.0	Gem	3445,54	6146,80	3618,97	58,57	108,00	98,53	84,17	92,43	71,57
	SD	110,64	186,55	263,89	1,21	1,73	3,00	1,33	3,79	7,91
8.0	Gem	3433,28	6194,38	3639,60	55,90	107,33	99,07	85,50	93,53	76,00
	SD	166,43	156,11	546,35	2,52	2,31	4,27	1,45	4,91	9,27
10.0	Gem	3370,63	6267,20	3621,34	55,97	107,00	99,87	84,60	93,47	78,10
	SD	152,88	118,86	410,29	1,66	1,73	2,71	1,01	3,23	6,35

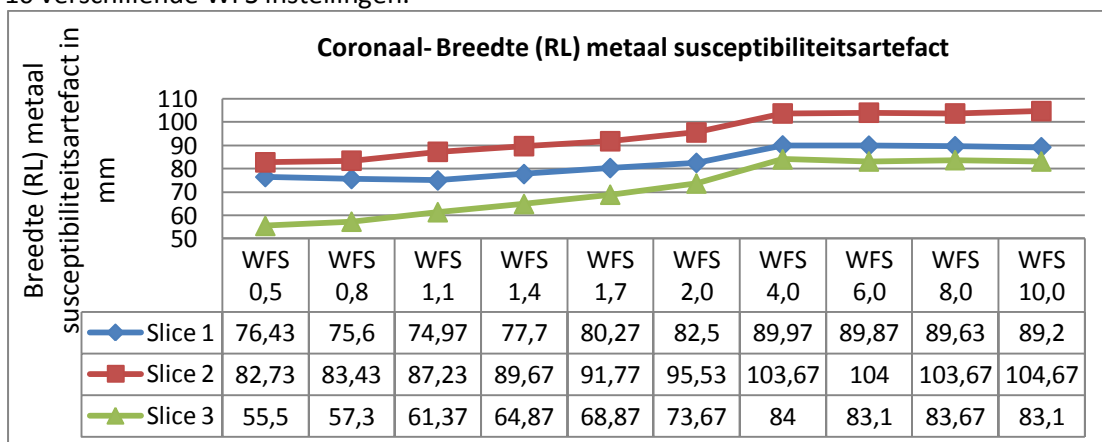
Figuur 5. Coronaal - de oppervlakte van het metaal susceptibiliteitsartefact in mm² bij 10 verschillende WFS instellingen.



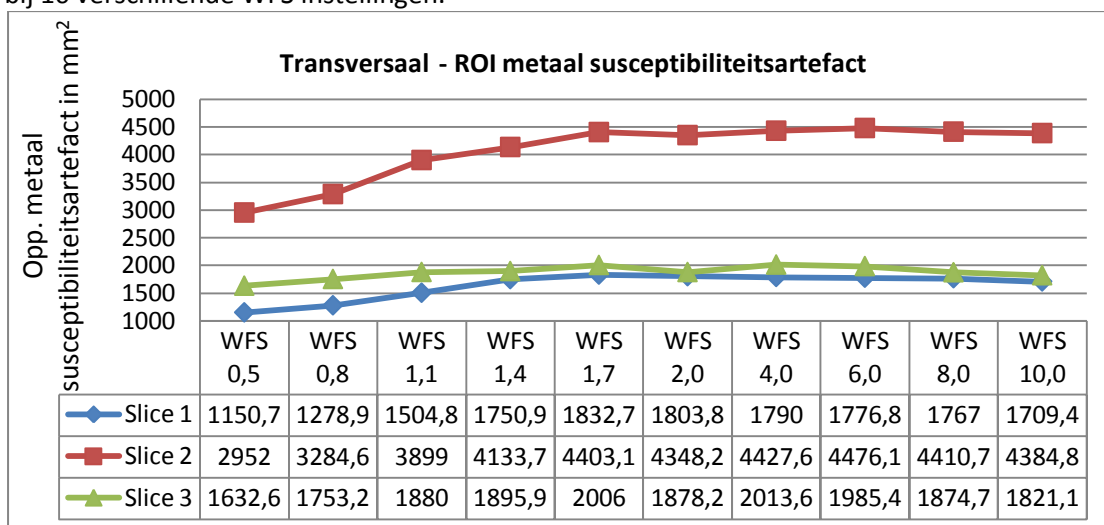
Figuur 6. Coronaal – de lengte (FH) van het metaal susceptibiliteitsartefact in mm bij 10 verschillende WFS instellingen.



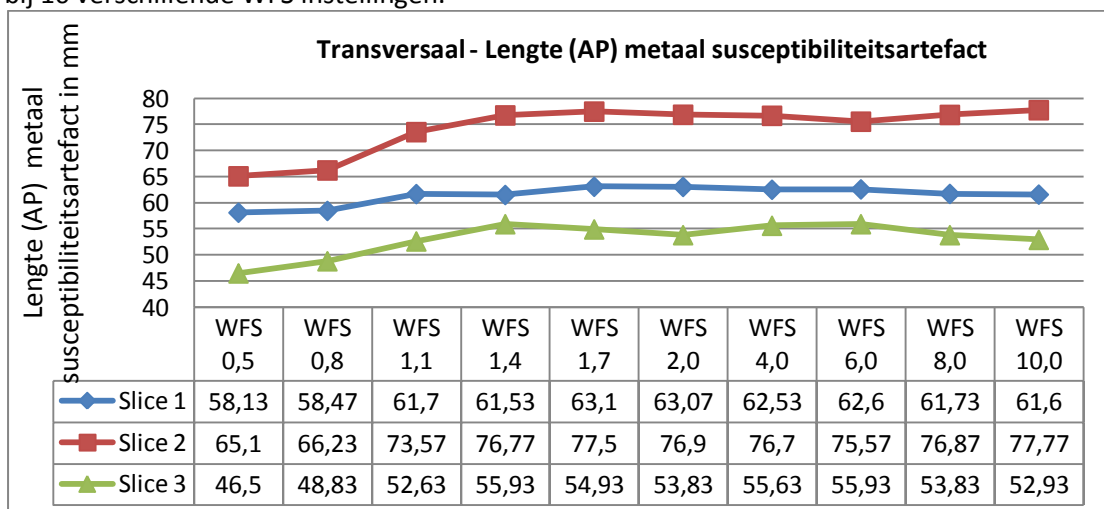
Figuur 7. Coronaal – de breedte (RL) van het metaal susceptibiliteitsartefact in mm bij 10 verschillende WFS instellingen.



