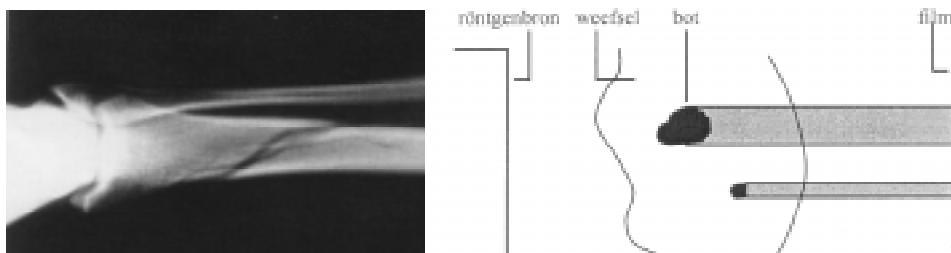


Experiment 1-5

Echografie

1 Inleiding

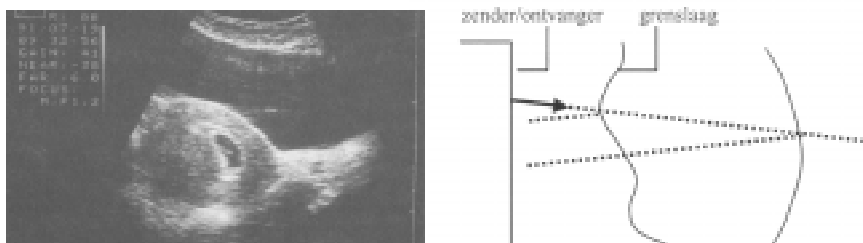
In de geneeskunde wordt een groot aantal technieken gebruikt om beelden van het inwendige van het lichaam te maken. De verzamelnaam voor deze technieken is *medische beeldvorming*. Een bekend voorbeeld van zo'n techniek is het maken van een röntgenfoto. Op een normale röntgenfoto zijn vooral de botten in het lichaam goed zichtbaar. Deze botten absorberen een groot deel van de invallende röntgenstraling. De absorptie van deze straling door het omliggende weefsel is veel kleiner. Daardoor ontstaat op de film een afbeelding van de botten, vergelijkbaar met een schaduwbeeld. Een ander (bekend) voorbeeld van medische beeldvorming is de *echografie*.



Figuur 1 – Röntgenfoto (links). Bij het maken van een röntgenfoto ontstaat het beeld door een verschil in absorptie van röntgenstraling door verschillende delen van het lichaam (rechts).

Echografie

De *echografie* is een afbeeldingstechniek die gebruik maakt van *reflectie* van *geluid* aan een grensvlak tussen twee verschillende media in het lichaam. Een zender/ontvanger-combinatie zorgt voor het uitzenden van geluid en het ontvangen van gereflecteerd geluid. Uit de tijd die verloopt tussen het uitzenden en ontvangen van het geluid is de afstand van de zender/ontvanger-combinatie tot het reflecterende vlak te bepalen. Met de computer is dan het beeld zichtbaar te maken in de vorm van een *echogram*.



Figuur 2 – Echogram (links). Bij het maken van een echogram ontstaat het beeld door reflectie van geluid op het grensvlak van verschillende delen van het lichaam (rechts).

De zender/ontvanger-combinatie zendt *ultrasone geluidspulsen* uit: korte reeksen geluidsgolven met een frequentie die boven de bovenste gehoorrens ligt. Het *u,t*-diagram van het uitgezonden geluidssignaal is weergegeven in figuur 3.

Bij echografie wordt het geluid uitgezonden in de vorm van opeenvolgende *geluidspulsen*. Na reflectie van een geluidspuls tegen verschillende grenslagen (op verschillende diepte) in het lichaam komen er bij de ontvanger verschillende geluidspulsen aan: de *reflecties*. Het beeld (het echogram) moet worden geconstrueerd uit de gemeten tijd die verloopt tussen

het uitzenden van een geluidspuls en het ontvangen van de bijbehorende reflecties. Deze tijd is een maat voor de afstand tussen de zender/ontvanger-combinatie en de reflecterende vlakken.



Figuur 3 – Het u,t -diagram van het door de zender/ontvanger-combinatie uitgezonden geluidssignaal, met daarin aangegeven de tijd die verloopt *tijdens* het uitzenden van een geluidspuls (de puls' lengte') en de tijd die verloopt *tussen* het uitzenden van twee opeenvolgende geluidspulsen (de puls' afstand').

