



Kloptonen bepalen uit geluidsfragmenten: een nieuwe manier om de kloptonen van violen te bepalen

Toegift: verschillen de kloptonen van de violen van Guarneri del Gesù met die van Stradivarius?

Rob van der Haar

Versie 1.3 dd. 7 juni '19 Sneek



De Witte Viool [info@robvanderhaar.nl](mailto:info@robvanderhaar.nl)

## Inhoudsopgave:

Hoofdstuk 1	Samenvatting	Blz. 3
Hoofdstuk 2	Inleiding en doel	Blz. 4
2.1	Wat is een klopton en hoe bepaal je deze?	Blz. 4
2.2	Een nieuwe manier om kloptonen te bepalen	Blz. 4
2.3	Aanpak van het onderzoek	Blz. 4
2.4	Opbouw van dit verslag	Blz. 4
Hoofdstuk 3	Akoestisch kader	Blz. 5
3.1	Eigenfrequenties	Blz. 5
3.1.1	Body frequencies	Blz. 5
3.1.2	Air frequencies	Blz. 5
3.2	Fourieranalyse en software	Blz. 6
3.3	Audiogram	Blz. 6
Hoofdstuk 4	Kloptonen bepalen: werkwijze en resultaten	
4.1	De grondtoon van een viool direct gemeten	Blz. 7
4.2	De grondtoon van een viool zoeken in gespeelde tonen.	Blz. 7
4.3	Geldt de overeenkomst tussen in- en -direct gemeten grondtonen voor meer violen?	Blz. 9
4.4	Het zoeken naar grondtonen in de audiogrammen van bespeelde Cremonese violen	
4.4.1.	Werkwijze	Blz. 10
4.4.2.	Resultaten voor 2 Del Gesù- en 2 Stradivarius-violen	Blz. 11
4.4.3.	Resultaten voor een uitgebreidere groep Cremonese instrumenten	Blz. 12
Hoofdstuk 5	Conclusies	Blz. 12
Hoofdstuk 6	Discussie en Vervolgonderzoek	Blz. 13
6.1	Nauwkeurigheid	Blz. 13
6.2	Keuze van de klopton	Blz. 13
6.3	Vervolgonderzoek	Blz. 14
Toegift	Kloptonen Guarneri del Gesù versus Stradivarius	Blz. 15
Gebruikte literatuur		Blz. 16

## **Hoofdstuk 1      Samenvatting**

### **Het onderzoek**

Als je op een viool klopt, geeft deze zogenaamde kloptonen af. Dit zijn eigenfrequenties van de klankkast en worden gebruikt bij de bouw en afstemming van een strijkinstrument. In dit onderzoek toon ik aan dat de kloptonen ook zijn af te leiden uit de klankfragmenten van een viool die wordt bespeeld. Daardoor is het mogelijk de kloptonen (eigenfrequenties) van een viool te bepalen aan de hand van geschikte geluidsfragmenten. Het blijkt dan te gaan om fragmenten waarin losse tonen vanaf ca 1000 Hz zitten (bijvoorbeeld de 'b' op de e-snaar). Dit mogen zowel één of meer tonen van dezelfde frequentie zijn, als bijvoorbeeld een deel van een toonladder op de e-snaar.

### **Toegift**

Met behulp van bovengenoemde kennis zijn de eigenfrequenties van zes Stradivariusviolen<sup>(a)</sup>, vergeleken met die van 5 Guarneri del Gesù violen<sup>(b)</sup>. Daarbij blijkt dat de vijf Guarneri violen zowel gemiddeld als elk instrument afzonderlijk een ca 20 Hz hogere klopton hebben dan de Stradivari violen. Gemiddeld kwamen de Guarneri uit op 288 Hz en de Stradivari op 270 Hz.

(a) The Spanish 1677, The Ernst 1709, The Joachim 1714, The Monasterio 1719, The Madrileno 1720 en The Rode 1623

(b) The Gibson 1734, The Lafont 1735, The Plowden 1735, The ex-Vieuwtemps 1739 en The Beriot uit 1744

## **Hoofdstuk 2      Inleiding en doel**

### **2.1      Wat is een klopton en hoe bepaal je deze?**

Of het nu om een tafel, het vensterraam of een viool gaat, elk voorwerp waar je op klopt, geeft kloptonen af. Omdat de toonhoogte van dergelijke kloptonen bij een bepaald voorwerp steeds dezelfde is, spreek je van eigenfrequenties. Zo geven de meeste violen een klopton met een frequentie van tussen de 260 en 300 Hz als je klopt op het voorblad, achterblad of krul. Deze frequenties vormen als het ware de klankbasis van een viool en worden om die reden gebruikt door de vioolbouwer, tijdens de bouw bij de afzonderlijke bladen, bij de voltooiing van het instrument als geheel en bij het optimaliseren van de klank bij een bestaand instrument.

De kloptonen zijn eenvoudig te bepalen als je het instrument in de hand hebt. Tik erop, neem de tonen op en analyseer ze.

### **2.2      Een nieuwe manier om kloptonen te bepalen**

Graag zou ik die kloptonen ook willen bepalen van erkende top-instrumenten van de Cremonese vioolbouwers. Helaas heb ik niet de mogelijkheid om meerdere Del Gesù en Stradivari instrumenten door te meten, maar ik heb wel geluidsopnamen van onder andere elf violen van deze beide vioolbouwers. In dit onderzoek ga ik kijken of de kloptonen van een viool te bepalen zijn zonder over het instrument te kunnen beschikken.

