

## Het onderscheidingsvermogen voor frequentie van toonstootjes als functie van hun duur

**Citation for published version (APA):**

Talmon, J. L. (1969). *Het onderscheidingsvermogen voor frequentie van toonstootjes als functie van hun duur*. (IPO rapport; Vol. 188). Instituut voor Perceptie Onderzoek (IPO).

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1969

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

Rapport no. 188

J.L. Talmon

Het onderscheidingsvermogen  
voor frequentie van toon-  
stootjes als functie van hun  
duur.

Rapport.

Onderwerp: Het onderscheidingsvermogen voor  
frequentie van toonstootjes als  
functie van hun duur.

Schrijver: J.L. Talmon\*

Periode van onderzoek: augustus-oktober 1969

Inhoud:

Summary

Inleiding

De signalen

De meetmethode

Conclusies en kritische opmerkingen

Appendix

Rekenmachine-programma

8 bijlagen

---

\* Student T.H.E., afdeling Elektrotechniek  
Stage verricht onder leiding van Drs. B.L. Cardozo.

Summary.

The just noticeable difference in frequency,  $\Delta f$ , of short sinusoids was measured as a function of the duration  $T$  by two subjects at a sensation level of 40 dB. Frequencies were  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ , 1, 2, 4 and 8 kHz. When fitting a straight line to the experimental points in a  ${}^2\log \Delta f/f$ ,  ${}^2\log T$  graph, the mean square deviation is, as a rule, considerably larger than with a broken line (8 kHz excepted). A computer-program was derived for finding the positions of the knees in the broken line, yielding the minimal deviation for a given frequency and subject. The duration corresponding to this knee is  $\pm 60$  msec.

### Inleiding.

Deze metingen zijn een vervolg op het werk, dat Drs. B.L. Cardozo omstreeks 1960 heeft verricht.

Bij metingen, toen geddan, bleek, dat bij de frequenties waar- bij toen gemeten was ( $\frac{1}{4}$ , 1 en 2 kHz) er voor één proefpersoon in de  ${}^2\log\Delta f/f$ ,  ${}^2\log T$  grafiek van de drempelwaarden, de experi- mentele gegevens beter benaderd konden worden door een gebro- ken lijn, dan door een rechte lijn. De knikpunten van deze ge- broken lijnen bleken te liggen bij ongeveer 60 msec.

De opzet van de metingen die nu verricht zijn was na te gaan of deze knikpunten ook bij de experimentele gegevens van andere proefpersonen optreden en zoja, of ze dan ook optreden bij an- dere dan tot nu toe gemeten frequenties en bij welke duur van de toonstootjes.

Bij de meetmethode die gebruikt is krijgt de proefpersoon twee toonstootjes aangeboden. De ene heeft een frequentie  $f$ , de an- dere  $f+\Delta f$ . De proefpersoon krijgt de toontjes in een onbeken- de volgorde aangeboden en moet aangeven welk toontje het eerst werd aangeboden.

### De signalen.

De toonstootjes worden gemaakt met behulp van twee toongenera- toren. Uit deze signalen wordt met behulp van een door een pons- handlezer -waarmee een random keuze programma wordt ingelezen- gestuurd wisselrelais een keuze gemaakt. Dit signaal wordt door een P.B.M.-poort gestuurd.

De P.B.M.-poort gaat niet abrupt open en dicht. De opkom- en afvaltijd zijn bij de meetopstelling ingesteld op ongeveer 2.5 msec. Dit heeft het voordeel dat inschakelklikken worden voor- komen.

De P.B.M.-poort had de nare eigenschap dat de demping in de tijd dat hij gesloten moest zijn kleiner was dan 40 dB. De toon- stootjes werden aangeboden met een subjectief luidheidsniveau van 40 dB. Hierdoor hoorde men in het "stille gedeelte van het signaal toch nog enig signaal. Dit euvel is verholpen door voor de poort een relais te plaatsen, waarvan de contacten 10 msec

voordat de P.B.M.-poort wordt geopend, sluiten en die 10 msec nadat de P.B.M.-poort wordt gesloten openen.

De pulsen, waarmee de ponsbandlezer, het relais en de P.B.M.-poort worden bestuurd, worden verkregen uit een cascadeteller. Een cascadeteller kan op tien van te voren in te stellen tijdstippen een positieve en negatieve puls geven, nadat een startpuls aan de cascadeteller is gegeven. Die tijdstippen zijn een geheel veelvoud van de periode van een synchronisatiesignaal, dat aan de cascadeteller wordt toegevoerd.

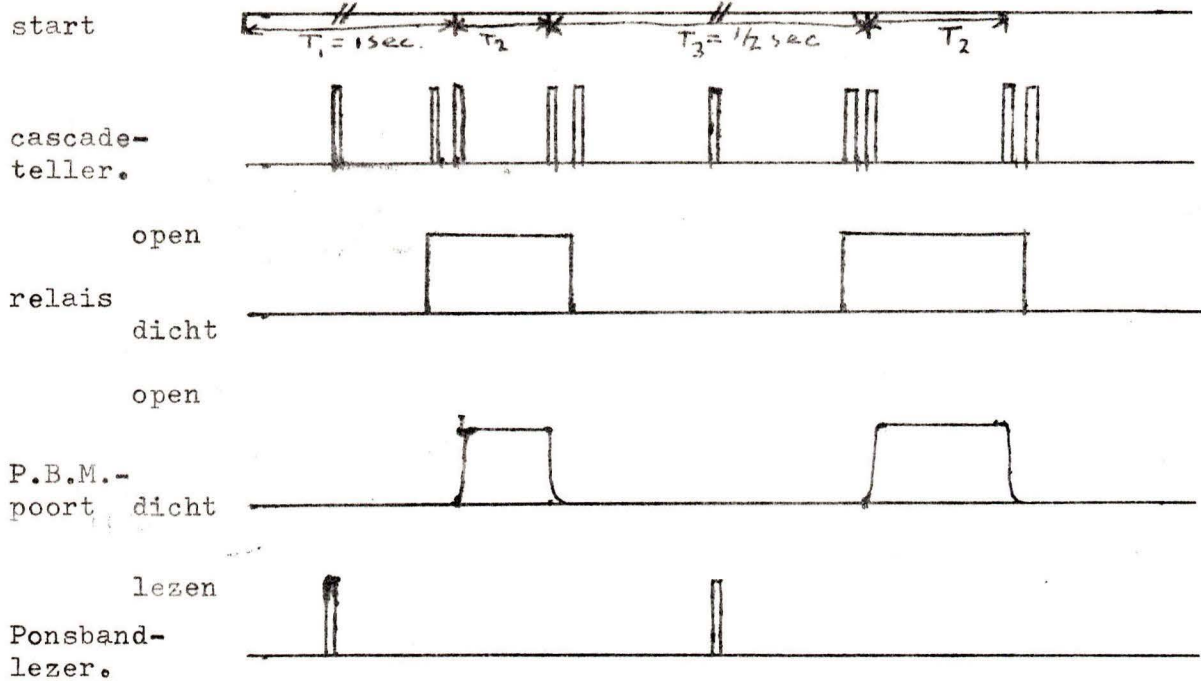
Als we het signaal van één van de twee generatoren als synchronisatiesignaal gebruiken, dan zal als de P.B.M.-poort opengaat voor dat signaal de fase bepaald zijn, maar voor het signaal van de andere toongenerator is de fase bij het opengaan van de P.B.M.-poort volkomen willekeurig. Dit kan aanleiding geven tot tikeffecten, die de meting beïnvloeden. De indruk die men krijgt van een toonstoot die begint als een sinus is n.l. wezenlijk anders dan van een toonstoot die als cosinus begint, alhoewel de frequentie dezelfde is.

Om dit verschijnsel te voorkomen wordt het signaal dat aan de P.B.M.-poort wordt toegevoerd ook aan de cascadeteller toegevoerd als synchronisatiesignaal. De fase bij het opengaan van de poort is dan voor beide signalen nagenoeg gelijk. Het signaal van de toongenerator met frequentie  $f + \Delta f$  duurt nu echter  $\frac{\Delta f}{f} \times T$  korter dan het signaal van de toongenerator met frequentie  $f$ .  $T$  is hierin de duur van het toonstootje met frequentie  $f$ . Dit verschil is echter te verwaarlozen, daar  $\frac{\Delta f}{f}$  slechts enkele promilles bedraagt.

Het signaal van de poort wordt via een versterker en een verzwakker aan een koptelefoon toegevoerd, zodat voor elke duur en voor elke frequentie en proefpersoon eenvoudig het subjectieve luidheidsniveau is in te stellen op 40 dB.