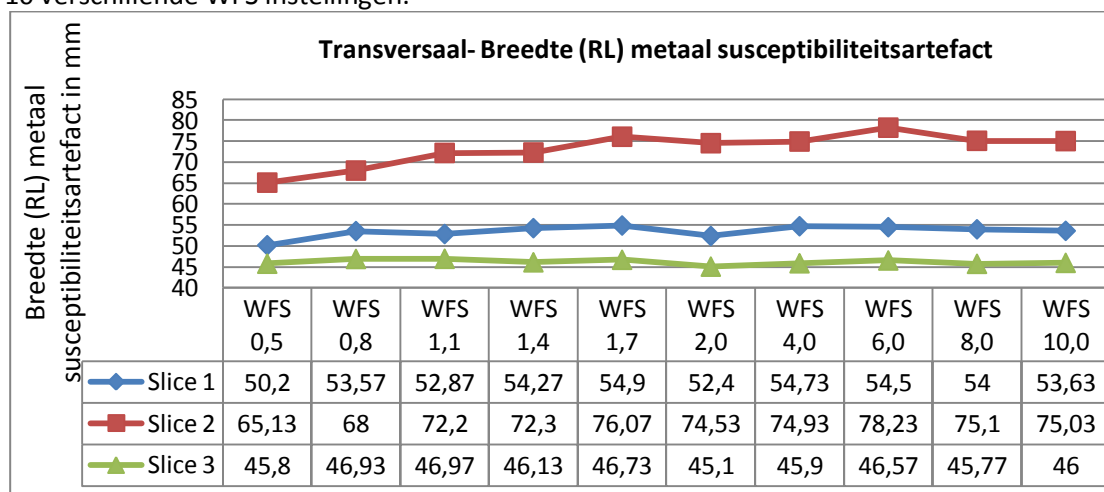
Figuur 8. Transversaal – de oppervlakte van het metaal susceptibiliteitsartefact in mm² bij 10 verschillende WFS instellingen.



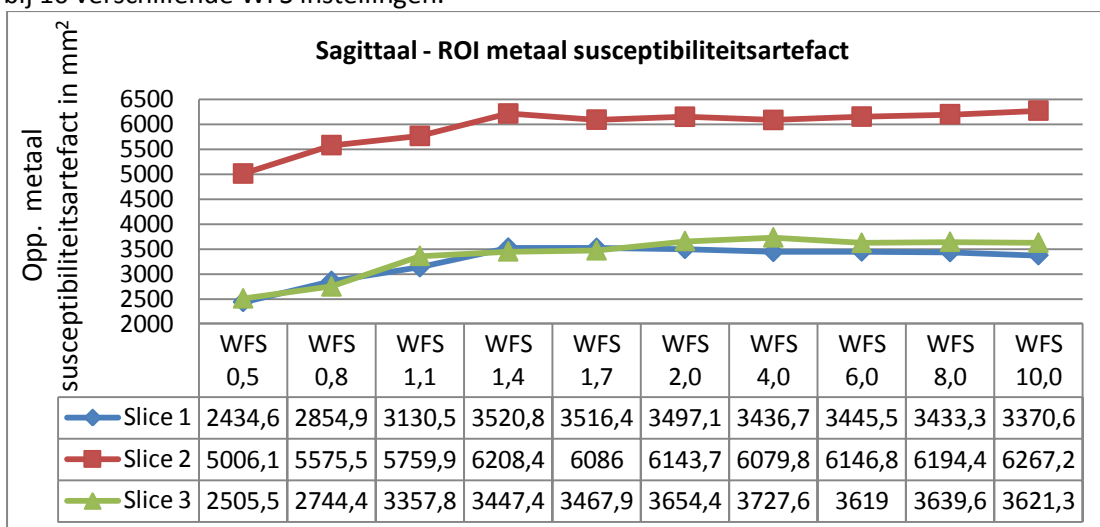
Figuur 9. Transversaal – de lengte (AP) van het metaal susceptibiliteitsartefact in mm bij 10 verschillende WFS instellingen.



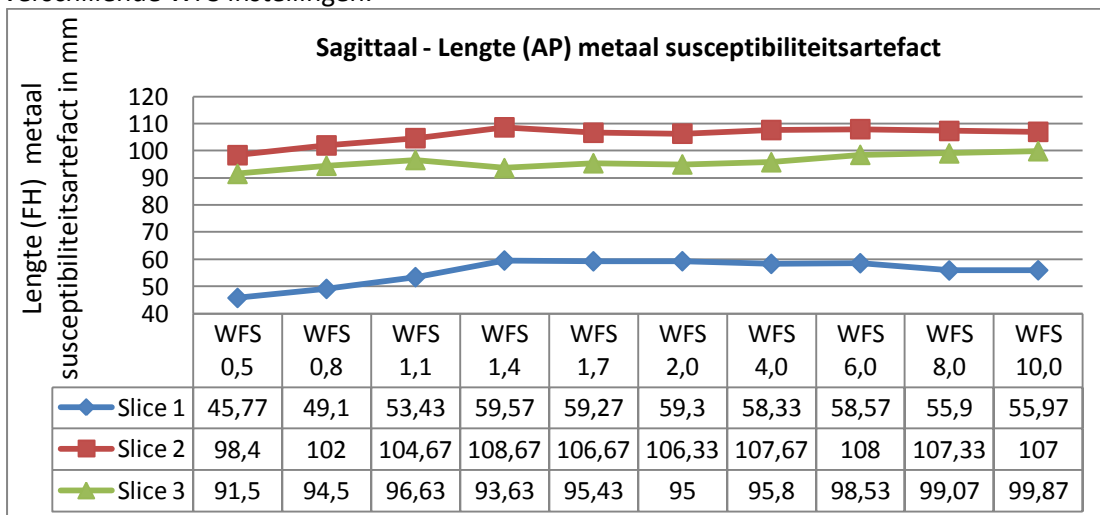
Figuur 10. Transversaal – de breedte (RL) van het metaal susceptibiliteitsartefact in mm bij 10 verschillende WFS instellingen.



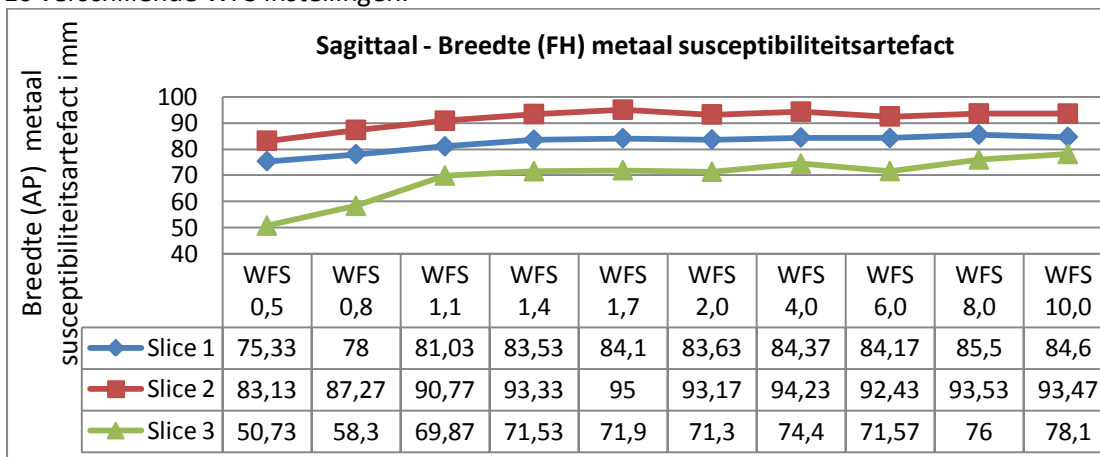
Figuur 11. Sagittaal – de oppervlakte van het metaal susceptibiliteitsartefact in mm² bij 10 verschillende WFS instellingen.