### **2.3      Aanpak van het onderzoek**

Bij violen die ik in mijn werkplaats had, heb ik de kloptonen bepaald en ben vervolgens op zoek gegaan naar die frequenties bij klankafgifte tijdens het strijken en heb geconstateerd dat die kloptonfrequenties verschijnen in de hogere tonen tijdens het strijken. Met deze gegevens ben ik tot een positieve beantwoording gekomen van de vraag of ik de kloptonen van een viool kan bepalen, zonder daadwerkelijk over het instrument te beschikken en daarmee heb ik het doel van mijn onderzoek bereikt. Van dertien violen heb ik de direct gemeten klopton vergeleken met de afgelezen klopton uit de grafieken van gestreken tonen. Deze frequenties bleken bij iedere viool overeen te komen. Op basis van inductie heb ik de algemene regel opgesteld dat de direct gemeten klopton frequenties overeenkomen met de gespeelde kloptonfrequenties.

### **2.4      Opbouw van dit verslag**

Bij akoestisch onderzoek worden onder andere de begrippen 'toonhoogte', 'frequentie', 'toonsterkte' en 'luidheid' gebruikt. Ook wordt er gesproken over het ontleden van tonen in grondtonen en boventonen. In hoofdstuk 3 zal ik deze en een aantal andere begrippen, waaronder het audiogram, nader toelichten. Het is de basiskennis die de lezer bij de daaropvolgende hoofdstukken nodig heeft.

In hoofdstuk 4 wordt de werkwijze besproken en komen de resultaten aan bod. In hoofdstuk 5 worden de conclusies uit de metingen van hoofdstuk 4 getrokken. In hoofdstuk 6 worden de nauwkeurigheid van het experiment en de keuze van de klopton besproken. Daarnaast wordt vooruitgeblikt naar vervolg onderzoek.

In de toegift komt een toepassing van de nieuwe meetmethode aan bod. De eigenfrequenties van een aantal Guarneri del Gesù instrumenten worden vergeleken met die van Stradivarius.

## Hoofdstuk 3 Akoestisch kader

### 3.1 Eigenfrequenties of resonantiefrequenties

Elk instrument heeft zijn eigen specifieke eigenfrequenties, ook 'resonantiefrequenties' genoemd. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen enerzijds de resonanties van de klankkast, hals, snaren en dergelijke en anderzijds de resonanties van de ingesloten lucht.

#### 3.1.1 Body frequenties

Als je met een vinger op het instrument tikt geeft de viool een toon af met een zekere frequentie, of in de praktijk een combinatie van enkele sterke frequenties. Zo kun je onder andere tikken op het voorblad, achterblad, de krul en de kam.

Een voorbeeld van de body frequency is de B0 (spreek uit: B-nul): deze hoor je als je het instrument verticaal houdt, met de krul omhoog en vervolgens op de krul tikt. Ondertussen houd je de snaren met je hand gedempt. Zoals afgebeeld op de de foto rechts. De microfoon registreert het geluid en met behulp van de computer kun je de toonhoogte aflezen in de audiogrammen.



Veel gebruikte body frequencies zijn de kloptonen van boven en onderblad. Door met een knokkel van je vinger tegen het blad te tikken kun je de M2 (lengte blad) en M5 (breedte blad) frequenties bepalen. Deze gebruik ik met name bij de bouw van het instrument als de bladen nog niet op de krans gelijmd zijn. Wanneer de bladen wel op de krans zitten, de stapel is geplaatst, de kam is gezet en de snaren zijn aangebracht, dan gebruik ik de B0 modus.



Een andere manier om de eigenfrequentie van een speelklaar instrument te bepalen is door middel van de kam-klop. Daarbij houd ik het instrument horizontaal (zie foto links) en tik met een houten hamertje op de kam. Het hamertje heeft een massa van circa twee gram en is gemaakt van een saté-prikker (zie foto rechts).



Bij het vergelijken van het audiogram van de kamklop met die van de B0 modus van dezelfde viool, blijkt dat de laagste piek in het audiogram van de kamklop overeenkomt met de B0 modus.

#### 3.1.2. Airfrequenties

We spreken van airfrequenties als de lucht in de viool in trilling wordt gebracht. Bij het spelen gebeurt dat door het van elkaar af en naar elkaar toe bewegen van boven- en onderblad.

Een voorbeeld is de A0 (lees A-nul) modus. Dit is de eigenfrequentie die je bijvoorbeeld hoort als je over de hals van een fles blaast. Hoe kleiner het volume van de fles, hoe hoger de toon. Door meer of minder water in de fles te doen, kun je het volume van de ingesloten lucht variëren en daarmee de frequentie (toonhoogte) van de toon. Op soortgelijke manier kun je ook over de f-gaten van de klankkast blazen en de toonhoogte van de klankkast bepalen. Deze frequentie wordt ook wel 'Helmholtz frequentie' genoemd, naar de natuurkundige onderzoeker. Deze frequentie ligt vaak tussen de 260 en 280 Hz voor een viool. Bij een groter instrument, zoals een altviool en cello, ligt deze waarde uiteraard lager.

Naast de A0 modus wordt ook de A1 modus gebruikt. Deze ontstaat als de lucht in de klankkast in trilling wordt gebracht en waarbij de golflengte van die trilling past bij de afmetingen van de klankkast. De gemiddelde waarde van deze frequentie ligt bij mijn metingen rond de 470 Hz.