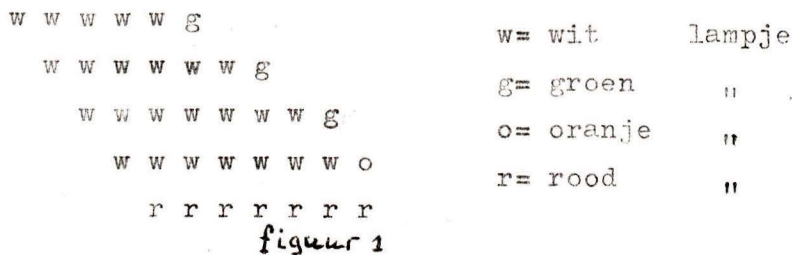
De hele schakeling is getekend in bijlage I.

Hierna volgt nog het tijdvolgorde diagram:



Meetmethode.

De metingen zijn verricht volgens de AX-methode. Bij deze methode krijgt men twee stimuli aangeboden, waarvan er één een referentie-stimulus is. Door middel van twee knopjes op het bedieningspaneel kan men aangeven of de referentie-stimulus de eerste of de tweede aangeboden stimulus was. Dit antwoord wordt met de ponsbandlezer gecontroleerd, waarna de AX-monitor aangeeft, of het antwoord goed of fout was. Zo'n AX-monitor bestaat uit een aantal lampjes die in vijf onder elkaar gelegen rijen zijn geplaatst (zie figuur 1)



figuur 1

Men begint links boven. Bij een goed antwoord gaat het lampje rechts van het op dat moment brandende lampje branden; bij een fout antwoord gaat het lampje rechts onder het op dat moment brandende lampje branden.

Gaat een groen lampje branden, dan kan men zeggen, dat men de referentie-stimulus van de andere stimulus kan onderscheiden met een trefzekerheid van ten minste 75%.

Gaat een rood lampje branden, dan kan men dit niet meer zeggen. Gaat het oranje lampje branden, dan meet men met de zelfde instelling van de cascadeteller en de toongeneratoren nog eens. Bij het bepalen van de drempel begint men met een frequentie verschil, dat een macht van 2 is. Men meet of men dit verschil kan horen. Met andere woorden: men probeert een groen lampje te laten branden. Gaat inderdaad een groen lampje branden, dan halveert men het frequentie-verschil. Dit doet men net zolang tot er een rood lampje gaat branden; dan verdubbelt men het frequentie-verschil enz.

Het bereiken van een groen lampje wordt aan gegeven met "+", het bereiken van een rood lampje met "-".

Men gaat zolang door met meten, totdat men minstens 3 wisselingen van "+" naar "-" heeft gehad, die ongeveer bij het zelfde frequentie-verschil liggen.

Voorbeeld:

$2^7 = 128$ Hz	+								
$2^6 = 64$ Hz	+								
$2^5 = 32$ Hz	+								
$2^4 = 16$ Hz	+								
$2^3 = 8$ Hz	+								
$2^2 = 4$ Hz									

+ + + relevant gedeelte.  
- - - -

De drempel wordt dan als volgt bepaald: van het relevante gedeelte wordt van de daarin voorkomende "-" en de bijbehorende 2-logaritmen van het relatieve frequentie-verschil gemiddeld. Men heeft nu het gemiddelde van het relatieve frequentieverschil dat men niet meer hoort uit gedrukt in de twee-logaritme. Daar we het frequentie-verschil met factoren twee hebben verhoogd, moeten we dit gemiddeld logaritmische relatief frequentie-verschil met  $\frac{1}{2}$  verhogen om de drempel te krijgen.



In het bovenstaande voorbeeld is dit als we gemeten hebben bij een frequentie van 1000 Hz:  $\frac{4+4+4}{3} + \frac{1}{2} = 4.5$ .

De drempel is dan  $2^{4.5}$  ‰.

Een ander voorbeeld:

$$2^4 = 16 \text{ Hz} +$$

$$2^3 = 8 \text{ Hz} + \quad + \quad +$$

$$2^2 = 4 \text{ Hz} \quad + \quad - \quad + \quad - \quad -$$

$$2^1 = 2 \text{ Hz} \quad - \quad -$$

$$\text{Drempel: } \frac{1+1+2+2+2}{5} + \frac{1}{2} = 2.1$$

$$\text{Drempel in promilles bij 1000 Hz: } 2^{2.1}$$

Bij de metingen en de berekeningen zijn de frequentie-verschillen uitgedrukt in 2-logaritmen, tenzij anders vermeld.

### Resultaten.

Bij de frequenties  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ , 1, 2, 4 en 8 kHz zijn de drempels gemeten van toonstootjes van  $2^0$  tot en met  $2^{10}$  msec in stappen van een factor twee; met dien verstande, dat bij elke frequentie de korste toonstoot uit tenminste één periode bestaat.

Door J.L.T. zijn bij elke frequentie voor alle duren 4 drempels bepaald. Door G.W.N. zijn bij elke frequentie voor alle duren 2 drempels bepaald. De resultaten van de metingen zijn vermeld in bijlage II tot en met V. Voor beide proefpersonen zijn de gevonden relatieve drempels -uitgedrukt in 2-logaritmen- voor alle frequenties en alle duren gemiddeld. Bij deze punten is voor elke frequentie een regressie-kromme bepaald volgens de methode der kleinste kwadraten.

Hierbij is uitgegaan van twee mogelijkheden:

een rechte lijn

een gebroken lijn, in het vervolg kromme te noemen.

Met behulp van een rekenmachine-programma zijn alle mogelijke lijnen berekend (zie appendix). Vervolgens werd die kromme als beste benadering gekozen, die de kleinste kwadratische fout had. Hierbij werden de krommen buiten beschouwing gelaten, waarbij het lijnstuk, behorend bij de kortere toonduren, een kleinere hellingshoek had, dan dat lijnstuk behorend bij langere duren.

Deze krommen zijn uitgezet in bijlage VI en VII. Vervolgens is uitgezet de drempel in promilles als functie van de frequentie met als parameter de duur van de toonstootjes (bijlage VIII). De krommen uit bijlage VI en VII moeten gezien worden als de asymptoten van een vloeiende lijn.

Aan de absolute waarden van de waarnemingen kan men niet te veel waarde hechten, daar er bij de ene toongenerator meer harmonische vervorming voorkwam, dan bij de andere.

Dit verschijnsel is pas aan het einde van de metingen geconstateerd. Deze vervorming is gemeten. Hierbij is de grondtoon op 0 dB gesteld. Indien een harmonische een niveau heeft, dat hoger is dan -40 dB, dan is deze component te horen, daar het subjectieve luidheidsniveau op 40 dB is ingesteld. (zie tabel 1).

tabel 1.

Generator van Wandel Goltermann

F(Hz)	50 Hz	100 Hz	150 Hz	F	2F	3F	4F
250	-41	-62	-48	0	-32.5	-48.5	-72
500	-41	-62	-46	0	-33	-51	-72
1000	-41.5	-61.5	-47	0	-34	-50	-72
2000	-41	-61	-46	0	-34	-50.5	-72
4000	-39	-60	-48	0	-36.5	-72	-72
8000	-40	-57	-44	0	-68	-72	-72

Generator van Philips

250	-41	-60	-47	0	-34	-55	-72
500	-38	-58	-46	0	-32.5	-55	-72
1000	-38	-57	-45	0	-32	-55	-72
2000	-44	-60	-47	0	-35	-72	-72
4000	-44	-58	-45	0	-35	-72	-72
8000	-40	-57	-44	0	-71	-72	-72

Alle vermogens zijn uitgedrukt in dB.

### Conclusie

Op algemene gronden is te verwachten, dat het juist waarneembare frequentieverschil toeneemt bij verkorting van de toonduur  $T$  en dat het constant zal blijven indien  $T$  zeer groot gemaakt wordt.

Uit de vroegere metingen waren twee punten naar voren gekomen. In de eerste plaats was gebleken dat de overgang van het hellende naar het horizontale deel van de kromme tamelijk scherp is. Dit rechtvaardigt de invoering van het begrip kritieke tijd  $T_k$ : toonstoten langer dan  $T_k$  hebben een constante  $\Delta f$ , toonstoten korter dan  $T_k$  hebben een toenemende  $\Delta f$ . In de tweede plaats was reeds gebleken, dat de kritieke tijd tamelijk onafhankelijk is van de frequentie van de toonstoten.

De resultaten van het onderhavige onderzoek zijn voor een belangrijk deel samengevat in tabel I. Voor bijna alle frequenties kon een kritieke tijd worden bepaald, hetgeen een uitbreiding is op het vroegere onderzoek. Bovendien werd  $T_k$  op een objectieve wijze bepaald. Neemt men alle kritieke tijden per proefpersoon samen dan vinden we een gemiddelde

$$T_k = 2^{6.0 \pm 0.7} \quad (\text{J.L.T.})$$

$$T_k = 2^{5.7 \pm 1.7} \quad (\text{G.W.N.})$$

hetgeen met de t-toets geen significant verschil oplevert.