1 Echografie-principe

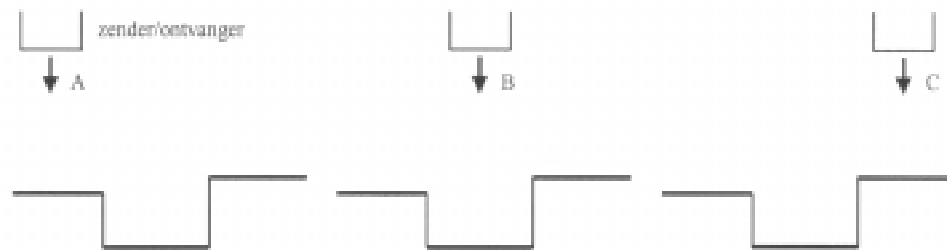
Het uitgangspunt bij echografie is het meten van de afstand tussen de zender/ontvanger en een reflecterend vlak voor een groot aantal punten van dat vlak. Uit die metingen moet dan de vorm van dat reflecterende vlak worden geconstrueerd. In figuur 4 is een sterk vereenvoudigde situatie weergegeven: een reflecterend vlak dat uit drie delen bestaat. Dit vlak reflecteert de invallende geluidspulsen.

a De zender/ontvanger-combinatie staat in positie A. Schets in een u,t -diagram de door de zender/ontvanger-combinatie uitgezonden geluidspuls en de na reflectie ontvangen geluidspuls. Kies hierbij een willekeurige 'looptijd' van de puls: de tijd die verloopt tussen het uitzenden van een puls en het ontvangen van diezelfde puls na reflectie op het vlak.

b De zender/ontvanger-combinatie wordt in positie B gezet. Schets in hetzelfde u,t -diagram (met een andere kleur) de na reflectie ontvangen geluidspuls. Leg uit waarom de ontvangen geluidspuls in dit diagram in welke richting verschoven is, vergeleken met de situatie waarin de zender/ontvanger-combinatie in positie A staat.

c De zender/ontvanger-combinatie verschuift naar positie C. Schets in hetzelfde u,t -diagram (met weer een andere kleur) de na reflectie ontvangen geluidspuls. Leg uit waarom de 'verschuiving' van de ontvangen geluidspuls in dit diagram een andere richting en grootte heeft, vergeleken met de 'verschuiving' die optreedt als de zender/ontvanger-combinatie van positie A naar positie B wordt verplaatst.

d Leg uit waarom bij echografie met geluidspulsen wordt gewerkt, en niet met een continue geluidsgolf.



Figuur 4 – Een reflecterend vlak met drie delen in zijaanzicht, waarbij de zender/ontvanger-combinatie achtereenvolgens in de posities A, B en C is geplaatst.

2 Afbeeldingsproblemen

In opdracht 1 is het echografie-principe verkend aan de hand van een sterk vereenvoudigd voorwerp. In die situatie blijkt het mogelijk om door het verplaatsen van de zender/ontvanger-combinatie de vorm van het voorwerp te construeren uit de gemeten looptijden van de geluidspuls. Hoewel ...

a Welk probleem verwacht je bij het construeren van het beeld (het echogram) als gevolg van de tijd die verloopt *tussen* het uitzenden van twee opeenvolgende geluidspulsen (of: de puls' afstand')? Denk daarbij aan de 'looptijd' van de puls: de tijd die verloopt tussen het uitzenden van een puls en het ontvangen van diezelfde puls na

reflectie in het lichaam.

b Welk probleem verwacht je bij het construeren van het beeld (het echogram) als gevolg van de tijd die verloopt *tijdens* het uitzenden van een geluidspuls (of: de puls' lengte')? Denk daarbij aan de onderlinge afstand tussen twee opeenvolgende reflecterende vlakken in het lichaam.

c Welke andere afbeeldingsproblemen verwacht je bij echografie? Denk bijvoorbeeld aan de stand van de reflecterende vlakken in het lichaam.