Omdat ik in dit onderzoek speelklare instrumenten met elkaar vergelijk heb ik de eigenfrequenties gebruikt die daar het beste bij zijn te bepalen. Zowel de B0 als de kamklop zijn hiervoor geschikt. Zoals eerder gezegd geven deze methoden dezelfde waarde van de eigenfrequentie. Omdat ik van de ca 65 violen die ik heb doorgemeten altijd de B0 heb gemeten en pas de laatste jaren de kamklop bepaal heb ik gekozen voor de B0 bepaling door een klop op de krul. De hoeveelheid meetgegevens waarover ik dan beschik is groter. Dat vergroot de validiteit van het onderzoek.

Hoewel er meer air- en bodymodussen zijn te bepalen, zoals bij het tikken op voor- en achterblad, laat ik deze in dit onderzoek buiten beschouwing.

### 3.2 Fourieranalyse en software

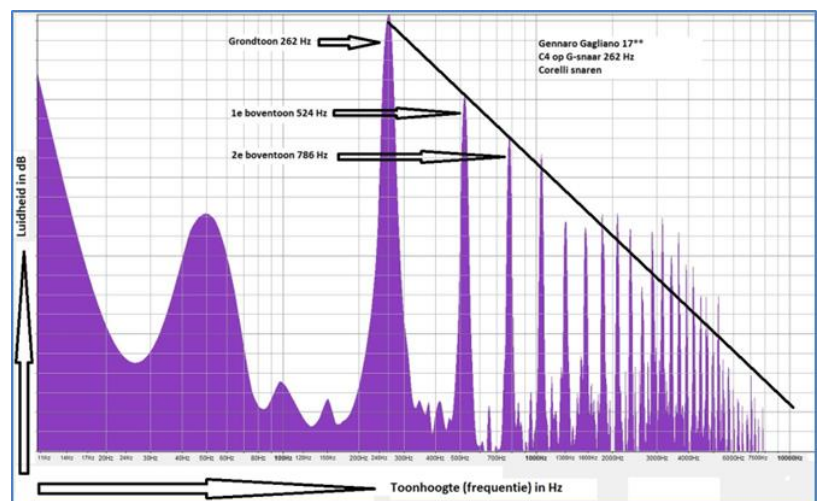
Een toon, geproduceerd door een muziekinstrument, bestaat uit de grondtoon en een scala aan boventonen. De mix van deze grond- en boventonen bepaalt de klankkleur van het instrument. De wiskundige Fourier heeft een methode ontwikkeld om (geluids-) golven te ontleden.

Computerprogramma's die gemaakt zijn voor het ontleden van een toon in grond- en boventonen heten om die reden Fast Fourier Transform programma's. Vaak afgekort tot FFT. Ik gebruik het computer programma Audacity voor dit ontleden van een toon. De reden dat ik voor Audacity heb gekozen is tweeledig. Ten eerste is het programma vrij verkrijgbaar waardoor mijn experimenten door anderen te herhalen zijn. Daarnaast scoort het in mijn ogen hoog op de lijn van continuïteit. Het programma wordt al 20 jaar onderhouden door een groep liefhebbers. De output van dat programma noem ik een audiogram. In het volgende stukje staat kort weergegeven hoe een Audiogram dient te worden gelezen.

### 3.3 Audiogram

De figuur hiernaast is een audiogram. De paars gekleurde pieken vormen de grafiek. De zwarte rechte, aflopende lijn en de teksten en pijlen heb ik er aan toegevoegd.

Langs de **verticale as** staat de luidheid in decibel (dB) weergegeven. Hoe hoger de piek in de grafiek, hoe luider de toon. Langs de **horizontale as** staat de frequentie vermeld. Hoe groter de frequentie in Hertz (Hz), hoe hoger de toon klinkt. In dit voorbeeld wordt een C4 (262 Hz) gespeeld op de g-snaar van een viool. In de grafiek is de hoogste piek de grondtoon. Rechts daarvan zien we een aantal boventonen, waarvan de eerste en tweede boventoon met een zwarte pijl worden aangewezen. De boventonen nemen geleidelijk in luidheid (geluidssterkte) af. De zwarte lijn die hier is ingetekend, verbindt zoveel mogelijk de pieken. Als de piek onder de zwarte lijn blijft, is die boventoon wat zwakker. Steekt de piek boven de lijn, dan is die piek in verhouding wat sterker (luider). Het gedeelte links van de grondtoon is niet van belang voor de viool, en moet dus niet in dat kader geïnterpreteerd worden. Dat zijn de bijgeluiden van de computer, waaronder de 50Hz toon die ontstaat door de frequentie van het lichtnet.