Figuur 12. Sagittaal – lengte (AP) van het metaal susceptibiliteitsartefact in mm bij 10 verschillende WFS instellingen.



Figuur 13. Sagittaal – breedte (FH) van het metaal susceptibiliteitsartefact in mm bij 10 verschillende WFS instellingen.



Discussie

Het opvallendste resultaat is dat de kleinste onderzochte WFS van 0,5 pixels leidt tot het kleinste metaal susceptibiliteitsartefact. Bij het T1-gewogen 1.5T Philips MARS heupprotocol wordt ook gekozen voor een WFS van 0,5 tot 0,7 pixels voor zowel de coronale, transversale en sagittale richting.⁷ Wat ook opvalt is dat het metaal susceptibiliteitsartefact in transversale richting bij een WFS van 0,5 pixels kleiner in oppervlakte is dan in coronale en sagittale richting.

Een belangrijk sterk punt van deze studie is dat het naar mijn weten de eerste studie is dat door middel van een systematische methode onderzoek verricht naar de relatie tussen de WFS en de mate van het metaal susceptibiliteitsonderzoek. Voor de Philips 3.0T MRI Achieva X-serie bestaat een dergelijk onderzoek niet. Het nadeel is dat de resultaten van dit onderzoek niet vergeleken kunnen worden met bestaande resultaten.

Een andere sterke kant van deze studie is dat het onderzoek is verricht met een nieuw ontwikkeld kubusfantom waarmee kwantificatie van het metaal susceptibiliteitsartefact mogelijk wordt. Dit is mogelijk omdat de kubus van RVS in alle onderzochte richtingen dezelfde afmetingen heeft. Bij een complexe vorm zoals een heupprothese is het haast onmogelijk om objectief te bepalen of de grootte van het metaal susceptibiliteitsartefact op een bepaalde plaats wordt veroorzaakt door de scansequentie of door de prothese zelf.

De derde sterke eigenschap van deze studie is dat er een duidelijke definitie van het metaal susceptibiliteitsartefact is ontwikkeld. De projectgroep kwam tot de ontdekking dat een dergelijk definitie niet bestond en per onderzoek verschilt. Door gebruik te maken van de vastgelegde definitie konden de beoordelaars een duidelijke meetmethode ontwikkelen wat naar verwachting de interobservervariatie verkleind.

Het laatste sterke kenmerk van deze studie is de reproduceerbaarheid ervan. Het goed gedefinieerde metaal susceptibiliteitsartefact en de eenduidig beschreven meetmethode dragen hier aan bij. Het onderzoek kan voor meerdere parameters die een rol kunnen spelen bij de reductie van het metaal susceptibiliteitsartefact systematisch worden uitgevoerd.

Het onderzoek kent ook enkele zwakke punten. Allereerst beschikt het kubusfantom ook over enige nadelen. Om het verschil in dichtheden rondom de RVS kubus te minimaliseren werd het kubusfantom gevuld met water. Het was noodzakelijk om de RVS kubus in het midden van het kubusfantom te plaatsen. Kwantificatie van het metaal susceptibiliteitsartefact werd daardoor mogelijk in alle richtingen. Om de RVS kubus in het midden van het kubusfantom te plaatsen moest deze op een object staan. In het geval van deze studie was dat een PVC buisje met vier uitsparingen. De invloed hiervan op het metaal susceptibiliteitsartefact is onbekend. Wanneer het signaallose PVC buiten het artefact ligt kan deze signaalleegte door beoordelaar als artefact worden beschouwd. In sommige gevallen zal er dus een overdrijving van het artefact zijn waargenomen.

Een andere opmerking die gemaakt moet worden is dat in het onderzoek ervan uit wordt gegaan dat het kubusfantom bij het plaatsen van de RVS kubus na het maken van de Survey scan, om de scan vervolgens zuiver te kunnen plannen, niet verplaatst wordt. Dit kan niet worden gegarandeerd. Immers, na het maken van de Survey scan moet de tafel worden uitgeschoven. Vervolgens wordt de bovenzijde van spoel

verwijderd, het deksel van de bak getild en de kubus teruggeplaatst. Nu wordt het deksel weer op het kubusfantoom bevestigd en de spoel gepositioneerd. Tot slot, wordt de tafel teruggeschoven naar de bij de Survey ingestelde tafelpositie. De beoordelaars zijn telkens voorzichtig te werk gegaan met het kubusfantoom tijdens dit proces. Enige beweging van het kubusfantoom is echter niet uit te sluiten. Het is dus de vraag of de in het midden van de RVS kubus geplande slices zich ook daadwerkelijk in het midden bevonden. Wanneer dit niet het geval is kunnen de resultaten een vertekend beeld geven. Buiten de kubus gelegen slices gaven volgens de resultaten een kleiner metaal susceptibiliteitsartefact. Echter, de beoordelaars gaan er vanuit dat de beweging van het kubusfantoom minimaal was. Vanwege de afmetingen van de kubus (2 x 2 x 2cm) is de verwachting dat elke slice die in het midden van de kubus gepland is, zich tevens binnen de kubus bevindt.

Om de effecten van interobservatie zoveel mogelijk te beperken is het noodzakelijk om voor elke te meten slice een window reset uit te voeren. De mate waarin het metaal susceptibiliteitsartefact op het beeld wordt getoond is namelijk sterk afhankelijk van de window-setting. In dit onderzoek is door de beoordelaars telkens consequent een window-reset uitgevoerd voor elke te meten afbeelding. Ook is het belangrijk dat elke beoordelaar gebruik maakt van een eenzelfde monitorsysteem bij het beoordelen van de scans. Echter, het contrast en de helderheid van een monitor zijn ook handmatig in te stellen. Verschillende monitor settings tussen de verschillende beoordelaars kan leiden in een structurele overdrijving of verzwakking van het metaal susceptibiliteitsartefact. Een aanbeveling is dan ook om gebruik te maken van één beoordelingssysteem of soortgelijke beoordelingssystemen waarbij het contrast en helderheid van de monitor op de standaard setting wordt gezet alvorens te meten.