3 Computer

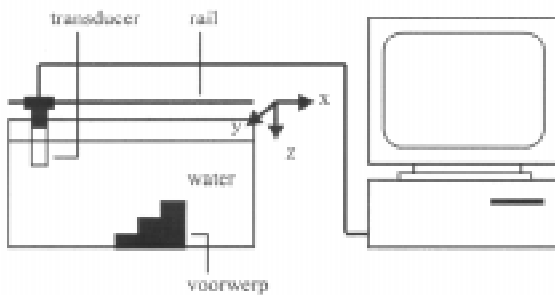
Uit de verkenning van het echografie-principe en de afbeeldingsproblemen in opdracht 1 en 2 volgt dat een computer onmisbaar is bij het construeren van een beeld (het echogram) van een voorwerp. Probeer uit te leggen waarom.

In dit onderzoek ga je na hoe bij echografie het beeld tot stand komt, en welke eigenschappen dat beeld heeft – wat is er bijvoorbeeld wel en niet goed te zien op zo'n echogram. Een onderzoek naar de eigenschappen van het beeld is aan het lichaam zelf moeilijk uit te voeren, omdat je niet goed weet wat er nu eigenlijk in het echogram te zien zou moeten zijn. Een vergelijking tussen het voorwerp en het beeld is makkelijker te maken in een model-opstelling.

In het volgende onderdeel staat een beschrijving van de beschikbare *meetopstelling*. Daarin wordt duidelijk welke grootheden je in de meetopstelling kunt variëren en meten. Daarna kun je met die kennis de *onderzoeksvraag* formuleren, een *werkplan* opstellen, de *meetmethode* verkennen en het *experimenteel onderzoek* uitvoeren. Ten slotte ga je de resultaten van het experimenteel onderzoek verklaren met behulp van de *theorie* over geluidgolven.

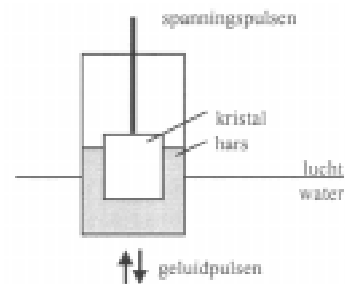
2 Meetopstelling

In figuur 5 is de echografie-opstelling weergegeven. Deze meetopstelling bestaat uit een bak met water en een *zender/ontvanger* van geluidspulsen. De uitgezonden en ontvangen geluidspulsen worden geregistreerd met een *oscilloscoop* of *computer*. De oscilloscoop wordt gebruikt bij het verkennen van de meetopstelling. Daarna wordt de computer gebruikt voor het maken van een echogram van verschillende voorwerpen op de bodem van de bak. De bak met water en de voorwerpen op de bodem van de bak kun je zien als



een model van het lichaam.

Figuur 5 – Echografie-opstelling.



Figuur 6 – Zender/ontvanger (transducer).

De *zender/ontvanger* bestaat uit een buis met een piëzo-elektrisch kwartskristal, afgesloten door een harslaag. Deze buis steekt in het water van de bak, zoals weergegeven in figuur 6. Over het kristal in de buis wordt met tussenpozen een spanningspuls gezet. Bij elke spanningspuls gaat het kristal trillen, en wordt er een geluidspuls uitgezonden door de harslaag het water in. De gereflecteerde geluidspuls valt even later weer in op de buis, en veroorzaakt een spanningspuls over het kristal. De buis doet dus dienst als zender *en* ontvanger. Zo'n zender/ontvanger-combinatie noemen we een *transducer*. De transducer in de meetopstelling kan in twee horizontale richtingen bewegen: in de x- en in de y-richting. Deze beweging in het horizontale xy-vlak kan zowel handmatig als computer-

gestuurd plaatsvinden. De transducer zendt geluidpulsen uit in de verticale z-richting. Met deze geluidpulsen wordt de diepte gemeten: de afstand tot de bodem van de bak of tot de reflecterende vlakken van het voorwerp in de bak.

Het door de transducer uitgezonden en ontvangen signaal is op twee manieren te meten: met de *oscilloscoop* en met de *computer*. Als er gemeten wordt met de oscilloscoop, zie je op het oscilloscoopscherm de uitgezonden en ontvangen geluidpulsen in de verticale z-richting. Uit dit signaal is de looptijd te bepalen, en daarmee de diepte. Door het met de hand verplaatsen van de transducer is te zien hoe dit signaal verandert bij het 'aftasten' van het voorwerp in de bak. Als er (tegelijktijd) gemeten wordt met de computer, zie je op het beeldscherm de 'vertaling' van het meetsignaal naar een driedimensionaal beeld van het voorwerp in de bak.