De grootte  $R$  uit tabel I is het quotiënt van de kwadraatsom der afwijkingen voor de beste gebroken-lijnbenadering gedeeld door de kwadraatsom der afwijkingen voor de beste rechte.

Is  $R = 1$ , dan is een gebroken lijn zeker niet gerechtvaardigd. De knik wordt des te zinvoller, naarmate  $R$  dichterbij nul komt. Men mag aannemen dat de statistische theorie een grenswaarde voor  $R$  zal kunnen aangeven, die overeenkomt met de situatie dat er slechts een kans van 5% is dat de knik louter toevallig is. In bekende leerboeken over statistische toetsen wordt dit probleem echter niet behandeld en het wordt daarom verder in het midden gelaten.

In tabel I zijn voorts de richtingscoëfficiënten opgenomen van het linker en het rechter deel van de best passende gebroken lijn. Deze grootheden  $m_e$  en  $m_r$  zijn bovendien in bijlage IX nog eens grafisch afgebeeld voor ieder van de proefpersonen. Het blijkt, dat voor het (horizontale) rechter deel van de gebroken lijn een richtingscoëfficiënt wordt gevonden die enigszins spreidt om een waarde dicht bij  $m_r = 0$ . Voor  $m_e$  is er wel een duidelijke trend aan te geven, namelijk dat de helling van het linkerdeel steeds flauwer wordt bij toenemende frequentie. Het is niet duidelijk wat de betekenis is van dit verschijnsel.

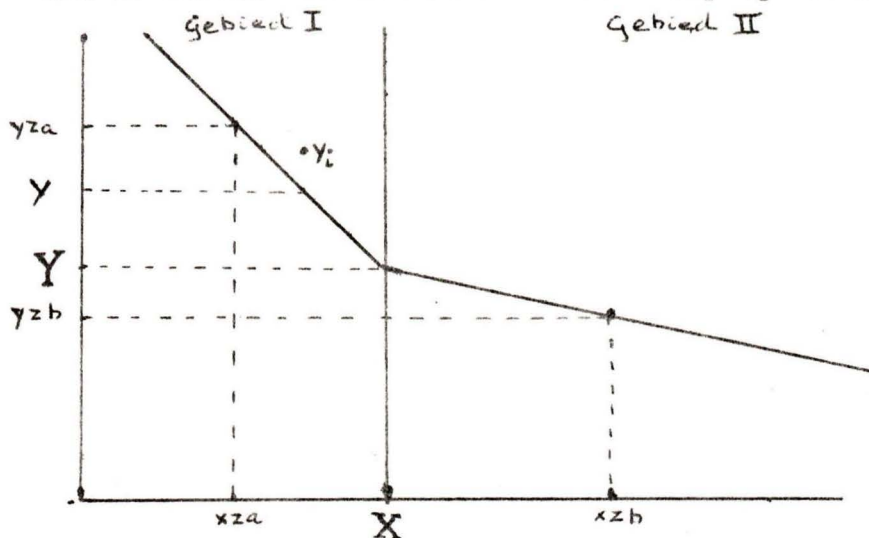
Tabel II

f (Hz)	$^2 \log T_k$	R	$m_e$	$m_r$
Proefpersoon J.L.T.				
250	6.5	0.07	-1.3	-0.4
500	4.5	0.06	-1.3	-0.3
1000	6.5	0.12	-1.0	-0.0
2000	6.5	0.50	-0.5	-0.2
4000	6.5	0.77	-0.4	-0.0
8000	5.5	0.30	-0.4	-0.0
Proefpersoon G.W.N.				
250	6.5	0.5	-1.0	-0.3
500	6.5	0.3	-0.8	-0.1
1000	5.5	0.8	-0.7	-0.5
2000	3.5	0.8	-0.7	-0.2
4000	6.5	0.8	-0.3	-0.1
8000	-	1.0	-0.2	-0.2

Appendix a.

Afleiding van de formules ter bepaling van de regressierechten.

In de hier af te leiden formules zullen dezelfde symbolen gebruikt worden als in het rekenmachine-programma.



(xza, yza) is het zwaartepunt van de metingen in gebied I.

(xzb, yzb) is het zwaartepunt van de metingen in gebied II.

Regressierechte in gebied I:

$$(y - yza) = \frac{yza - Y}{xza - X} (x - xza)$$

Regressierechte in gebied II:

$$(y - yzb) = \frac{Y - yzb}{X - xzb} (x - xzb).$$

Gevraagd: Y bij vaste waarde van X, waarvoor  $\sum^{I+II} (y - y_i)^2$  minimaal is.

$$\text{gebied I: } (y - y_i)^2 = \left( \frac{yza - Y}{xza - X} (x - xza) + yza - y_i \right)^2$$

$$\text{gebied II: } (y - y_i)^2 = \left( \frac{Y - yzb}{X - xzb} (x - xzb) + yzb - y_i \right)^2$$

$$F(Y) = \sum^{I+II} (y - y_i)^2 = \sum^I \left( \frac{yza - Y}{xza - X} (x - xza) + yza - y_i \right)^2 + \sum^{II} \left( \frac{Y - yzb}{X - xzb} (x - xzb) + yzb - y_i \right)^2$$

F(Y) heeft extremum voor:

$$\frac{\delta F(Y)}{\delta Y} = 0.$$

$$\frac{\delta F(Y)}{\delta Y} = 2 \sum^I \left( \frac{yza - Y}{xza - X} (x - xza) + yza - y_i \right) \frac{x - xza}{X - xza} + 2 \sum^{II} \left( \frac{Y - yzb}{X - xzb} (x - xzb) + yzb - y_i \right) \frac{x - xzb}{X - xzb}$$

-b-

$$\sum^I \left[ Y \left( \frac{x-xza}{X-xza} \right) + yza - y_i + yza \left( \frac{x-xza}{xza-X} \right) \right] \frac{x-xza}{X-xzb} +$$

$$\sum^{II} \left[ Y \left( \frac{x-xzb}{X-xzb} \right) + yzb - y_i + yzb \left( \frac{x-xzb}{xzb-X} \right) \right] \frac{x-xzb}{X-xzb} = 0$$

Of:

$$Y \left[ \sum^I \left( \frac{x-xza}{X-xza} \right)^2 + \sum^{II} \left( \frac{x-xzb}{X-xzb} \right)^2 \right] +$$

$$\left[ \sum^I (yza - y_i + yza \left( \frac{x-xza}{xza-X} \right)) \frac{x-xza}{xza-X} + \sum^{II} (yzb - y_i + yzb \left( \frac{x-xzb}{xzb-X} \right)) \frac{x-xzb}{xzb-X} \right] = 0$$

Als men één gebied beschouwt, dan geldt:

$$(y - yza) = m(x - xza)$$

$$\sum (y - y_i)^2 = \sum (m(x - xza) + yza - y_i)^2 = F(m)$$

$$\frac{\partial F(m)}{\partial m} = \sum (m(x - xza) + yza - y_i)(x - xza) = 0$$

$$m \sum (x - xza)^2 + \sum (yza - y_i)(x - xza) = 0$$

$$m = \frac{\sum (yza - y_i)(x - xza)}{\sum (x - xza)^2}$$

Met behulp van deze formules is het hiervolgend rekenmachine-programma ontstaan, dat gegeven een aantal meetpunten alle mogelijke krommen berekent, volgens dit algoritme.

De input-band moet er als volgt uitzien:

Het eerste getal geeft het aantal sets van meetpunten aan (k).

Dan volgen er "k" groepen die er als volgt uitzien:

Het eerste getal geeft een karakteristieke grootte aan; in de toepassing van het frequentie onderscheidend vermogen de frequentie. Het volgende getal geeft aan het aantal meetpunten in die groep. Dan volgen de x en y coördinaten van de meetpunten en wel de bijbehorende x en y coördinaat van een meetpunt na elkaar (x<sub>1</sub>, y<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>, y<sub>2</sub>, ..... , y<sub>n-1</sub>, x<sub>n</sub>, y<sub>n</sub>).