Tot slot, is het de vraag in hoeverre deze resultaten toepasbaar zijn op een complexe vorm zoals een heupprothese. Ook is niet duidelijk of de resultaten toepasbaar zullen zijn op de patiënt aangezien deze veel verschillende dichtheden bevat welk invloed zouden kunnen uitoefenen op het metaalsusceptibiliteitsartefact. Bij dit onderzoek wordt aangenomen dat de resultaten overdraagbaar zijn op de heupprothese bij de patiënt. Echter, vervolgonderzoek zal moeten uitwijzen of de resultaten daadwerkelijk toepasbaar zijn voor een nieuw 3.0T MARS heupprotocol. Er wordt dan ook aanbevolen om de optimale WFS setting van 0,5 pixels te integreren in het standaard 3.0T heupprotocol en deze combinatie te testen op de patiënt. Desondanks mag niet vergeten worden dat dit onderzoek het eerste onderzoek is dat systematisch de relatie tussen de WFS en het metaal susceptibiliteitsartefact voor de 3.0T Philips Achieva X-serie MRI-scanner heeft bestudeerd. De resultaten van deze studie vormen een goede basis voor de ontwikkeling van een nieuw MARS protocol.

Conclusie

Het doel van het onderzoek is het beschrijven wat de invloed van de scanparameter WFS is op het metaal susceptibiliteitsartefact bij het heupprotocol op een Philips 3.0T Achieva X-serie MRI scanner. De conclusie geeft antwoord op de onderzoeksvraag: "Bij welke waarde van de scanparameter WFS is de invloed het grootst op de reductie van de vervorming op het kubusfantom, gescand in drie richtingen (coronaal, sagittaal en transversaal)?"

Uit de resultaten blijkt dat een grotere WFS leidt tot een grotere vervorming van het kubusfantom ten gevolge van het metaal susceptibiliteitsartefact. Immers, een toenemende WFS leidde tevens voor alle richtingen en slices tot een grotere vervorming ten gevolge van het metaal susceptibiliteitsartefact (figuur 5 t/m 13). Echter, dit verschijnsel was vooral waar te nemen bij de kleinere instellingen van de WFS. Voor de coronale richting gold dat de oppervlakte, lengte en breedte van het metaal susceptibiliteitsartefact toenamen tot ongeveer een WFS instelling van 4,0 pixels (figuur 5 t/m 7). Daarna werd een plateaufase bereikt of zelfs een kleine verkleining van het artefact. Ook bij de transversale en sagittale richting was een plateaufase te zien welke grofweg tussen WFS 1,1 en 1,7 pixels werd bereikt (figuur 8 t/m 13). Er moet opnieuw worden opgemerkt dat bij slice 1 in de coronale richting tussen WFS 0,5 en 1,1 pixels eerst een verkleining van de breedte van het artefact werd gezien voordat er sprake was van een toename.

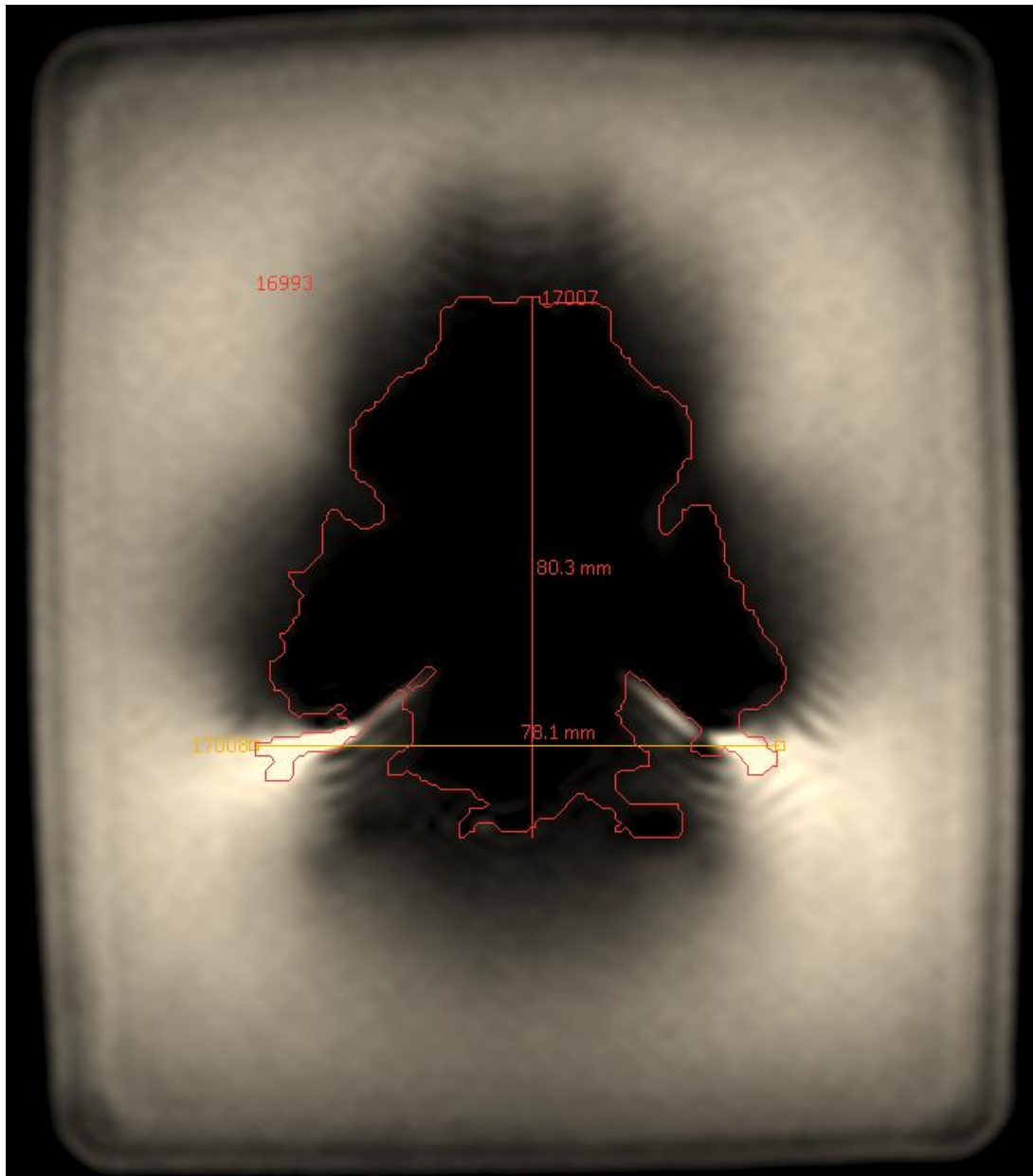
Er kan geconcludeerd worden dat de vervorming van het kubusfantom ten gevolge van het metaal susceptibiliteitsartefact in zowel de richtingen coronaal, transversaal en sagittaal het kleinst is bij een WFS van 0,5 pixels. De vervorming is het kleinst bij de kleinste onderzochte WFS. De invloed van een WFS van 0,5 pixels is dus het grootst op de reductie van de vervorming op het kubusfantom. Hierop zijn twee uitzonderingen. Allereerst is de breedte van het metaal susceptibiliteitsartefact bij slice 1 in de coronale richting het kleinste bij een WFS van 1,1 pixels (figuur 7) en tot slot is de breedte van het metaal susceptibiliteitsartefact bij slice 3 in transversale richting het kleinste bij een WFS van 2,0 pixels (figuur 10).