## Hoofdstuk 4 Kloptonen bepalen: werkwijze en resultaten

Om de kloptonen, of beter gezegd de bijbehorende eigenfrequenties van de kloptonen, van een instrument te bepalen, zonder het instrument in handen te hebben, zetten we een aantal stappen:

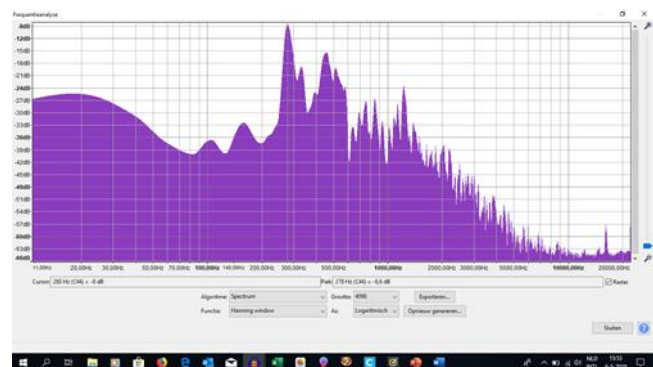
- 1) We bepalen de direct gemeten klopton van een instrument. Stel dat deze een frequentie van 280 Hz heeft.
- 2) We zoeken in de audiogrammen van gespeelde tonen van de viool die bij 1 is gebruikt naar een piek van 280 Hz.
- 3) Als de overeenkomstige piek gevonden is gaan we controleren of dit toevallig is of dat andere violen ook hun klopton prijsgeven in de audiogrammen.
- 4) Vervolgens kijken we of we deze pieken ook kunnen vinden in audio-opnames van oude Cremonese violen.

Het onderzoek:

### 4.1 De grondtoon van een viool direct gemeten

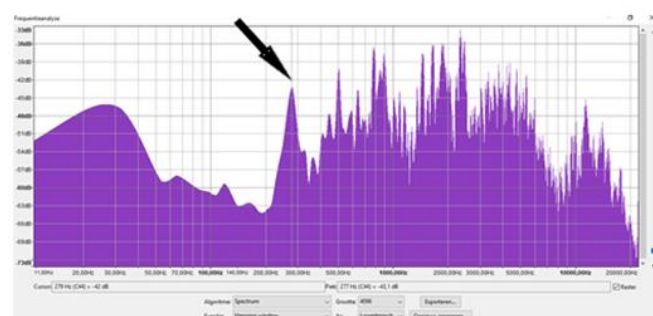
#### **B0 klopton** (zie blz. 5)

We beginnen onze speurtocht met een Stradivarius 1713 kopie. Een atelierviool van rond het jaar 1900. De B0 klopton ligt op 278 Hz (hoogste piek in de figuur hiernaast). De B0 wordt bepaald door op de krul te tikken met de knokkel van je vinger, terwijl je de snaren gedempt houdt.



#### **Kamklop** (zie blz. 5)

Tik met een houten hamertje (NB ca twee gram!!) op de zijkant van de kam. In het audiogram hiernaast is de kamklop van de Strad-kopie weergegeven. De karakteristieke piek zit bij 277 Hz (zie pijl in afbeelding rechts)



### 4.2 De grondtoon van een viool zoeken in gespeelde tonen.

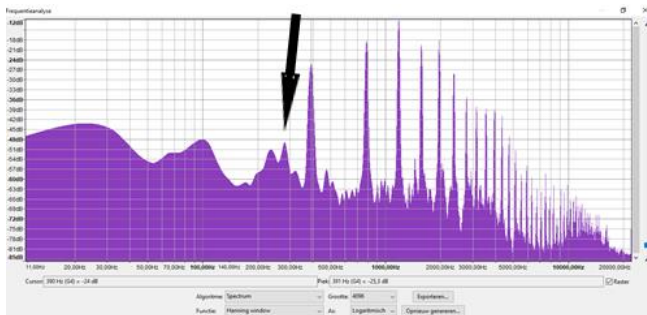
Als we de klopton van een instrument kennen, kunnen we in de audiogrammen van gespeelde tonen gaan zoeken naar pieken bij deze bekende frequentie. Als voorbeeld nemen we de audiogrammen van vier gespeelde tonen op de Strad-kopie met een klopton van ca. 280 Hz. We gaan zoeken in de audiogrammen van de gestreken tonen G3, G4, A#5 en C#6.

In onderstaande 4 grafieken wordt steeds met een zwarte pijl de kloptonpiek aangewezen.



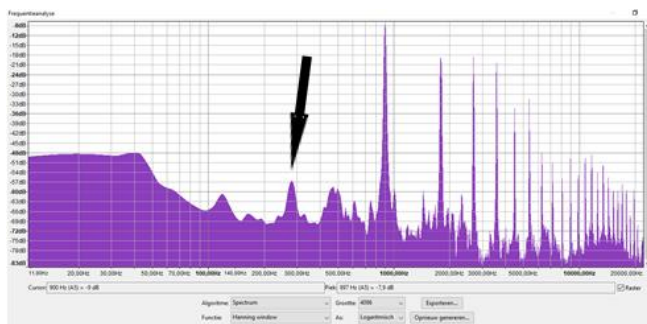
Grondtoon G3 197 Hz Klopton-piek 282 Hz.

Bij de G3 ligt de grondtoon onder de klopton.



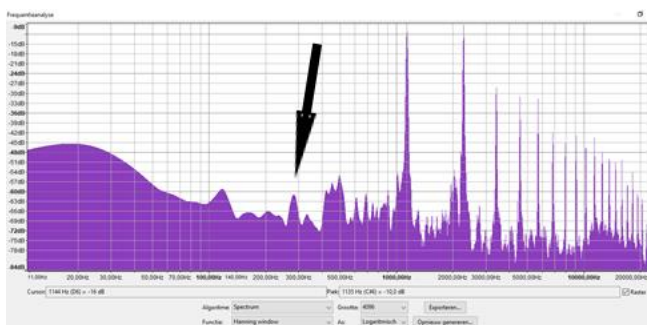
Grondtoon G4 390 Hz Klopton-piek 281 Hz.