Lalgol 02113838 talmon

begin comment berekening van regressie krommen;

integer aantal,k,l,f;

k:=read;

for l:=1 step 1 until k do

begin f:=read;

FIXT(4,0,f); NLCR;

aantal:=read;

begin real array P[1:aantal,1:2];

integer i,j,m;

real xza, xzb, yza, yzb, a, b, c, d, Y, fout, m1, m2;

for i:=1 step 1 until aantal do

for j:=1,2 do

P[i,j]:=read;

PRINTTEXT(←

xza

yza

xzb

yzb

X

Y

m1

m2

fout ▶);

NLCR;NLCR;

for i:=1 step 1 until aantal-1 do

begin xza:=xzb:=yza:=yzb:=a:=b:=c:=d:=fout:=0;

for j:=1 step 1 until i do

begin xza:=xza+ P[j,1];

yza:=yza+ P[j,2]

end;

xza:=xza/i;

yza:=yza/i;

FIXT(4,5,xza); SPACE(4); FIXT(4,5,yza); SPACE(4);

```

for j:=i+1 step 1 until aantal do
  begin xzb:=xzb+ P[j,1];
        yzb:=yzb+ P[j,2]
  end;
xzb:=xzb/(aantal-i);
yzb:=yzb/(aantal-i);
FIXT(4,5,xzb); SPACE(4); FIXT(4,5,yzb); SPACE(4); FIXT(4,5,(P[i,1]+P[i+1,1])/2); SPACE(4);
for j:=1 step 1 until i do
  begin a:=a+ ((P[j,1]-xza)/((P[i,1]+P[i+1,1])/2-xza))^2;
        b:=b+ (yza-P[j,2] +yza*(P[j,1]-xza)/(xza-(P[i,1]+P[i+1,1])/2))*
              (P[j,1]-xza)/((P[i,1]+P[i+1,1])/2-xza);
  end;
for j :=i+1 step 1 until aantal do
  begin c:=c+ ((P[j,1]-xzb)/((P[i,1]+P[i+1,1])/2-xzb))^2;
        d:=d+ (yzb-P[j,2]+yzb*(P[j,1]-xzb)/(xzb-(P[i,1]+P[i+1,1])/2))*
              (P[j,1]-xzb)/((P[i,1]+P[i+1,1])/2-xzb)
  end;
Y:=(b+d)/(a+c);
FIXT(4,5,Y); SPACE(4);
        m1:=(yza-Y)/(xza-(P[i,1]+P[i+1,1])/2);
if -100<m1/m1<100 then FIXT(2,2,m1) else PRINTTEXT(† infin.>); SPACE(4);
m2:=(yzb-Y)/(xzb-(P[i,1]+P[i+1,1])/2);
if -100<m2/m2<100 then FIXT(2,2,m2) else PRINTTEXT(† infin.†); SPACE(4);
for j:=1 step 1 until i do
  fout:=fout+((yza-Y)*(P[j,1]-xza)/(xza-(P[i,1]+P[i+1,1])/2) + yza - P[j,2])^2;
for j:=i+1 step 1 until aantal do
  fout:=fout+((Y-yzb)*(P[j,1]-xzb)/((P[i,1]+P[i+1,1])/2-xzb)+yzb-P[j,2])^2;

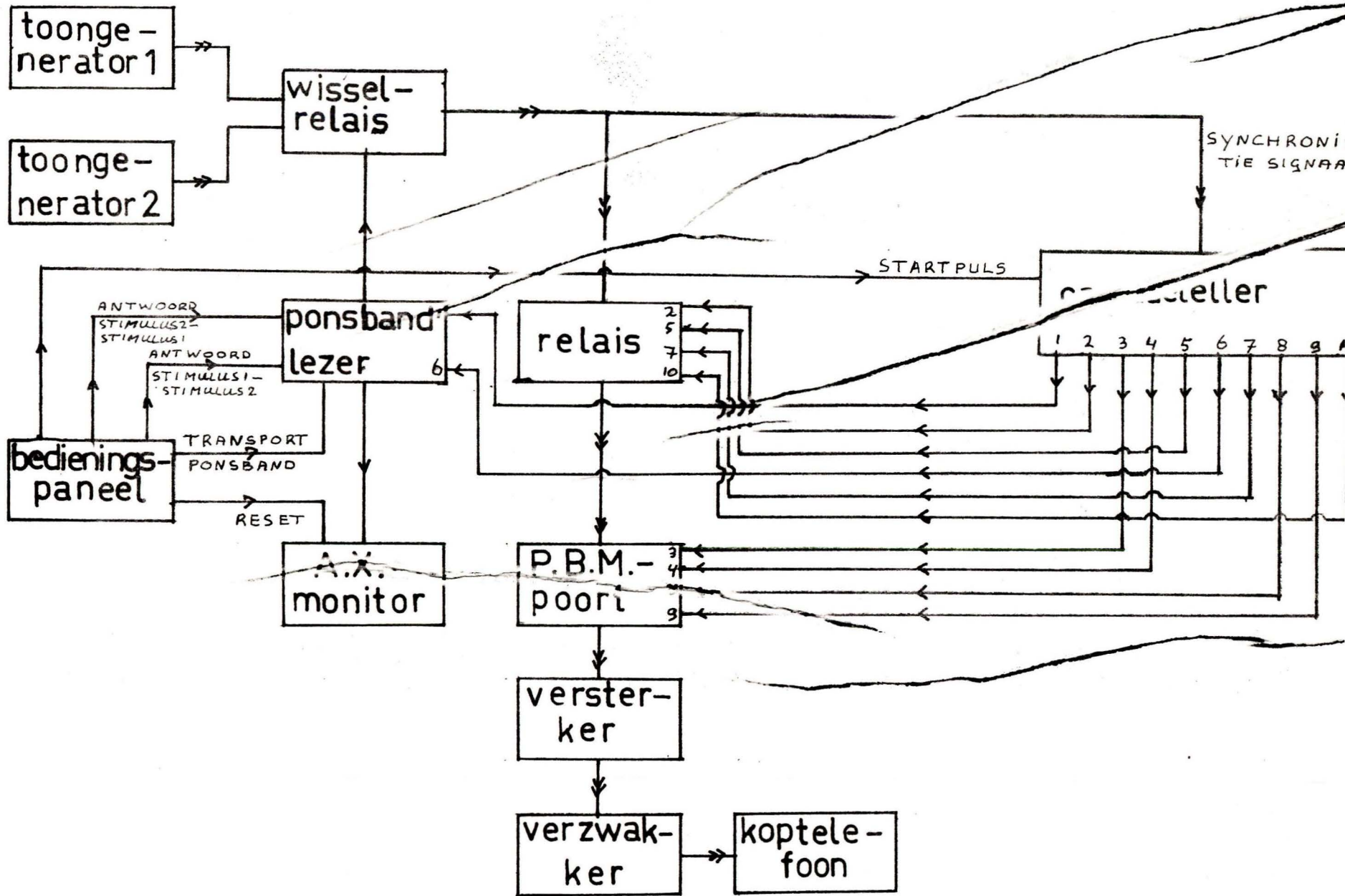
```



```

        FIXT(4,5,fout); SPACE(4); NLCR;
end;
NLCR;
PRINTTEXT(← x1          x2          y1          y2          m          fout);
NLCR; NLCR; FIXT(4,5,P[1,1]); SPACE(4); FIXT(4,5,P[aantal,1]); SPACE(4);
xza:=yza:=0;
for i:=1 step 1 until aantat do
    begin xza:=xza+ P[i,1];
          yza:=yza+ P[i,2]
    end;
xza:=xza/aantal;
yza:=yza/aantal;
a:=b:=fout:=0;
for i:=1 step 1 until aantat do
    begin a:=a+ (P[i,1]-xza)2;
          b:=b+ (P[i,2]-yza)×(P[i,1]-xza)
    end;
c:=b/a;
Y:=c×(P[1,1]-xza)+yza;
FIXT(4,5,Y); SPACE(4);
Y:=c×(P[aantal,1]-xza)+yza;
FIXT(4,5,Y); SPACE(4);
if -100<c/√c<100 then FIXT(2,2,c) else PRINTTEXT(← infin.);
SPACE(4);
for i:=1 step 1 until aantat do
    fout:=fout+(c×(P[i,1]-xza)+yza-P[i,2])2;
FIXT(4,5,fout); SPACE(4); NEW PAGE;
end;
end;
end;
progend

```



Bijlage II

Proefpersoon J.L.T.  
Frequentie 250 Hz

duur msec	1 <sup>e</sup> meting	2 <sup>e</sup> meting	3 <sup>e</sup> meting	4 <sup>e</sup> meting	gemidd.	relatief gemidd.
4	4.5	4.3	4	4	4.2000	6.2000
8	3.5	3.5	2.5	2.5	3.0000	5.0000
16	1.75	1.75	1.5	2	1.7500	3.7500
32	0.25	-0.7	0.75	0.25	0.1375	2.1375
64	0	-1.5	-0.7	-0.5	-0.6750	1.3250
128	-0.83	-2.1	-1	-2.5	-1.6100	0.3900
256	-0.5	-2.5	-2.5	-3	-2.1250	-0.1250
512	-1.16	-2.5	-2.5	-4.5	-2.6650	-0.6650
1024	-2	-2.5	-3.5	-2.5	-2.6250	-0.6250

