

Bepaling van de flikkerdrempel van sinus- en pulsvormig gemoduleerd licht met hoge achtergrondluminantie in een Ganzfeld-experiment

Citation for published version (APA):

Damen, G. H. T., & van der Meer, J. G. M. (1987). *Bepaling van de flikkerdrempel van sinus- en pulsvormig gemoduleerd licht met hoge achtergrondluminantie in een Ganzfeld-experiment*. (IPO-Rapport; Vol. 613). Instituut voor Perceptie Onderzoek (IPO).

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1987

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

Take down policy

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

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Instituut voor Perceptie Onderzoek
Postbus 513, 5600 MB EINDHOVEN

Rapport no. 613

Bepaling van de flikkerdrempel van
sinus- en pulsvormig gemoduleerd
licht met hoge achtergrondluminantie
in een Ganzfeld-experiment

G.H.T. Damen en
J.G.M. v.d. Meer

Rapport van het stagewerk uitgevoerd
van 07.09.1986 tot 04.06.1987
onder leiding van Prof.dr.ir. J.A.J. Roufs
met begeleiding van Ir. J.A. Pellegrino van Stuyvenberg

SAMENVATTING

Dit is het rapport van een meetstage, verricht door G.H.T. Damen en J.G.M. van der Meer in het kader van hun studie tot elektrotechnisch ingenieur aan de Technische Universiteit Eindhoven. Deze stage is uitgevoerd op het Instituut voor Perceptie Onderzoek (IPO), van 7-9-1986 tot 4-6-87.

Het doel van deze stage was het bepalen van de De-Lange-karakteristieken bij een hoge achtergrondluminantie in een Ganzfeld experiment. Daarnaast werden er ook enkele controlemetingen uitgevoerd, zijnde:

- een meting waarbij de drempel als functie van het aantal aangeboden toppen, met de frequentie als parameter en sinusvormige modulatie, bepaald wordt.
- een meting waarbij de drempel bepaald wordt als functie van het aantal aangeboden rechthoekige pulsen.
- bepaling van de croziër coëfficiënt uit de helling van de psychometrische functie bij het enkele puls experiment.

De vorm van de door ons gemeten De Lange karakteristieken komt overeen met onze verwachtingen.

De gevonden reciproke hellingen (β) zijn normaal te noemen bij het enkele puls experiment. Bij de andere metingen varieerden de β waarden sterk en kwamen niet overeen met de verwachte waarden. Nader onderzoek verdient hier aanbeveling.

Voorwoord

Hierbij willen wij een woord van dank richten aan prof. dr. ir. J.A.J. Roufs, voor het verstrekken van deze stageopdracht en het ons in de gelegenheid stellen tot de uitvoering daarvan.

Ook willen wij bij deze uitdrukking geven aan onze erkentelijkheid jegens ir. J.A. Pellegrino van Stuyvenberg voor de wijze waarop hij ons begeleid heeft.

INHOUDSOPGAVE

<i>Voorwoord</i>		<i>blz 2</i>
<i>Inhoudsopgave</i>		<i>blz 3</i>
<i>Hoofdstuk 1</i>	<i>Inleiding</i>	<i>blz 5</i>
<i>Hoofdstuk 2</i>	<i>Theorie</i>	<i>blz 7</i>
2.1	<i>Model van het menselijke visuele systeem</i>	<i>blz 7</i>
2.2	<i>De De- Langekarakteristieken</i>	<i>blz 9</i>
2.3	<i>Uitbreiding van het model</i>	<i>blz 12</i>
<i>Hoofdstuk 3</i>	<i>Meetopstelling en meetprocedures</i>	<i>blz 16</i>
3.1	<i>Inleiding</i>	<i>blz 16</i>
3.2	<i>Het principe van drempelmetingen</i>	<i>blz 16</i>
3.3	<i>De meetopstelling</i>	<i>blz 18</i>
3.4	<i>De meetprocedures</i>	<i>blz 21</i>
3.4.1	<i>Vorbereidende werkzaamheden</i>	<i>blz 21</i>
3.4.2	<i>Proefpersoon en proefleider</i>	<i>blz 22</i>
3.4.3	<i>Opzet van de metingen</i>	<i>blz 23</i>
3.4.3.1	<i>Meting van de De-Langekrommen</i>	<i>blz 23</i>
3.4.3.2	<i>Drempelmetingen bij sinusoidale stimulus, vaste frequentie en een variabel aantal toppen</i>	<i>blz 24</i>
3.4.3.3	<i>Drempelmetingen bij pulsvormige stimuli</i>	<i>blz 28</i>