Bij G4 ligt de grondtoon er wel boven de klopton, maar zien we nog een aantal pieken in de buurt van de klopton.



Grondtoon A5 897 Hz Klopton-piek 281 Hz.

Bij A5 is de piek duidelijk zichtbaar en herkenbaar.



Grondtoon C#6 1135 Hz Klopton-piek 281 Hz.

Ook bij C#6 is de piek duidelijk zichtbaar en herkenbaar.

De klopton (B0) direct gemeten is in dit geval 280 Hz. De afgelezen kloptonen uit de gestreken tonen bedragen 282 Hz bij de G3, 281 bij de G4, 281 bij de G5 en 281 bij de C#6. De afwijking ligt binnen de meetnauwkeurigheid van twee á drie Hz. We kunnen stellen dat bij deze viool de stelling dat de klopton uit de gestreken tonen kan worden afgelezen, juist is.

In het algemeen geldt dat de piek het beste te herkennen is bij een toon met een frequentie groter dan 1000 Hz. Dat hoeft niet juist een enkele toon te zijn, het mag ook een groepje tonen zijn, als alle tonen maar boven de 1000 Hz liggen. Deze manier om de klopton te bepalen noem ik de **indirecte** methode.



#### 4.3 Geldt de overeenkomst tussen in- en -direct gemeten grondtonen voor meer violen?

Als volgende stap wordt uit een dertiental violen de direct gemeten kloptoon vergeleken met de afgelezen kloptoon uit één of meerdere hoge tonen. De resultaten staan weergegeven in de onderstaande tabel.

<b>Diverse violen: Kloptoon en piek afgeleid uit gestreken klank</b>			
<b>Viool</b>	<b>Kloptoon frequentie (in Hz)</b>	<b>Kloptoon uit gestreken toon (Hz)</b>	<b>Bijzonderheden</b>
Petrus Guarneri 1725	272	272	Kloptoon uit achterblad afgelezen
Louis Blits 1971	272	268	
Max Millant 1973	271	274 (269-285)	
Kopie Strad 1713	270	268/274	
Lambert Houniet opus 145	269	271	Kloptoon uit kamklop afgeleid
Lambert Houniet opus 146	276	279	
Bas Maas 2011	268	271	
Bas Maas 2011 Splendor	278	277	
Italiaans 18 <sup>e</sup> eeuw	285	284	Kloptoon uit achterblad afgelezen
Rob van der Haar 2017	262	264	
Rob van der Haar 2013	278	278	
Italiaanse restauratie	284	285	
Giulio Degani ca 1900	279	279	

Ook bij deze **dertien** violen liggen de direct gemeten kloptonen en de uit de gestreken toon afgeleide kloptoon steeds binnen vier Hz van elkaar. We kunnen op basis hiervan concluderen dat de kloptoon van een viool is af te leiden uit de grafiek van een gestreken toon. Op basis van Inductie concluderen we dat de resultaten die gelden voor deze veertien violen (één uitgewerkt en dertien in de tabel) geldt voor alle violen.

## 4.4 Het zoeken naar grondtonen in de audiogrammen van bespeelde Cremonese violen

### 4.4.1 Werkwijze

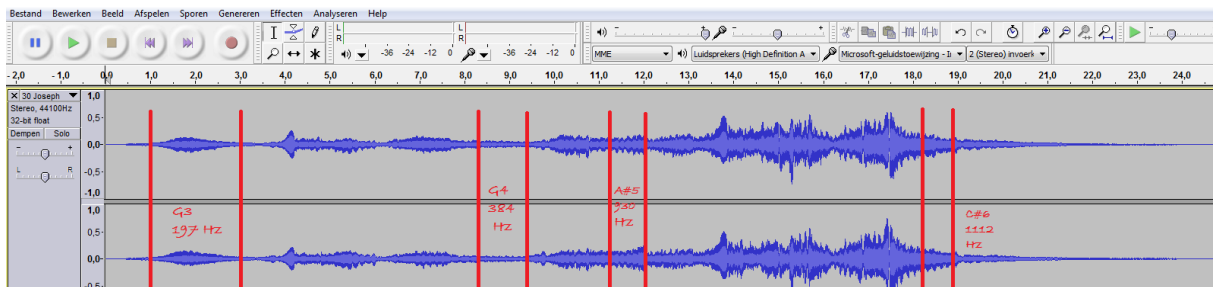
#### Glory of Cremona

In 1989 werd de CD 'Glory of Cremona' uitgegeven. Daarop staat onder andere het onderstaand fragment van het vioolconcert van Max Bruch op ca twintig verschillende -Cremonese- violen, gespeeld door Ruggiero Ricci.

Hier het betreffende intro, eerst in muziekschrift.