Het aftasten van het voorwerp door het met de hand verplaatsen van de transducer is veel werk. Dat werk kan ook door de computer gedaan worden. Bij dit computergestuurd meten zorgt de computer voor een heen-en-weer-beweging van de transducer over een rail in de x-richting. Na elke heen-en-weer-beweging in de x-richting zorgt de computer voor een kleine verschuiving van de transducer over een rail in de y-richting. Zo wordt het voorwerp in de bak 'lijn voor lijn' afgetast. De (bekende) posities van de transducer in het horizontale xy-vlak en de bijbehorende (gemeten) looptijden van de geluidpulsen in de verticale z-richting worden door de computer verwerkt tot een driedimensionaal beeld van het voorwerp op het beeldscherm.

3 Onderzoeksvragen en werkplan

In de *inleiding* heb je enkele veronderstellingen geformuleerd over *afbeeldingsproblemen* bij echografie. Uit de beschrijving van de beschikbare *meetopstelling* is af te leiden hoe je een onderzoek naar het wel of niet juist zijn van deze veronderstellingen kunt uitvoeren.

4 Onderzoeksvragen

Formuleer de *onderzoeksvragen* voor het experimenteel onderzoek met de echografie-opstelling. Stel voor elk van die onderzoeksvragen een *hypothese* op.

5 Werkplan

Maak een *werkplan* voor het experimenteel onderzoek met de echografie-opstelling. Geef in dat werkplan voor elk van de onderzoeksvragen aan welke grootheden je op welke manier gaat variëren en meten om het wel of niet juist zijn van de opgestelde *hypothese* te kunnen controleren.

4 Meetmethode

Voordat je nu in het volgende onderdeel bij opdracht 9 je *werkplan* kunt uitvoeren, is eerst een verkenning van de meetopstelling en de meetmethode nodig. Bij opdracht 6 voer je alleen wat metingen uit in de verticale z-richting, met de oscilloscoop als meetinstrument. Bij de opdrachten 7 en 8 oefen je met het handmatig en computergestuurd opnemen van een echogram.

Controleer eerst het waterniveau in de bak: de transducer moet in het water van de bak steken. Breng zo nodig het waterniveau in de bak op peil.

6 Afbeeldingstechniek

De oscilloscoop is via een meetkastje aangesloten op de transducer. Het meetkastje is zorgvuldig afgestemd – *draai dus niet aan de knoppen op dit meetkastje*.

- **Schermbild** – Probeer op het oscilloscoopscherm een beeld te krijgen waarin je de uitgezonden en ontvangen geluidpulsen (de zendpuls en de reflecties) kunt zien. Verklaar de vorm van dit schermbeeld, en ga na welke puls de zendpuls en welke puls de eerste reflectie is. (Aanwijzing: de afstand van de transducer tot het reflecterende vlak bepaalt de tijd die verloopt tussen de zendpuls en de reflectie. Als je deze afstand varieert, blijft de zendpuls in het schermbeeld op zijn plaats en gaan de reflecties

opschuiven.)

In de praktijk wordt de afstand tot het reflecterende vlak bepaald uit de tijd die verloopt tussen de zendpuls en de eerste reflectie. Bepaal op deze manier de diepte van de bak in de opstelling. Bepaal deze diepte ook met een liniaal. Zijn de beide waarden met elkaar in overeenstemming?

- **Meetbereik** – De afstand tussen de transducer en het reflecterende vlak heeft een maximum- en een minimumwaarde. We noemen dit het *meetbereik* van de opstelling. De maximum- en minimumwaarde van het meetbereik zijn af te leiden uit de onderlinge ligging van de zendpuls en de bijbehorende eerste reflectie in het schermbeeld. De eerste reflectie in het schermbeeld verschuift namelijk naar rechts of links als de afstand tussen de transducer en het reflecterende vlak verandert.

Als het reflecterende vlak te ver van de transducer af ligt, waar komt de eerste reflectie dan terecht in het schermbeeld? Leg uit welk probleem daarmee is ontstaan. Maak een schatting van de maximumwaarde van het meetbereik in de opstelling.

Als het reflecterende vlak te dicht bij de transducer ligt, waar komt de eerste reflectie dan terecht in het schermbeeld? Leg uit welk probleem daarmee is ontstaan. Maak een schatting van de minimumwaarde van het meetbereik in de opstelling.