Referenties

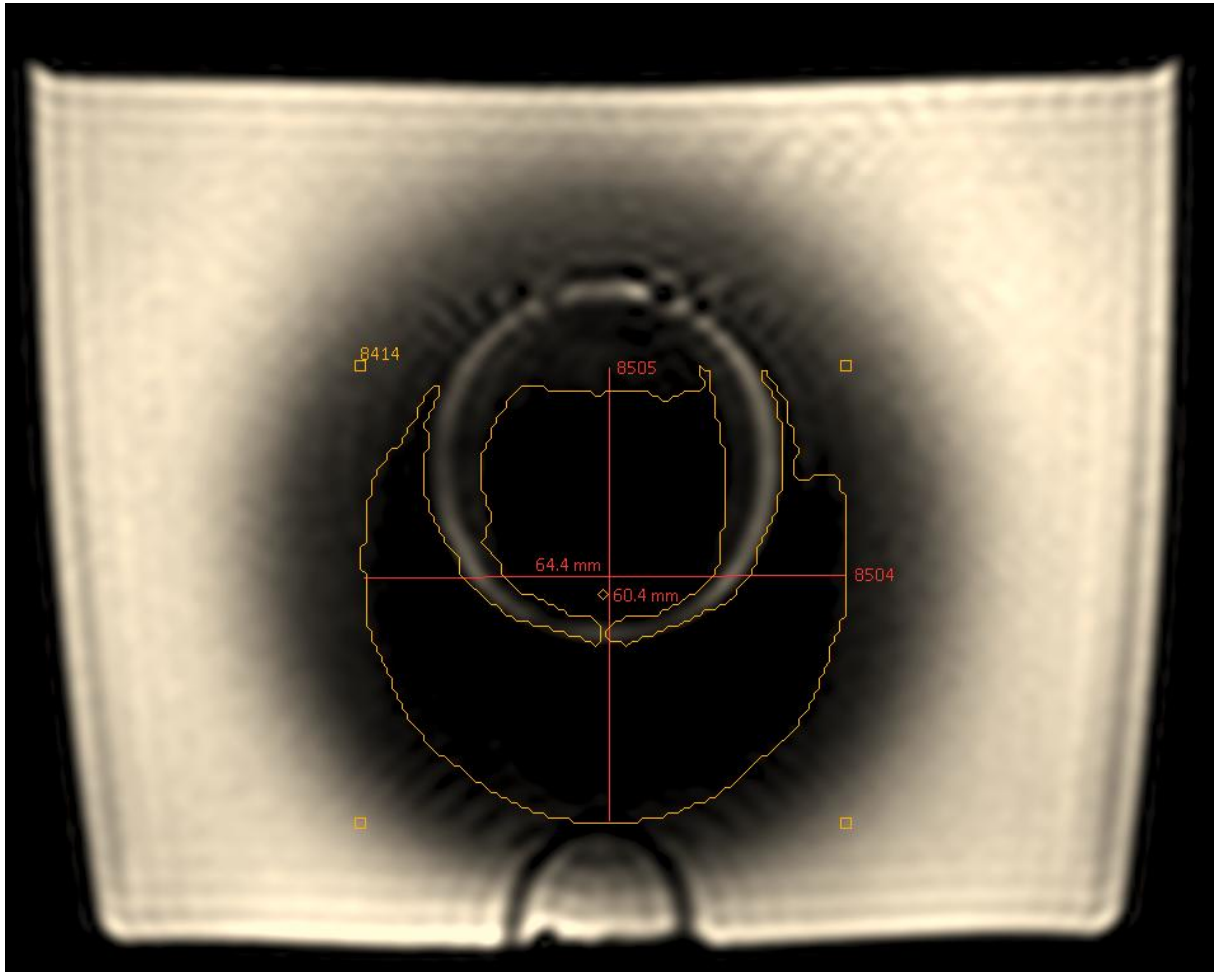
1. Ostendorf M, Johnell O, Malchau H, Dhert WJA, Schrijvers AJP, Verbout AJ. The epidemiology of total hip replacement in The Netherlands and Sweden: *Present status and future needs*. Acta Orthopaedica Scandinavica 2002; 73 (3): 282-286.
2. Stradiotti P, Curti A, Castellazzi G, Zerbi A. Metal-related artifacts in instrumented spine. Techniques for reducing artifacts in CT and MRI: state of the art. Eur Spine J 2009; 18 (1): 102-108.
3. Lee MJ, Kim S, Lee SA, Song HT, Huh YM, Kim DH et al. Overcoming Artifacts from Metallic Orthopedic Implants at High-Field-Strength MR Imaging and Multidetector CT. RadioGraphics 2007; 27: 791-803.
4. Westbrook C, Kaut-Roth C, Talbot J. MRI in Practice. 4ed. Oxford: WILEY-BLACKWELL; 2011.
5. Rinck PA. Magnetic Resonance in Medicine. Fifth Revised Edition. Berlin; ABW Wissenschaftsverlag GmbH. 2003.
6. Elster AD, Burdette JH. Questions & Answers in Magnetic resonance imaging. Second Edition. St. Louis, Missouri; Mosby Inc. 2001.
7. Van Meel M. Metal artifact reduction for MRI of metal prostheses and implants. FieldStrength 2011; 44: 18-21.
8. Rumsey D. Statistiek voor Dummies. 2e editie. Indianapolis, Indiana: Pearson Education. 2012