Daarna het geluidsfragment van Bruch vanaf de plaats waar de solo begint, weergegeven als schermafdruk in Audacity. Tussen de rode lijnen de verschillende tonen G3, G4, A#5 en C#6. De analyses van deze vier tonen heb ik in mijn eerste onderzoek gebruikt. <sup>(1)</sup>

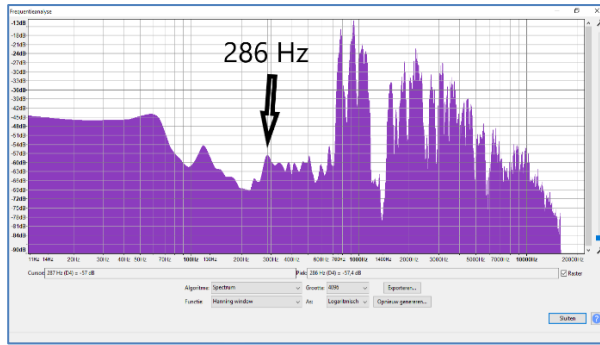


Op de volgende bladzijde staan de grafieken van de hoge tonen van twee Guarneri instrumenten, de "Gibson" en de "Lafont" en van twee Stradivarius violen, de "Ernst" en de "Joachim".

**N.B. De Glory of Cremona opnamen zijn in New York gemaakt. Met een lichtnetfrequentie van 60 Hz. In de grafieken komen daarom steeds pieken bij 60 Hz en enkele 'boventonen' hiervan (120, 180 en 240 Hz) naar voren die in sterkte afnemen naarmate de frequentie stijgt. Mijn eigen opnamen met een vaste computer zijn met de 50 Hz frequentie van het Nederlands lichtnet opgenomen. De laatste jaren registreer ik met een laptop en registreer dan het lichtnet niet meer. Deze lichtnetpieken worden in de besprekingen verder niet meegenomen.**

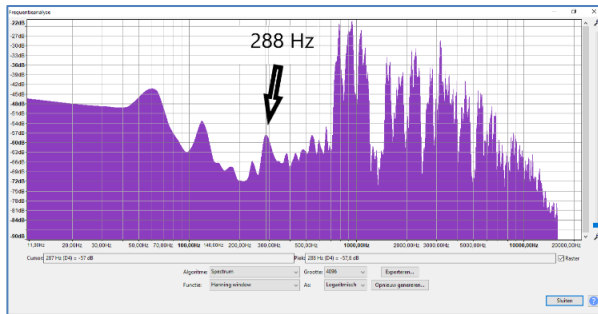
1) Klankanalyse vioolbouw; Een onderzoek naar de klank van de viool door middel van analyse van de akoestische 'vingerafdruk' Mei 2014

#### 4.4.2. Resultaten voor 2 del Gesù en 2 Stradivarius instrumenten



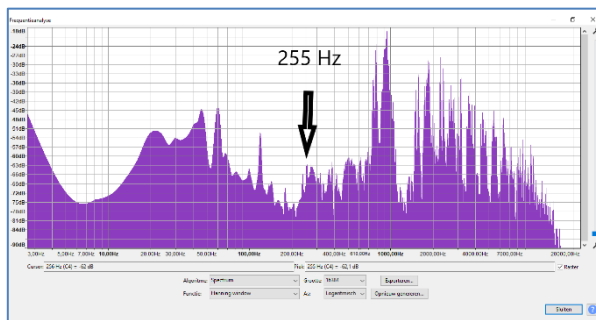
Joseph Guarneri del Gesù

The "Gibson" 1734 286 Hz



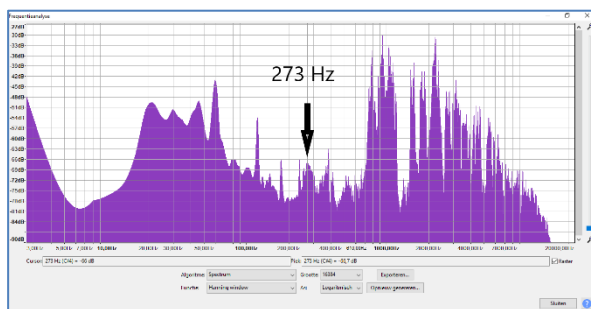
Joseph Guarneri del Gesù

The "Lafont" 1735 288 Hz



Antonius Stradivari

The "Ernst" 1709 255 Hz



Antonius Stradivari

The "Joachim" 1714 273 Hz

In alle vier gevallen is de sterkste piek afgelezen. Meerdere analyses van een enkele hoge toon of groepjes hoge tonen, gespeeld op één instrument leiden tot dezelfde waarde voor elke viool afzonderlijk. We kunnen stellen dat elke viool zijn kenmerkende waarde prijsgeeft: **de klopton van het instrument**.

#### 4.4.3 Resultaten van een uitgebreide groep Cremonese violen

Op soortgelijke wijze zijn de kloptonen afgelezen uit een aantal andere Cremonese violen afgelezen. Dat leidt tot de volgende tabel:

<b>Viool</b>	<b>Klopton (afgelezen) In Hz</b>
Nicolo Amati 1656	285
Carlo Bergonzi "The Constable" 1731	282
Joseph Guarneri del Gesù "The Plowden" 1735	289
Joseph Guarneri del Gesù "The Gibson" 1734	286
Joseph Guarneri del Gesù "The Lafont" 1735	289
Joseph Guarneri del Gesù "The Ex-vieuwtemps" 1739	286
Joseph Guarneri del Gesù "The Beriot" 1744	290
Gasparo da Salo 1570-1580	284
Antonio Stradivari "The Ernst" 1709	255
Antonio Stradivari "The Joachim" 1714	273
Antonio Stradivari "The Madrileno" 1720	269
Antonio Stradivari "The Monasterio" 1719	274
Antonio Stradivari "The Rode" 1723	269
Antonio Stradivari "The Spanish" 1677	283

## Hoofdstuk 5      Conclusie

In dit onderzoek heb ik bij een veertiental violen de kloptonen direct gemeten door op de krul te kloppen, deze kloptonen op te nemen en te analyseren met daarvoor geschikte software. Vervolgens heb ik uit de audiogrammen van dezelfde violen de kloptonen afgelezen.