- **Scheidend vermogen** – Soms bestaat een voorwerp uit verschillende lagen achter elkaar (gezien vanuit de transducer). Om de reflecties aan die vlakken nog gescheiden te kunnen waarnemen, moeten deze vlakken op een bepaalde minimale afstand van elkaar liggen. Deze minimale afstand noemen we het *scheidend vermogen*. Welke waarde zou je opgeven voor dit scheidend vermogen van de opstelling?

- **Beeldconstructie** – Beschrijf kort hoe je met de oscilloscoop als meetinstrument het beeld van een voorwerp in de bak zou kunnen construeren.

7 Computerregistratie

Het meten van de looptijd van de geluidspulsen en het construeren van het beeld van een voorwerp kan door de computer worden uitgevoerd. Voor het opnemen van een echogram moet de computer dan niet alleen de diepte in de verticale z-richting kunnen meten, maar ook de positie van de transducer in het horizontale xy-vlak. Deze positie-meting wordt uitgevoerd met een zender/ontvanger-combinatie in de x-richting en in de y-richting.

- **Instellen** – Je werkt met het programma *SONAR handmatig*. Lees eerst de volgende toelichting op dit programma. Start dan het programma, kies met < **F3** > voor *instellen* en volg de instructies op het scherm.

Instellen

Voordat je handmatig met behulp van de computer een echogram kunt opnemen en weer-geven moet je de computer de uiterste posities van de transducer in het horizontale xy-vlak en het gewenste meetbereik in de verticale z-richting opgeven.

- Na de keuze voor *instellen* met < **F3** > zet je de transducer steeds in de uiterste positie waar de computer om vraagt. Dat begint met: 'Zet de x op maximaal'. Je zet de zender en ontvanger voor de x-richting dan zo ver mogelijk van elkaar. Na het bevestigen van deze instelling vraagt de computer om nu de x op minimaal te zetten en deze instelling te bevestigen. Daarna volgen vergelijkbare vragen voor de y-richting. Let op: de x-richting is de lange kant, en de y-richting de korte kant van de bak.
- Beweeg de transducer in de x- en y-richting met behulp van de koperen knoppen. Dan heb je zo min mogelijk last van wrijving over de assen bij het verplaatsen van de transducer.
- Na het instellen van de x- en de y-richting vraagt de computer om een instelling voor de z-richting. Zet daarbij voor de maximale z-afstand de transducer boven de bodem van de bak. Voor de minimale z-afstand zet je de transducer boven het oppervlak van de grote grijze cilinder in de bak.
- Na het instellen kun je kiezen voor *meten* met < **F5** > of *continu meten* met < **F6** >. In het eerste geval meet de computer alleen de diepte op de positie van de transducer. In het tweede geval kun je de transducer in de x-richting en/of de y-richting verschuiven, en krijg je op het beeldscherm een 'bodemprofiel' te zien.

- **Echogram opnemen** – Kies met < **F6** > voor *continu meten* en maak een echogram van een voorwerp (bijvoorbeeld de grote grijze cilinder) in de bak.

8 Computergestuurd meten

De taak van het handmatig bewegen van de transducer bij het opnemen van een echogram kan ook door de computer worden uitgevoerd. Voor dit computergestuurd meten is een aparte bak met een meetautomaat beschikbaar. Om computergestuurd te kunnen meten moet je eerst de kabelaan sluiting aan de achterkant van het meetkastje loskoppelen. Voordat je nu met de meetautomaat een echogram kunt opnemen, moet je de computer opgeven in welk deel van de bak je wilt meten. Dus: dat deel van de bak waar het voorwerp zit. Bovendien moet je de computer opgeven hoe groot de stappen zijn waarmee hij de transducer door het horizontale vlak laat bewegen.

- **Instellen** – Je werkt met het programma *SONAR automaat*. Lees eerst de volgende toelichting op dit programma. Start dan het programma, en *selecteer* volgens de instructies op het scherm het gewenste deel van de bak.

Instellen

Voordat je de computer een echogram kunt laten opnemen en weergeven moet je het deel van de bak selecteren waarin je wilt meten. Het is niet handig om de hele bak te nemen, want dan kost een meting heel veel tijd.

- Je selecteert een gedeelte van de bak door de transducer ten opzichte van het voorwerp in een ‘handige’ startpositie te zetten, en vervolgens op te geven wat de lengte en de breedte is van het gebied dat de transducer moet gaan ‘aftasten’.
- Daarna vraagt de computer om een waarde voor de stapgrootte: de afstand waarover de transducer tussen twee metingen in de x- of y-richting wordt verplaatst. Bedenk bij het invoeren van de gewenste stapgrootte het volgende: hoe kleiner de stapgrootte is, des te groter is het aantal posities waarop een dieptemeting wordt uitgevoerd – en des te langer duurt het opnemen van een echogram.