Bijlagen

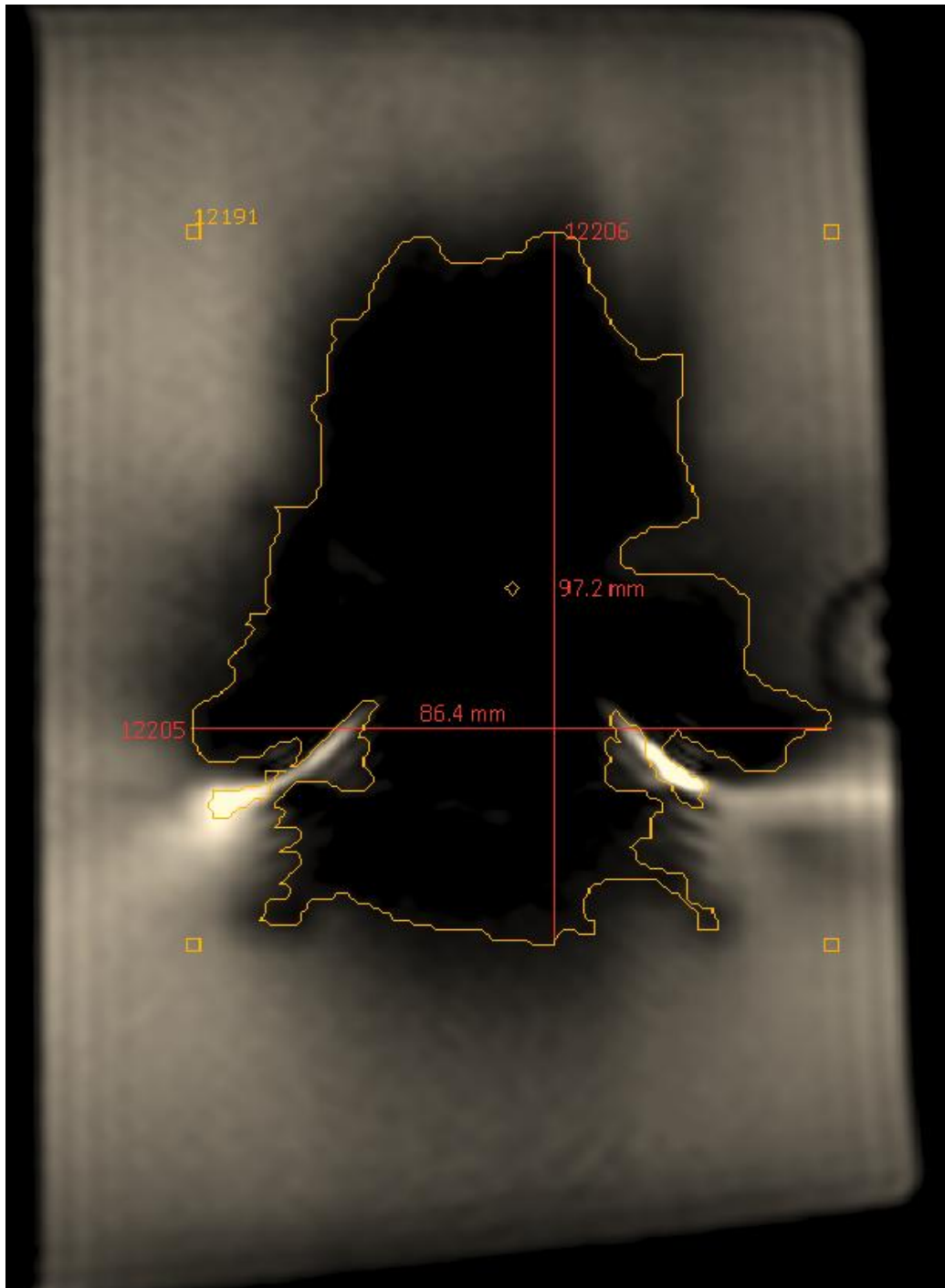
Bijlage I



Metaal susceptibiliteitsartefact – Coronaal, slice 2 midden door de RVS kubus, WFS 0,5 pixels



Metaal susceptibiliteitsartefact – Transversaal, slice 2 midden door de RVS kubus, WFS 0,5 pixels



Metaal susceptibiliteitsartefact – Sagittaal, slice 2 midden door de RVS kubus, WFS 0,5 pixels

Bijlage II

Coronaal – metaal susceptibiliteitsartefact										
		ROI (mm ²)			FH (mm)			RL(mm)		
WFS	Observer	Slice 1	Slice 2	Slice 3	Slice 1	Slice 2	Slice 3	Slice 1	Slice 2	Slice 3
0.5	A	1984,95	4084,60	3190,80	35,90	80,70	103,00	76,20	81,60	56,30
	B	1963,70	3961,01	2989,54	34,20	80,30	96,50	74,70	78,10	55,20
	C	1983,97	3772,40	3150,22	32,30	84,40	100,00	78,40	88,50	55,00
	Gem.	1977,54	3939,30	3110,20	34,13	81,80	99,83	76,43	82,73	55,50
	SD	12,00	157,23	106,42	1,80	2,26	3,25	1,86	5,29	0,70
0.8	A	2118,93	4406,90	3197,69	37,70	91,10	98,30	76,80	83,10	57,80
	B	2053,19	4369,37	3064,20	35,20	85,90	97,70	76,00	82,30	56,10
	C	2089,76	4174,09	3458,05	34,00	88,80	104,00	74,00	84,90	58,00
	Gem.	2087,29	4316,80	3239,98	35,63	88,60	100,00	75,60	83,43	57,30
	SD	32,94	125,00	200,32	1,89	2,61	3,48	1,44	1,33	1,04
1.1	A	2297,41	4583,44	3505,19	42,60	90,50	102,00	75,80	87,20	61,50
	B	2348,33	4737,69	3327,70	40,90	87,80	101,00	75,30	84,70	61,10
	C	2360,19	4447,98	3685,15	38,10	85,10	108,00	73,80	89,80	61,50
	Gem.	2335,31	4589,70	3506,00	40,53	87,80	103,67	74,97	87,23	61,37
	SD	33,35	144,96	178,73	2,27	2,70	3,79	1,04	2,55	0,23
1.4	A	2460,06	5213,29	3556,11	45,70	97,60	105,00	79,00	90,10	64,70
	B	2505,05	5309,20	3353,90	44,00	98,00	102,00	77,70	88,60	64,70
	C	2425,45	5246,91	3946,18	40,30	94,00	111,00	76,40	90,30	65,20
	Gem.	2463,52	5256,50	3618,70	43,33	96,53	106,00	77,70	89,67	64,87
	SD	39,91	48,66	301,06	2,76	2,20	4,58	1,30	0,93	0,29
1.7	A	2528,28	5907,90	3985,23	47,80	104,00	107,00	80,10	92,20	68,60
	B	2525,32	5748,21	4035,66	47,50	102,00	108,00	80,80	91,50	67,90
	C	2657,81	5489,65	4323,39	42,40	98,10	116,00	79,90	91,60	70,10
	Gem.	2570,47	5715,30	4114,80	45,90	101,37	110,33	80,27	91,77	68,87
	SD	75,65	211,06	182,43	3,03	3,00	4,93	0,47	0,38	1,12
2.0	A	2932,69	6353,34	4575,53	57,60	109,00	113,00	82,00	96,50	73,40
	B	2588,10	6235,68	4470,72	47,60	108,00	112,00	82,80	94,50	73,30
	C	2976,99	6031,99	4537,96	44,40	109,00	118,00	82,70	95,60	74,30
	Gem.	2832,59	6207,00	4528,07	49,87	108,67	114,33	82,50	95,53	73,67
	SD	212,89	162,58	53,10	6,89	0,58	3,21	0,44	1,00	0,55
4.0	A	3505,19	8075,78	5241,47	60,60	130,00	113,00	90,70	103,00	83,80
	B	3272,83	7826,61	5310,19	57,60	125,00	111,00	88,70	103,00	83,30
	C	3779,08	7912,63	5674,05	66,90	124,00	118,00	90,50	105,00	84,90
	Gem.	3519,03	7938,34	5408,57	61,70	126,33	114,00	89,97	103,67	84,00
	SD	253,41	126,56	232,46	4,75	3,21	3,61	1,10	1,15	0,82
6.0	A	4016,88	7788,04	5276,07	71,70	124,00	115,00	89,80	103,00	81,80
	B	3649,05	7851,32	5115,20	63,00	125,00	111,00	89,10	104,00	83,30
	C	3861,64	7930,43	6115,54	67,10	128,00	119,00	90,70	105,00	84,20
	Gem.	3842,52	7856,60	5502,27	67,27	125,67	115,00	89,87	104,00	83,10
	SD	184,66	71,34	537,16	4,35	2,08	4,00	0,80	1,00	1,21
8.0	A	4247,26	8155,87	5232,57	73,80	130,00	113,00	89,80	104,00	83,60
	B	3484,42	7762,34	5143,57	62,30	123,00	110,00	88,60	102,00	83,20
	C	4202,76	8113,84	5272,12	68,00	125,00	120,00	90,50	105,00	84,20
	Gem.	3978,15	8010,69	5216,09	68,03	126,00	114,33	89,63	103,67	83,67
	SD	428,16	216,10	65,84	5,75	3,61	5,13	0,96	1,53	0,50
10.0	A	4464,29	8155,87	5233,06	78,40	128,00	113,00	88,30	105,00	82,00
	B	3476,51	7601,17	5154,46	61,70	123,00	115,00	88,80	104,00	82,90
	C	3876,47	7806,83	5258,77	67,50	124,00	121,00	90,50	105,00	84,40
	Gem.	3939,09	7854,62	5215,43	69,20	125,00	116,33	89,20	104,67	83,10
	SD	496,86	280,42	54,34	8,48	2,65	4,16	1,15	0,58	1,21