- 1) Voor de Strad-kopie geldt dat de direct gemeten klopton (B0) een frequentie heeft van 280 Hz (par 4.1). De afgelezen kloptonen uit de gestreken tonen bedragen 282 Hz bij de G3, 281 bij de G4, 281 bij de G5 en 281 bij de C#6. (par 4.2) De afwijking ligt binnen de meetnauwkeurigheid van 2 á 3 Hz. We kunnen stellen dat bij deze viool de stelling dat de klopton uit de gestreken tonen kan worden afgelezen, juist is.
- 2) Ook bij de dertien andere onderzochte violen liggen de direct gemeten kloptonen en de uit de gestreken toon afgeleide klopton steeds binnen 4 Hz van elkaar. (par 4.3)

**Op basis hiervan kom ik tot de conclusie dat de klopton van een viool  
is af te leiden uit de grafiek van een gestreken toon.**

Op basis van Inductie concludeer ik dat de resultaten die gelden voor deze 14 violen (1 uitgewerkt en 13 in de tabel) geldt voor alle violen.

Daarmee is de centrale vraag van dit onderzoek: 'Kan ik de kloptonen van een instrument bepalen, zonder het instrument in handen te hebben?', positief beantwoord.

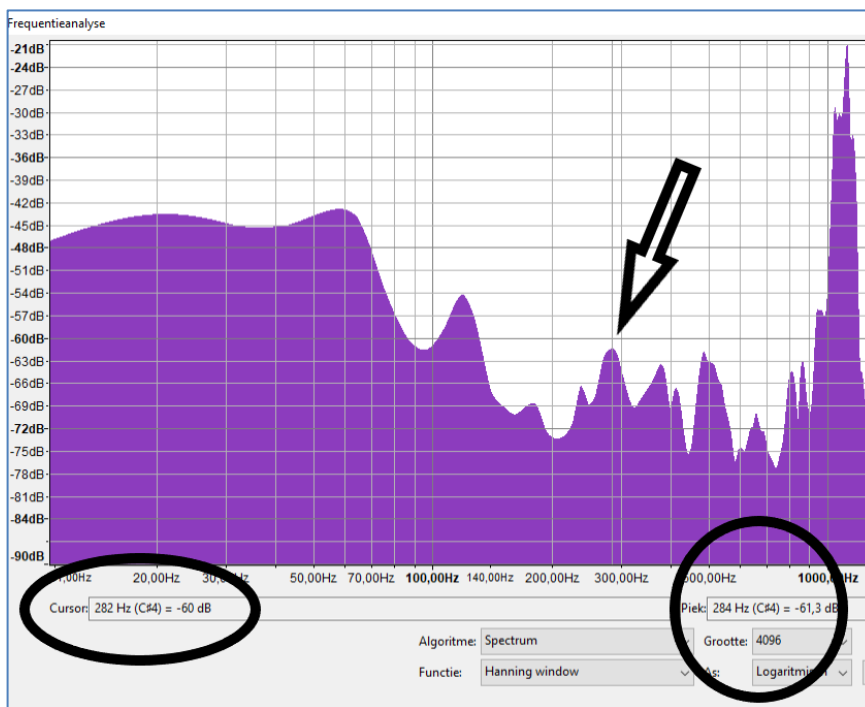
## Hoofdstuk 6 Discussie en Vervolgonderzoek

### 6.1 Nauwkeurigheid

Allereerst de vraag: hoe nauwkeurig is een meting met een FFT programma, zoals Audacity?

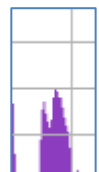
Een meting van een enkele piek is nauwkeurig binnen één Hertz. Dat blijkt bijvoorbeeld bij de weergave van een toongenerator en bij het vergelijken met digitale stemapparaten. De metingen zijn eindeloos reproduceerbaar en komen altijd binnen een foutmarge van één Hz uit.

Bij het aflezen van een audiogram is de praktijk soms weerbarstiger, omdat het dan kan voorkomen dat er een piek is die is samengesteld uit twee andere pieken die onderling in loudheid verschillen. Als voorbeeld -een deel van- het audiogram van de Gaspar da Salo viool. We kijken naar de piek van 284 Hz, waar de pijl naar wijst.



In de ovaal linksonder in beeld lezen we dat de cursor, weergegeven als witte verticale lijn net links van de zwarte pijl op 282 Hz staat en in de cirkel rechtsonderaan dat de piek bij 284 Hz zit. In diezelfde cirkel lezen we dat de resolutie (Grootte) op 4096 staat. Duidelijk is te zien in het audiogram bij de zwarte pijl dat de piek niet echt spits is, zoals bij de eerstvolgende piek naar links.

Als we bij dezelfde piek bij de zwarte pijl een vier keer zo grote resolutie toepassen (zie kleine afbeelding rechts) dan is duidelijk te zien dat de piek uit twee pieken is opgebouwd.



In dit geval wordt de automatische aflezing van de piek beïnvloed door de grootte van de resolutie en kunnen één of enkele waarden van de frequentie verschillen.