Proefpersoon J.L.T.  
Frequentie 500 Hz

duur msec	1 <sup>e</sup> meting	2 <sup>e</sup> meting	3 <sup>e</sup> meting	4 <sup>e</sup> meting	gemidd.	relatief gemidd.
2	4.5	3.5	4.5	4.1	4.0875	5.0875
4	3.16	3.5	3.5	2.5	3.1650	4.1650
8	2.1	1.75	2.5	1.5	1.9625	2.9625
16	1	0.25	-0.5	0.5	0.3125	1.3125
32	0.5	0.5	-0.5	-1	-0.1250	0.8750
64	-0.5	-1.5	-0.5	-0.84	-0.8350	0.1650
128	-1	-1.75	-0.5	-0.5	-0.9375	0.0625
256	-0.5	-2.5	-1.75	-1.25	-1.5000	-0.5000
512	-1	-2.9	-1	-1.5	-1.6000	-0.6000
1024	-1.16	-3.5	-1.5	-1.5	-1.9150	-0.9150

Proefpersoon J.L.T.  
Frequentie 1000 Hz

duur msec	1 <sup>e</sup> meting	2 <sup>e</sup> meting	3 <sup>e</sup> meting	4 <sup>e</sup> meting	gemidd.	relatief gemidd.
1	4.5	5.5	4.9	4.75	4.9125	4.9125
2	5.5	4.5	4	3.5	4.3750	4.3750
4	3.5	4.5	3.5	3.5	3.7500	3.7500
8	2.5	1.6	2.75	2.1	2.1275	2.1275
16	1	1.3	0.5	1.25	1.0125	1.0125
32	0.75	1.5	-2	0.5	0.1875	0.1875
64	0.84	1.5	-0.7	-1	-0.3400	-0.3400
128	1.1	0.25	-3.25	-2.25	-1.1625	-1.1625
256	-0.5	1	-1.5	-1.5	-1.1250	-1.1250
512	-1	0.5	-2.5	-1.5	-1.3750	-1.3750
1024	-0.5	-0.75	-2.5	-0.75	-1.1250	-1.1250

Bijlage III

Proefpersoon J.L.T.

Frequentie 2000 Hz

duur msec	1 <sup>e</sup> meting	2 <sup>e</sup> meting	3 <sup>e</sup> meting	4 <sup>e</sup> meting	gemidd.	relatief gemidd.
1	3	3.5	4.67	4.1	3.8175	2.8175
2	3.5	2.5	4.5	4.5	3.7500	2.7500
4	3	3.25	3.5	4.25	3.5000	2.5000
8	2.75	2.5	2.75	2	2.5000	1.5000
16	3.16	2.5	1	2	2.1650	1.1650
32	2.1	1.5	0.25	1.5	1.3375	0.3375
64	2	0.75	0.5	0	0.8125	-0.1875
128	0.614	0.9	0.5	0.5	0.63575	-0.36425
256	0.75	-0.16	0.5	-0.1	0.2525	-0.7475
512	1.25	0	0.3	0.5	0.5125	-0.4875
1024	0.16	0.5	-0.9	-0.75	-0.2525	-1.2525

Proefpersoon J.L.T.

Frequentie 4000 Hz

duur msec	1 <sup>e</sup> meting	2 <sup>e</sup> meting	3 <sup>e</sup> meting	4 <sup>e</sup> meting	gemidd.	relatief gemidd.
1	5	4.5	4.1	4.5	4.5250	2.5250
2	5.5	6	5.5	6.1	5.7750	3.7750
4	5	5	5	4.25	4.9375	2.9375
8	3.5	5	4.1	4	4.1900	2.1900
16	3	4.1	3.5	3.5	3.5400	1.5400
32	3.5	3.25	3.75	0.75	2.8125	0.8125
64	3.5	3.25	2.1	2.5	2.8400	0.8400
128	2.84	2.7	2.5	2.3	2.5800	0.5800
256	3	2.75	1.5	2.5	2.4375	0.4375
512	2.5	3	2.25	2.5	2.5625	0.5625
1024	2.5	2.5	2.25	2.25	2.3750	0.3750

Proefpersoon J.L.T.

Frequentie 8000 Hz

duur msec	1 <sup>e</sup> meting	2 <sup>e</sup> meting	3 <sup>e</sup> meting	4 <sup>e</sup> meting	gemidd.	relatief gemidd.
1	8.5	7	8.3	7	7.8250	4.8250
2	8.16	6	8.25	7.5	7.6025	4.6025
4	7.7	6	7.9	7.5	7.4000	4.4000
8	6.5	6	7.5	6.5	6.6250	3.6250
16	7.5	6.5	7	6.5	6.8750	3.8750
32	7.25	7.5	6.25	5.9	6.2250	3.2250
64	7.5	6.5	5.25	5.5	5.9375	2.9375
128	7.75	6.5	5.25	5.25	5.9375	2.9375
256	7.5	6.5	5.25	5.5	5.9375	2.9375
512	6.84	6.5	5.5	5.5	5.8350	2.8350
1024	7.5	6.5	5.5	5.5	6.0000	3.0000

Proefpersoon G.W.N.  
Frequentie 250 Hz

duur msec	1 <sup>e</sup> meting	2 <sup>e</sup> meting	gemidd.	relatief gemidd.
4	2.5	4.5	3.5000	5.5000
8	3.25	2.9	3.0750	5.0750
16	0	1.5	0.7500	2.7500
32	1.25	1.5	1.3750	3.3750
64	-1.5	0.5	-0.5000	1.5000
128	-1.1	-0.5	-0.8000	1.2000
256	-1.0714	-1.5	-1.2857	0.7143
512	-1.5	-1.5	-1.5000	0.5000
1024	-1.75	-1.5	-1.6250	0.3750

Proefpersoon G.W.N.  
Frequentie 500 Hz

duur msec	1 <sup>e</sup> meting	2 <sup>e</sup> meting	gemidd.	relatief gemidd.
2	4.78	4.5	4.6400	5.6400
4	4.3	3.75	4.0250	5.0250
8	4.5	2.5	3.5000	4.5000
16	3.16	0.5	1.8300	2.8300
32	2.5	0.25	1.3750	2.3750
64	0.75	0.25	0.5000	1.5000
128	0.79	0.25	0.5200	1.5200
256	0	-0.25	-0.1250	0.8750
512	-0.5	-1	-0.7500	0.2500
1024	0.1	0	0.0500	1.0500

Proefpersoon G.W.N.  
Frequentie 1000 Hz

duur msec	1 <sup>e</sup> meting	2 <sup>e</sup> meting	gemidd.	relatief gemidd.
1	5.667	5.5	5.5835	5.5835
2	3.1	3.5	3.3000	3.3000
4	3.5	2.9	3.2000	3.2000
8	3.75	3.75	3.7500	3.7500
16	2.5	1.84	2.1700	2.1700
32	1.14	1.5	1.3200	1.3200
64	1.25	0.9	1.0750	1.0750
128	0.5	0.3	0.4000	0.4000
256	0.5	0	0.2500	0.2500
512	-3	-0.5	-1.7500	-1.7500
1024	-0.5	-0.75	-0.6250	-0.6250

Bijlage V

Proefpersoon G.W.N.  
Frequentie 2000 Hz

duur msec	1 <sup>e</sup> meting	2 <sup>e</sup> meting	gemidd.	relatief gemidd.
1	2.9	4.5	3.7000	2.7000
2	1.67	4.5	3.0850	2.0850
4	3.5	3.5	3.5000	2.5000
8	2.5	0.5	1.5000	0.5000
16	2	-0.1	0.9500	-0.0500
32	0.9	0.5	0.7000	-0.3000
64	1.5	0.93	1.2150	0.2150
128	1.79	1.3	1.5450	0.5450
256	2.5	0.75	1.6250	0.6250
512	1.25	0.5	0.8750	-0.1250
1024	-0.5	-0.25	-0.3750	-1.3750

Proefpersoon G.W.N.  
Frequentie 4000 Hz

duur msec	1 <sup>e</sup> meting	2 <sup>e</sup> meting	gemidd.	relatief gemidd.
1	3.5	4.5	4.0000	2.0000
2	4.9	4.8	4.8500	2.8500
4	4.3	4	4.1500	2.1500
8	4.25	2.5	3.3750	1.3750
16	1.75	3.5	2.6250	0.6250
32	3.5	3.25	3.3750	1.3750
64	2	3.3	2.6500	0.6500
128	2.36	2.75	2.5550	0.5550
256	2.66	2.1	2.3800	0.3800
512	1.5	2.75	2.1250	0.1250
1024	2.9	1.9	2.4000	0.4000