Transversaal - metaal susceptibiliteitsartefact										
		ROI (mm ²)			RL (mm)			AP (mm)		
WFS	Observer	Slice 1	Slice 2	Slice 3	Slice 1	Slice 2	Slice 3	Slice 1	Slice 2	Slice 3
0.5	A	1247,59	2920,04	1681,62	48,50	67,10	46,00	57,50	64,40	47,80
	B	1209,01	2737,27	1579,86	53,80	64,40	45,60	57,90	60,40	44,30
	C	995,37	3198,78	1636,28	48,30	63,90	45,80	59,00	70,50	47,40
	Gem.	1150,66	2952,03	1632,59	50,20	65,13	45,80	58,13	65,10	46,50
	SD	135,86	232,41	50,98	3,12	1,72	0,20	0,78	5,09	1,92
0.8	A	1479,07	3399,4	1740,93	53,80	69,60	47,30	59,20	69,50	49,80
	B	1170,91	3226,76	1650,27	52,60	64,90	46,10	57,90	64,60	45,60
	C	1186,82	3227,72	1868,25	54,30	69,50	47,40	58,30	64,60	51,10
	Gem.	1278,93	3284,63	1753,15	53,57	68,00	46,93	58,47	66,23	48,83
	SD	173,51	99,40	109,50	0,87	2,69	0,72	0,67	2,83	2,87
1.1	A	1750,10	4327,26	2064,53	55,00	74,50	48,50	63,90	80,30	56,30
	B	1368,15	3665,91	1709,59	51,10	69,00	46,40	59,10	70,20	49,80
	C	1396,12	3703,70	1865,84	52,50	73,10	46,00	62,10	70,20	51,80
	Gem.	1504,79	3898,96	1879,99	52,87	72,20	46,97	61,70	73,57	52,63
	SD	212,90	371,40	177,89	1,98	2,86	1,34	2,42	5,83	3,33
1.4	A	2072,72	4180,17	1952,64	54,70	72,20	45,60	63,10	83,70	57,70
	B	1521,51	3914,45	1841,72	53,10	70,00	44,60	59,40	73,90	55,40
	C	1658,47	4306,52	1893,33	55,00	74,70	48,20	62,10	72,70	54,70
	Gem.	1750,90	4133,71	1895,90	54,27	72,30	46,13	61,53	76,77	55,93
	SD	286,99	200,12	55,50	1,02	2,35	1,86	1,91	6,03	1,57
1.7	A	2005,69	4753,09	2188,95	55,70	79,20	49,20	65,50	84,40	57,40
	B	1727,91	4117,96	1899,59	53,30	74,30	45,50	60,70	74,30	53,60
	C	1764,56	4338,38	1929,49	55,70	74,70	45,50	63,10	73,80	53,80
	Gem.	1832,72	4403,14	2006,01	54,90	76,07	46,73	63,10	77,50	54,93
	SD	150,91	322,48	159,13	1,39	2,72	2,14	2,40	5,98	2,14
2.0	A	1997,49	4285,30	1929,98	55,20	74,10	47,30	63,90	83,00	56,30
	B	1654,13	4324,36	1745,27	52,90	75,20	43,40	61,30	74,50	50,40
	C	1759,74	4434,80	1959,39	49,10	74,30	44,60	64,00	73,20	54,80
	Gem.	1803,79	4348,15	1878,21	52,40	74,53	45,10	63,07	76,90	53,83
	SD	175,87	77,54	116,07	3,08	0,59	2,00	1,53	5,32	3,07
4.0	A	1997,01	4454,09	2016,78	55,90	77,00	46,70	63,90	82,60	57,70
	B	1672,45	4144,96	1944,44	52,00	72,40	45,00	61,50	74,60	55,30
	C	1700,42	4683,64	2079,48	56,30	75,40	46,00	62,20	72,90	53,90
	Gem.	1789,96	4427,56	2013,57	54,73	74,93	45,90	62,53	76,70	55,63
	SD	179,86	270,32	67,58	2,38	2,34	0,85	1,23	5,18	1,92
6.0	A	1979,65	4478,20	2078,99	55,60	82,60	47,40	65,80	78,70	57,90
	B	1643,04	4308,93	1913,10	52,70	75,50	45,20	62,10	74,90	55,60
	C	1707,66	4641,20	1964,22	55,20	76,60	47,10	59,90	73,10	54,30
	Gem.	1776,78	4476,11	1985,44	54,50	78,23	46,57	62,60	75,57	55,93
	SD	178,63	166,14	84,96	1,57	3,82	1,19	2,98	2,86	1,82
8.0	A	1940,10	4445,89	1951,68	55,20	75,90	46,70	62,60	82,10	55,70
	B	1632,91	4184,03	1742,86	52,00	73,60	43,90	61,10	74,00	52,20
	C	1727,84	4602,14	1929,49	54,80	75,80	46,70	61,50	74,50	53,60
	Gem.	1766,95	4410,69	1874,68	54,00	75,10	45,77	61,73	76,87	53,83
	SD	157,29	211,27	114,69	1,74	1,30	1,62	0,78	4,54	1,76
10.0	A	1247,59	2920,04	1681,62	48,50	67,10	46,00	57,50	64,40	47,80
	B	1209,01	2737,27	1579,86	53,80	64,40	45,60	57,90	60,40	44,30
	C	995,37	3198,78	1636,28	48,30	63,90	45,80	59,00	70,50	47,40
	Gem.	1150,66	2952,03	1632,59	50,20	65,13	45,80	58,13	65,10	46,50
	SD	135,86	232,41	50,98	3,12	1,72	0,20	0,78	5,09	1,92