- **Echogram opnemen** – Laat de meetautomaat een echogram maken van een voorwerp (bijvoorbeeld weer de grote grijze cilinder) in de bak.

5 Experimenteel onderzoek

9 Onderzoeksvragen

Zoek met behulp van de meetopstelling volgens je *werkplan* een antwoord op de *onderzoeksvragen*, en controleer de opgestelde *hypothesen*. Maak daarbij gebruik van de onderstaande aanwijzingen en suggesties.

Echogrammen opnemen

Na het instellen van de meetprogramma’s *SONAR handmatig* of *SONAR automaat* kun je handmatig of computergestuurd echogrammen opnemen van verschillende voorwerpen in de bak. Hieronder staan daarvoor wat aanwijzingen en suggesties.

- Zorg ervoor dat je het water in de bak zo min mogelijk in beweging brengt bij het verwisselen van voorwerpen.
- Gebruik de beschikbare voorwerpen met verschillende vormeigenschappen om na te gaan welke eigenschappen van het voorwerp de beeldkwaliteit beïnvloeden: welke vormeigenschappen zijn zichtbaar in het echogram, en welke niet? Ga na welke invloed de bewegingsrichting en de snelheid van de transducer hebben op de beeldkwaliteit bij het handmatig meten. Ga na welke invloed de stapgrootte heeft op de beeldkwaliteit bij het computergestuurd meten. Maak bij het beoordelen van de beeldkwaliteit niet alleen gebruik van de driedimensionale weergave van het voorwerp op het beeldscherm, maar ook van de mogelijkheid om verschillende doorsneden van het voorwerp op het beeldscherm op te roepen.
- Als je de voorwerpen niet zou kunnen zien, zou je dan in staat zijn om hun vorm te reconstrueren op grond van het echogram dat de computer levert? Controleer dit door een zelf gekozen voorwerp in de bak te leggen, en een ander te laten raden wat het is door die

6 Theorie: afbeelden met geluid

De resultaten van het *experimenteel onderzoek* naar de eigenschappen van het beeld zijn te verklaren met behulp van de eigenschappen van het uitgezonden en gereflecteerde geluid.

10 Beeldkwaliteit

In een echogram moet de beeldkwaliteit ‘voldoende’ zijn: de weergave van het voorwerp op het beeldscherm moet zo goed mogelijk overeenkomen met het voorwerp zelf.

a De beeldkwaliteit van een echogram is onder andere afhankelijk van de vorm van het voorwerp. Beschrijf welke vormeigenschappen van het voorwerp wel en niet zichtbaar zijn op het echogram, en in hoeverre dat afhangt van de manier waarop het voorwerp wordt ‘afgetast’. En verklaar de eventuele afwijkingen tussen het echogram van een voorwerp en het voorwerp zelf.

b De *pulsafstand* en de *pulslengte* in het uitgezonden geluidssignaal hebben invloed op de beeldkwaliteit van het echogram. Deze invloed is met de beschikbare meetopstelling niet onderzocht, maar wel te voorspellen met wat je nu weet over het maken van een echogram. Wat wordt er met de begrippen *pulsafstand* en *pulslengte* bedoeld? Leg uit welke invloed deze grootheden hebben op de beeldkwaliteit.

c Ook de *bundelbreedte* en de *geluidfrequentie* hebben invloed op de beeldkwaliteit van het echogram – en ook deze invloed is niet onderzocht. Wat wordt er met deze twee begrippen bedoeld? Leg uit welke invloed ze hebben op de beeldkwaliteit.

7 Rapportage

Rapporteer over dit onderzoek in de vorm van een schriftelijk *verslag* of een mondelinge *presentatie*. Zorg ervoor dat in dit verslag of deze presentatie de volgende onderdelen duidelijk naar voren komen: de onderzoeksvraag, de meetopstelling, de resultaten van het experimenteel onderzoek samen met het antwoord op de onderzoeksvraag, en een verklaring van de eigenschappen van het echogram met behulp van de theorie. Lever het verslag in bij je docent, samen met het *logboek* dat je bij de voorbereiding en de uitvoering van dit onderzoek hebt bijgehouden. Bij een rapportage in de vorm van een presentatie lever je alleen het logboek in bij je docent.