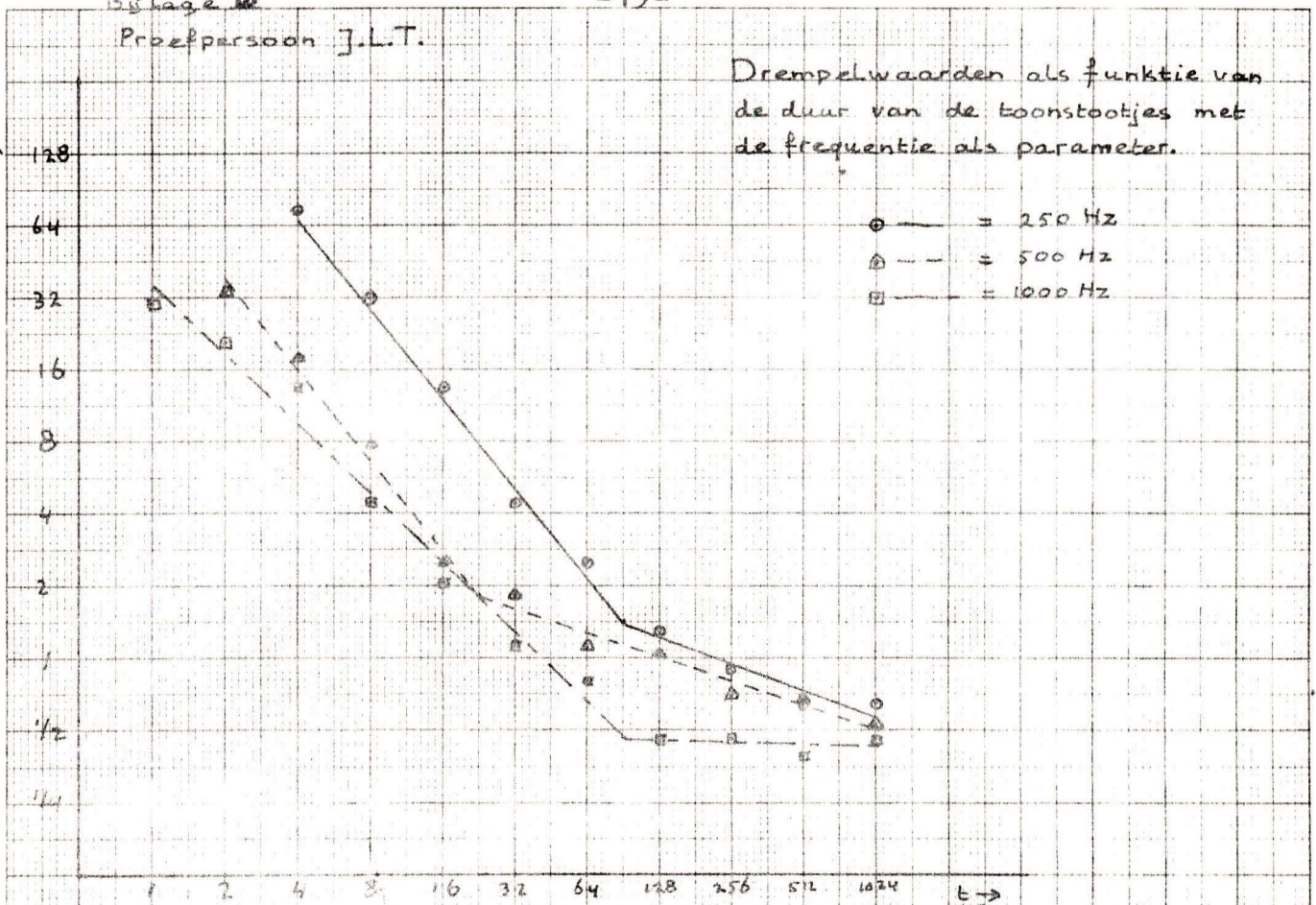
Proefpersoon G.W.N.  
Frequentie 8000 Hz

duur msec	1 <sup>e</sup> meting	2 <sup>e</sup> meting	gemidd.	relatief gemidd.
1	5.9	5.5	5.7000	2.7000
2	5	5.5	5.2500	2.2500
4	6.1	7	6.5500	3.5500
8	5.5	6.75	6.1250	3.1250
16	4.9	5.5	5.2000	2.2000
32	3.5	4.75	4.1250	1.1250
64	5.5	5.83	5.6650	2.6650
128	4.5	4.625	4.5625	1.5625
256	4.5	4.5	4.5000	1.5000
512	3.25	3.5	3.3750	0.3750
1024	4.5	4.75	4.6250	1.6250

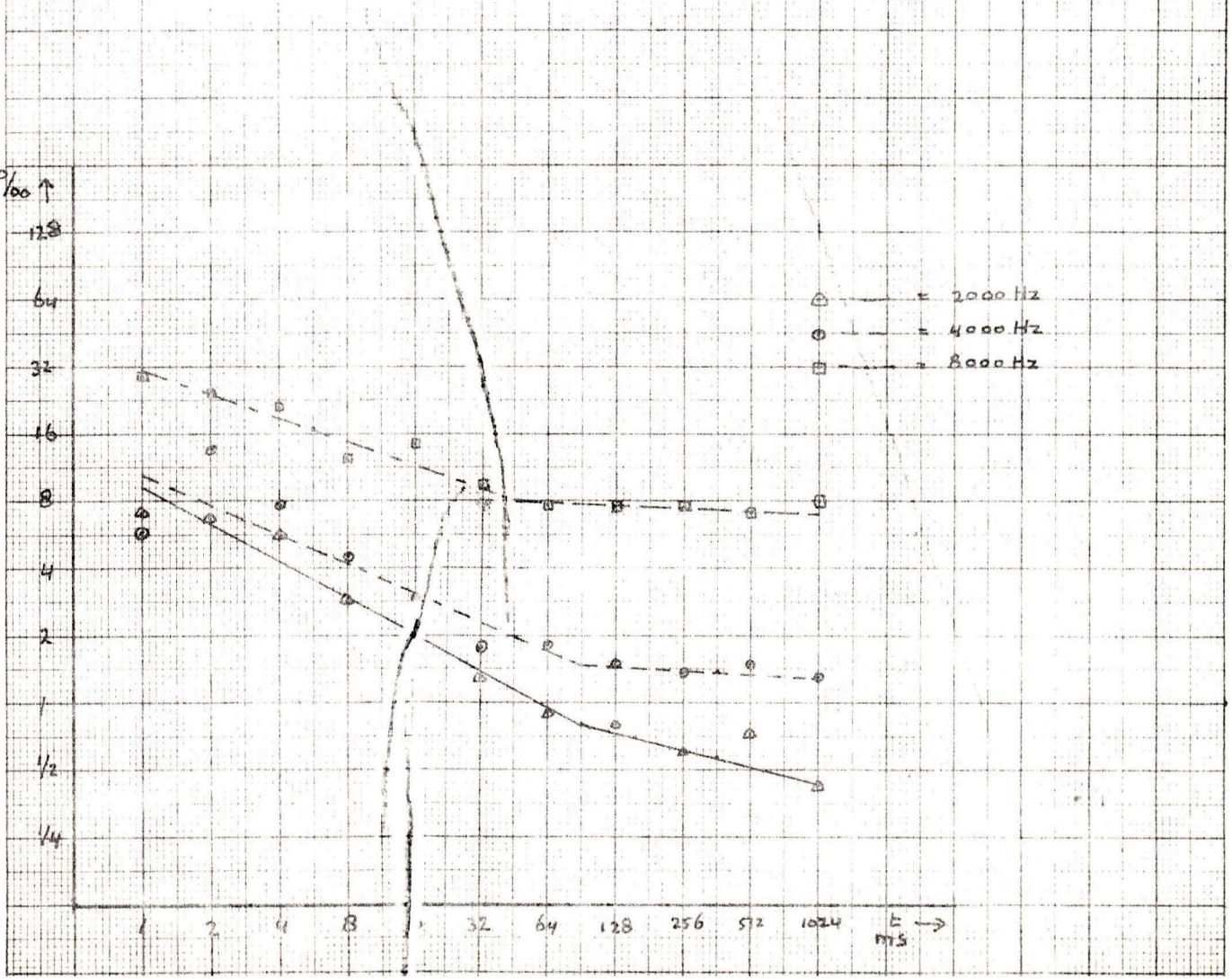
Proefpersoon J.L.T.

Drempelwaarden als functie van de duur van de toonstootjes met de frequentie als parameter.