Sagittaal – metaal susceptibiliteitsartefact										
		ROI (mm ²)			FH (mm)			AP (mm)		
WFS	Observer	Slice 1	Slice 2	Slice 3	Slice 1	Slice 2	Slice 3	Slice 1	Slice 2	Slice 3
0.5	A	2432,00	4962,38	2161,46	47,20	97,90	85,70	75,10	82,10	53,70
	B	2372,69	4923,80	2473,48	44,40	97,2	93,5	75,60	86,40	49,20
	C	2499,03	5132,14	2881,47	45,70	98,90	97,30	75,30	80,90	49,30
	Gem.	2434,57	5006,11	2505,47	45,77	98,40	91,50	75,33	83,13	50,73
	SD	63,21	110,84	361,07	1,40	0,71	8,20	0,25	2,89	2,57
0.8	A	2868,45	5686,73	2436,83	50,20	102,00	87,90	77,50	87,70	55,00
	B	2761,20	5596,55	2841,92	48,50	103,00	97,80	78,20	87,00	59,80
	C	2935,00	5443,19	2954,29	48,60	101,00	97,80	78,30	87,10	60,10
	Gem.	2854,88	5575,49	2744,35	49,10	102,00	94,50	78,00	87,27	58,30
	SD	87,69	123,13	272,18	0,95	1,00	5,72	0,44	0,38	2,86
1.1	A	3137,05	5897,48	3556,13	54,90	106,00	96,60	80,70	94,20	70,80
	B	3076,78	5684,80	3189,15	52,60	104,00	96,80	81,10	89,10	69,30
	C	3177,56	5697,34	3328,03	52,80	104,00	96,50	81,30	89,00	69,50
	Gem.	3130,46	5759,87	3357,77	53,43	104,67	96,63	81,03	90,77	69,87
	SD	50,71	119,34	185,29	1,27	1,15	0,15	0,31	2,97	0,81
1.4	A	3611,59	6269,77	3747,59	61,20	109,00	90,20	85,50	97,20	73,60
	B	3465,95	6154,03	3200,10	58,70	109,00	97,50	81,80	91,20	70,40
	C	3484,76	6201,29	3394,58	58,80	108,00	93,20	83,30	91,60	70,60
	Gem.	3520,77	6208,36	3447,42	59,57	108,67	93,63	83,53	93,33	71,53
	SD	79,22	58,19	277,54	1,42	0,58	3,67	1,86	3,35	1,79
1.7	A	3496,34	6077,84	3785,69	58,40	108,00	94,40	82,60	98,60	80,10
	B	3476,56	6086,03	3298,54	59,50	107,00	97,30	84,90	92,20	67,80
	C	3576,39	6094,23	3319,35	59,90	105,00	94,60	84,80	94,20	67,80
	Gem.	3516,43	6086,03	3467,86	59,27	106,67	95,43	84,10	95,00	71,90
	SD	52,86	8,20	275,45	0,78	1,53	1,62	1,30	3,27	7,10
2.0	A	3587,97	6414,93	3931,80	59,60	108,00	93,80	83,60	99,30	79,50
	B	3353,32	5902,30	3490,26	58,40	106,00	96,60	83,70	88,70	67,20
	C	3549,86	6114,00	3541,19	59,90	105,00	94,60	83,60	91,50	67,20
	Gem.	3497,05	6143,74	3654,42	59,30	106,33	95,00	83,63	93,17	71,30
	SD	125,92	257,61	241,57	0,79	1,53	1,44	0,06	5,49	7,10
4.0	A	3443,28	6372,01	4298,32	58,70	109,00	93,90	83,50	97,00	90,40
	B	3334,78	5962,58	3412,12	57,40	107,00	96,60	84,90	92,00	67,00
	C	3532,02	5904,71	3472,22	58,90	107,00	96,90	84,70	93,70	65,80
	Gem.	3436,69	6079,77	3727,55	58,33	107,67	95,80	84,37	94,23	74,40
	SD	98,78	254,74	495,21	0,81	1,15	1,65	0,76	2,54	13,87
6.0	A	3514,18	6361,40	3910,11	59,70	110,00	102,00	85,70	96,60	80,70
	B	3317,90	6023,34	3395,50	57,30	107,00	96,70	83,50	91,50	67,10
	C	3504,54	6055,65	3551,31	58,70	107,00	96,90	83,30	89,20	66,90
	Gem.	3445,54	6146,80	3618,97	58,57	108,00	98,53	84,17	92,43	71,57
	SD	110,64	186,55	263,89	1,21	1,73	3,00	1,33	3,79	7,91
8.0	A	3581,57	6373,94	4202,35	58,80	110,00	104,00	87,00	99,20	86,70
	B	3253,28	6118,33	3111,28	54,20	106,00	96,70	84,10	90,60	70,60
	C	3464,99	6090,86	3605,16	54,70	106,00	96,50	85,40	90,80	70,70
	Gem.	3433,28	6194,38	3639,60	55,90	107,33	99,07	85,50	93,53	76,00
	SD	166,43	156,11	546,35	2,52	2,31	4,27	1,45	4,91	9,27
10.0	A	3523,82	6402,39	4007,52	57,50	109,00	103,00	85,70	97,20	85,40
	B	3218,07	6220,10	3190,58	54,20	106,00	98,30	84,40	91,70	73,90
	C	3369,99	6179,11	3665,93	56,20	106,00	98,30	83,70	91,50	75,00
	Gem.	3370,63	6267,20	3621,34	55,97	107,00	99,87	84,60	93,47	78,10
	SD	152,88	118,86	410,29	1,66	1,73	2,71	1,01	3,23	6,35