In de praktijk lees ik de frequentie in een dergelijk geval enkele keren af op een andere plaats in de metingen en dan is in de praktijk altijd duidelijk wat de eigenfrequentie-piek is. Als dat niet duidelijk is, vermeld ik het erbij.

Op basis van dit aflezen van samengestelde pieken kom ik tot de conclusie dat er over het geheel met een nauwkeurigheid van twee á drie Hertz gewerkt kan worden.

## 6.2 Keuze van de klopton

Naast de nauwkeurigheid, wil ik stilstaan bij de keuze van de klopton. Zoals gezegd in paragraaf 3.1.1. zijn er meerdere manieren om de eigenfrequentie van het 'lichaam' van de viool te bepalen. Hieronder versta ik de klankkast, hals, krul, stemschroeven, toets, kam, stapel, snaren en snaarhouder. Ook de kinsteun valt hieronder omdat deze ook van invloed kan zijn op de klank. Bij het doormeten van een viool bepaal ik altijd de B0 met behulp van een klop op de krul. Daarnaast klop ik op voor- en achterblad. De laatste jaren heb ik daar de kamklop en de CBR-klop aan toegevoegd. Daarbij liggen de waarden van de B0 en kamklop in het algemeen dicht bij elkaar. Zo vind ik als gemiddelde van 34 instrumenten 274,5 Hz bij de B0, terwijl het gemiddelde van de kamklop 273,1 is (van de kamklop waren vijftien metingen uit deze groep van 34 violen).

Op grond hiervan trek ik de conclusie dat zowel de waarden uit de krulklop als de waarden uit de kamklop kunnen worden gebruikt als middel om de B0, de eigenfrequentie van de viool te bepalen.

Het blijkt dat de laagste piek in het audiogram van de kamklop overeenkomt met de B0 modus.
---

De klop op voorblad en achterblad laat ik in dit onderzoek buiten beschouwing.

## 6.3 Vervolgonderzoek

De kern van het huidige onderzoek is de mogelijkheid om de kloptonen te bepalen uit geluidsopnames. Vervolgonderzoek zal vooral gericht moeten zijn op twee richtingen. Ten eerste de verdere verificatie van het huidige onderzoek. Meer instrumenten doormeten, zowel direct als indirect de kloptonen bepalen en daarmee de aanpak verder te legitimeren. Kortom meer -oude- instrumenten doormeten. Ten tweede is het toepassen van de methode een goede richting van vervolgonderzoek. Op welke wijze kan deze aanpak helpen om de klankvorming in de viool te doorgronden en daarmee de vioolbouw verder vooruit te helpen?

Als voorschot op deze toepassing heb ik een toegift opgenomen waarin de eigenfrequenties van Del Gesù violen worden vergeleken met enkele Stradivari violen.

## Toegift: Kloptonen Guarneri del Gesù en Stradivarius

Vraag: Verschillen de frequenties van de kloptonen van Guarneri del Gesù instrumenten enerzijds en Stradivarius violen anderzijds?

Als voorbeeld van de mogelijkheden die de nieuwe manier van werken biedt, gaan we de kloptonen – op de nieuwe manier verkregen- van een zestal Stradivari violen vergelijken met 5 stuks Guarneri del Gesù instrumenten. We hebben hiervoor opnames gebruikt van Cremonese violen die op de cd 'Glory of Cremona' staan.

Dat leidt tot de volgende tabel:

<b>Violen Joseph Guarneri del Gesù</b>		<b>Gemiddeld Guarneri B0</b>
"The Plowden" 1735	289	288,0
"The Gibson" 1734	286	
"The Lafont" 1735	289	
"The Ex-vieuwtemps" 1739	286	
"The Beriot" 1744	290	
<b>Violen Antonio Stradivari</b>		<b>Gemiddeld Stradivarius B0</b>
"The Ernst" 1709	255	270,5
"The Joachim" 1714	273	
"The Madrileno" 1720	269	
"The Monasterio" 1719	274	
"The Rode" 1723	269	
"The Spanish" 1677	283	

Uit deze reeks metingen is af te leiden dat de kloptonen van de Del Gesù instrumenten een hogere frequentie hebben dan de Stradivarius violen. Dat geldt zowel voor ieder instrument afzonderlijk als voor de groepsgemiddelden. Het gemiddelde van de del Gesù instrumenten ligt op 288,0 Hz, dat van de Stradivari violen op 270,5 Hz.

Of dit verschil in de eigenfrequenties al dan niet consequenties heeft voor de klankvorming, zowel wat betreft luidheid als klankkleur, laat ik buiten het bestek van dit onderzoek.

## Aanbevolen bronnen

Onderstaand een kleine greep uit de vele digitale bronnen die meer informatie bevatten met betrekking tot eigenfrequenties van violen:

De documenten en websites zijn via een zoekmachine te bereiken.

Digitale bronnen:

- Acoustics for violin and guitar makers Erik Jansson editie 4 2002
- Mode tuning for the violin maker Carleen Hutchins & Duane Voskuil. nov 95  
CAS Journal 2, No. 4
- Violin Acoustics-Overview D.Noon Artikel

De volgende sites vormen een bron van kennis met betrekking tot de geluidsproductie door een viool.

- Martin Schleske <http://www.schleske.de> Kies 'vibration analyses'
- The University New South Wales (Australië) <http://www.newt.phys.unsw.edu.au>
- American Physical Society Site <http://www.physicscentral.com/> Zoek op violin  
of volg: <http://www.physicscentral.com/explore/action/fiddle.cfm>