$\frac{\Delta f}{f} \%$



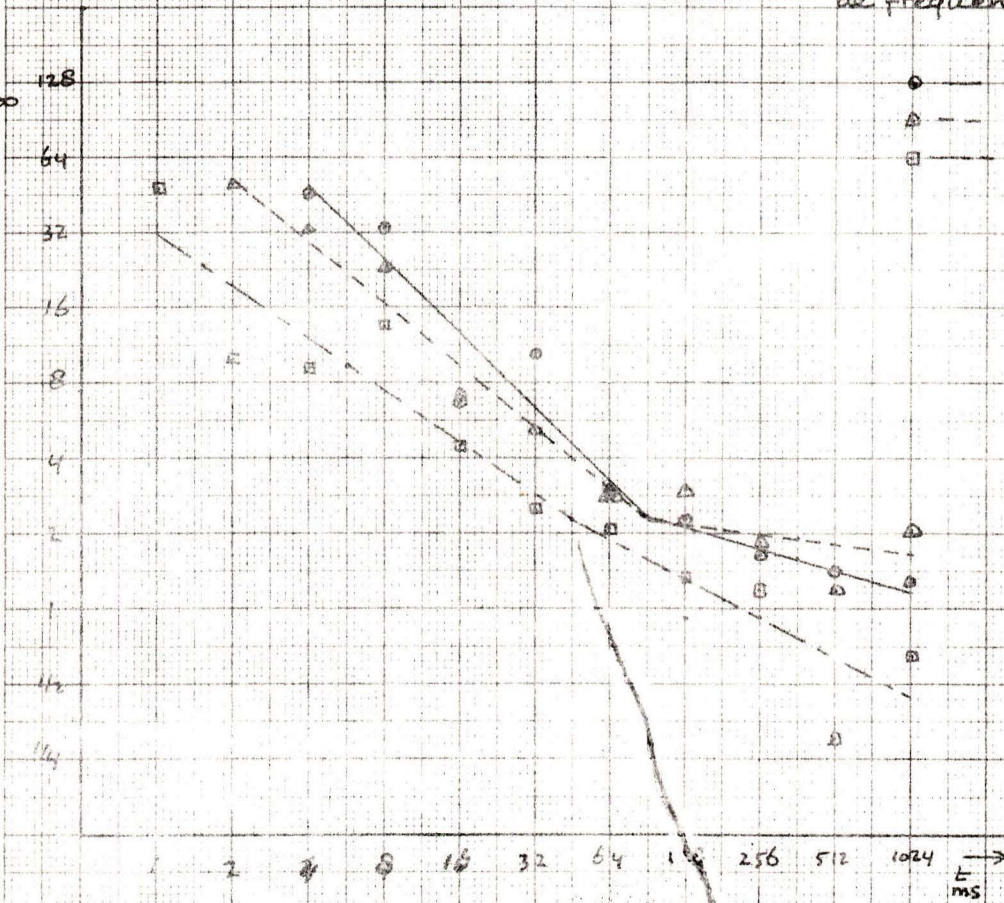
$\frac{\Delta f}{f} \%$



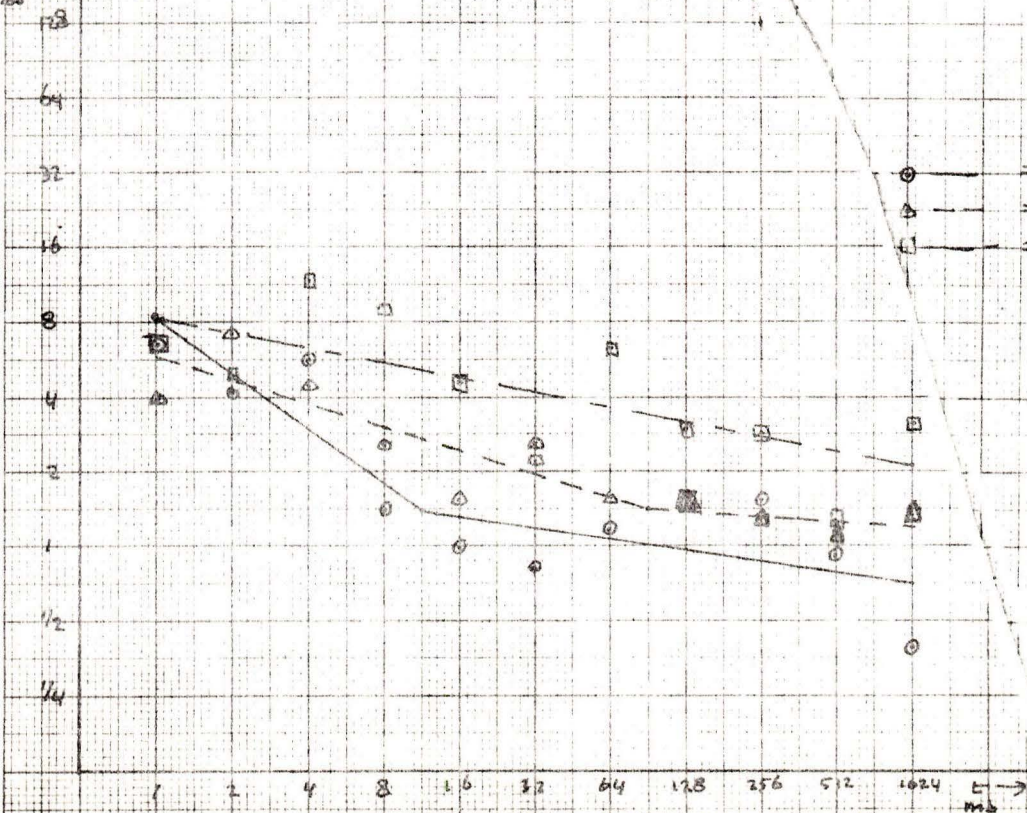
Proefpersoon G.W.N.

Drempelwaarden als functie van de duur van de toonstootjes met de frequentie als parameter.

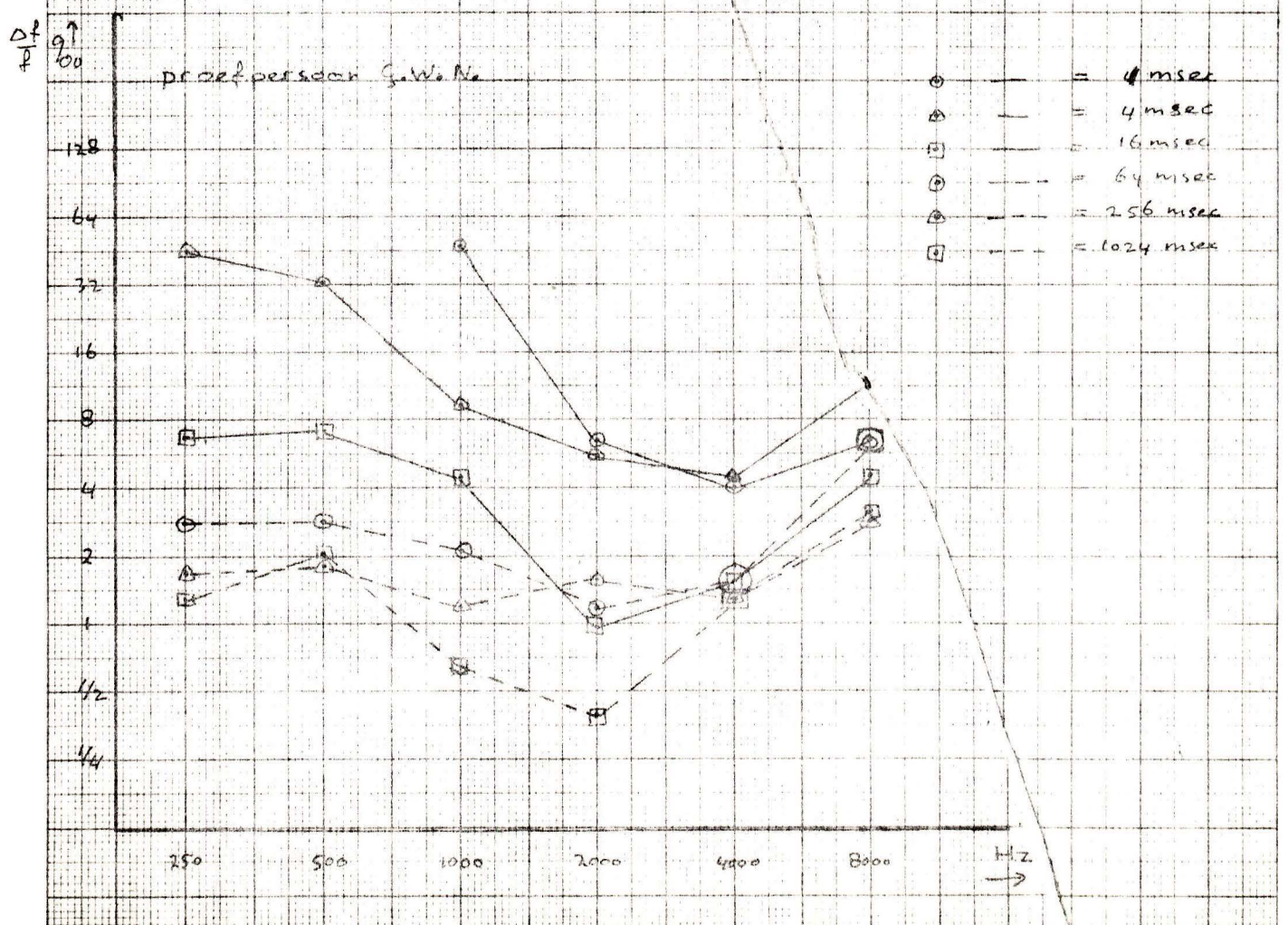
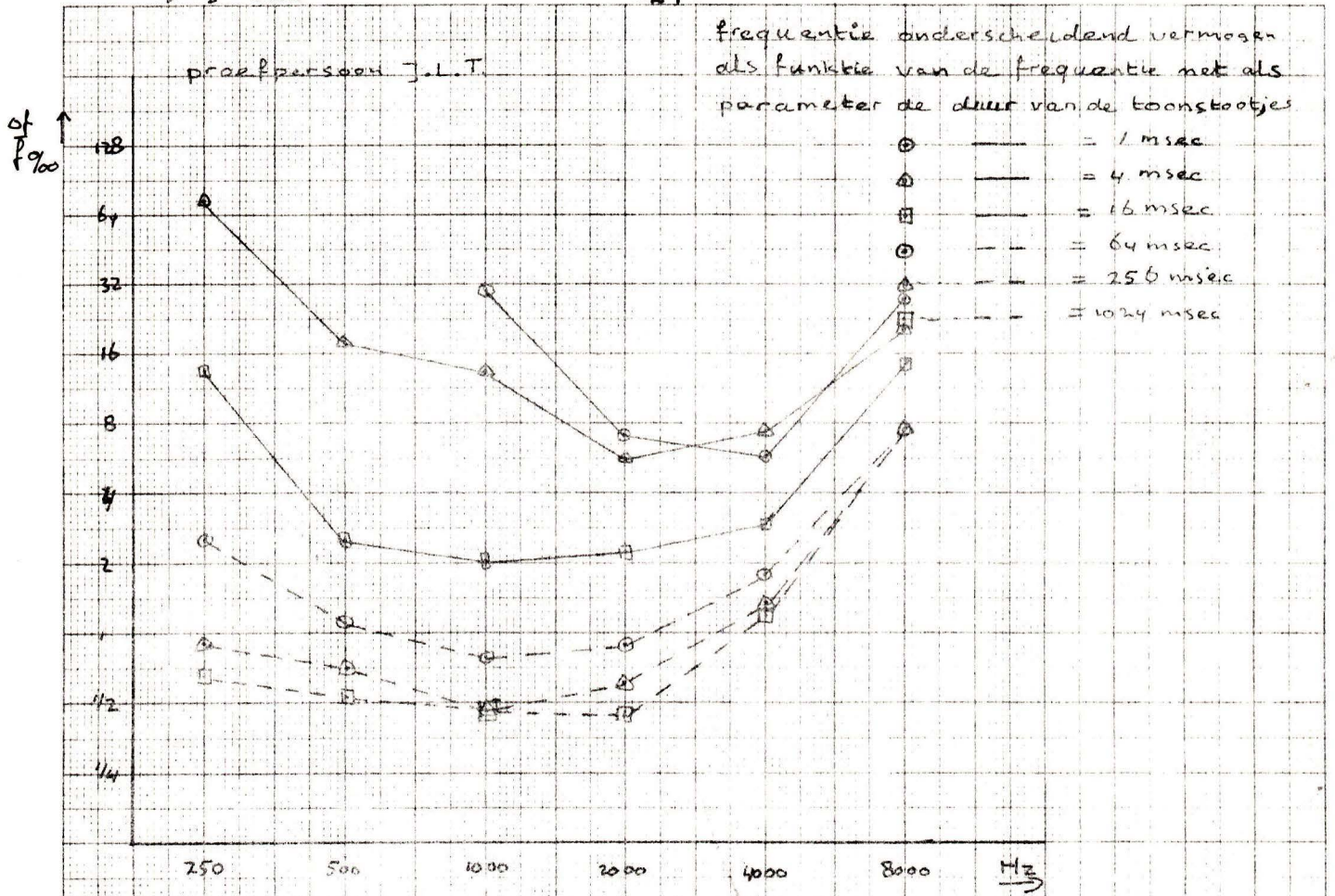
$\frac{\Delta f}{f} \%$



$\frac{\Delta f}{f} \%$



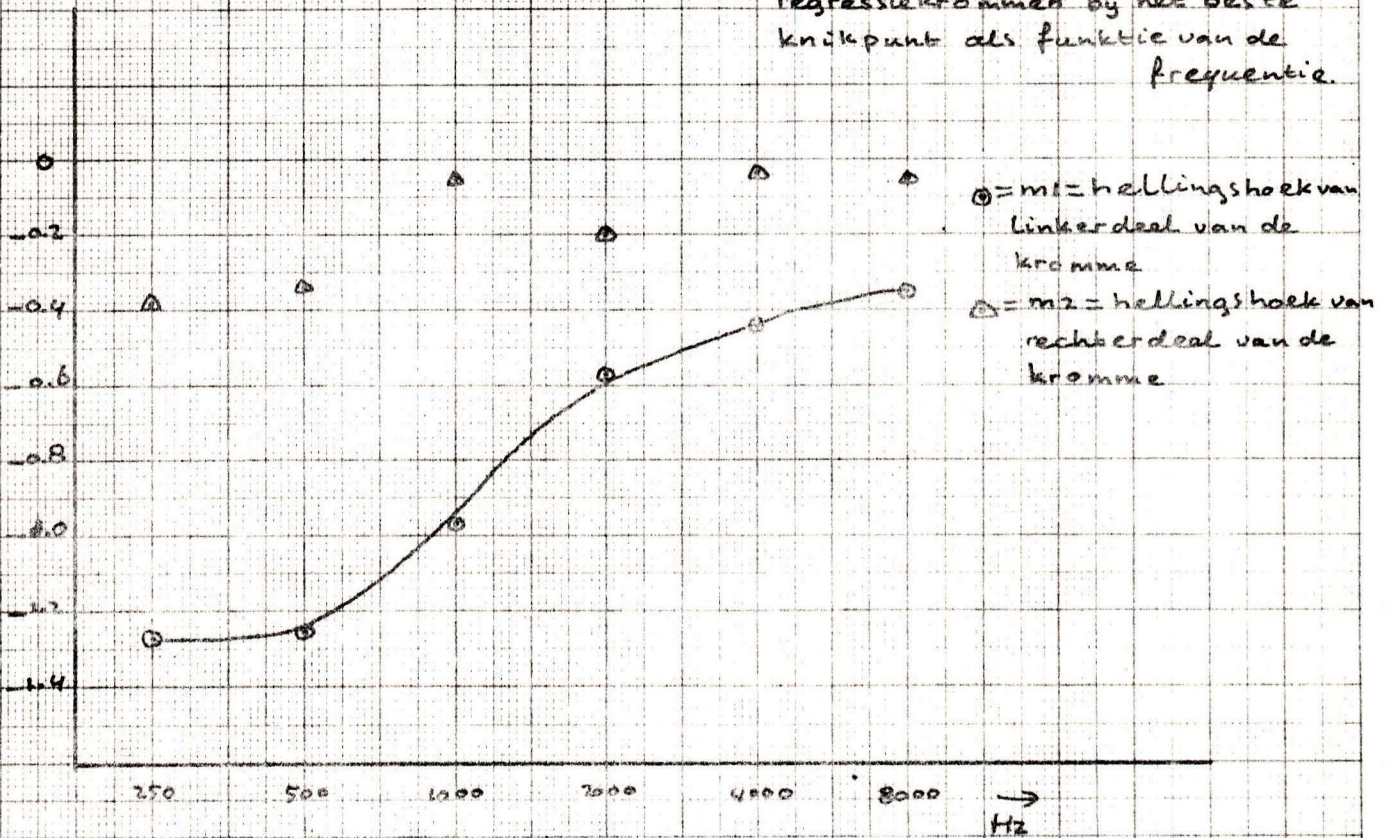




Proefpersoon J.L.T.

De richtingscoëfficiënten van de regressiekrommen bij het beste knikpunt als functie van de frequentie.

$\uparrow$   
 $m_1$   
 $m_2$



Proefpersoon G.W.N.

$\uparrow$   
 $m_1$   
 $m_2$