Hoofdstuk 4	<i>Resultaten van de metingen</i>	blz 29
4.1	<i>Inleiding</i>	blz 29
4.2.1	<i>Resultaten van de metingen van de De-Lange krommen</i>	blz 30
4.2.2	<i>Resultaten van de drempelmetingen bij sinusvormige stimuli, vaste frequentie en een variabel aantal toppen.</i>	blz 33
4.2.3	<i>Resultaten van de drempelmetingen met pulsvormige stimuli.</i>	blz 42
4.3	<i>Perceptieve verschijnselen</i>	blz 48
Hoofdstuk 5	<i>Conclusies en aanbevelingen</i>	blz 49
5.1	<i>Inleiding</i>	blz 49
5.2.1	<i>Conclusies t.a.v. de resultaten van de meting van de De Lange karakteristieken</i>	blz 49
5.2.2	<i>Conclusies t.a.v. de resultaten van de drempelmetingen bij sinusoidale stimulus, vaste frequentie en een variabel aantal toppen</i>	blz 50
5.2.3	<i>Conclusies t.a.v. de resultaten van de drempelmetingen met pulsvormige stimuli</i>	blz 51
5.3	<i>Resultatenoverzicht β waarden</i>	blz 51
5.4	<i>Constance Stimuli methode versus Two Alternative Forced Choice methode</i>	blz 52
5.5	<i>Aanbevelingen</i>	blz 52
	<i>Literatuurlijst</i>	blz 53
	<i>Lijst van gebruikte meetinstrumenten</i>	blz 55
	<i>Bijlagen</i>	blz 56

Hoofdstuk 1 Inleiding

In het kader van hun doctoraal onderwijsprogramma doen studenten in de electrotechniek een aantal stages. Dit is het verslag van een zgn. meetstage, die is uitgevoerd op het Instituut voor Perceptie Onderzoek (IPO). Dit instituut is een samenwerkingsverband van de Technische Universiteit Eindhoven en het Natuurkundig Laboratorium van Philips.

De Visuele groep, een onderzoeksgroep van het bovengenoemde instituut, houdt zich bezig met onderzoek naar de perceptieve eigenschappen van het menselijke visuele systeem. Zo wordt er in deze vakgroep onderzoek verricht naar o.a. perceptieve beeldkwaliteit van beeldschermen, helderheid en helderheidscontrast van verscheidene lichtbronnen en het in model brengen van het menselijke visuele systeem.

Het onderzoek dat door ons is verricht, heeft betrekking op het bepalen van karakteristieken van het menselijke visuele systeem. De stageopdracht bestaat o.a. uit het meten van een aantal modulatieoverdrachtskarakteristieken, de zogenaamde De-Lange krommen, waarmee de gevoeligheid van het menselijke visuele systeem voor gemoduleerd licht beschreven kan worden. Tevens moest bij pulsvormige modulatie de gevoeligheid worden gemeten als functie van het aantal pulsen, waarbij het ook van belang was om de psychometrische functie bij 1-puls metingen te bepalen. Om de metingen te complementeren werden er tenslotte experimenten gedaan om bij vaste frequentie de gevoeligheid te meten als functie van het aantal toppen van sinusvormig gemoduleerd licht.

Al deze metingen werden uitgevoerd in een " ganzfeld-" experiment bij een hoog luminantieniveau. Dit " ganzfeld-" was bij ons een veld van ongeveer 90 graden.

In dit rapport wordt er eerst ingegaan op de theorie voorzover deze van toepassing is op de opdracht. Daarna worden de door ons gebruikte opstellingen beschreven, welke nodig waren om de experimenten uit te voeren.

In het daaropvolgende hoofdstuk worden de resultaten, die de experimenten hebben opgeleverd, gegeven en besproken. Tenslotte worden er in het laatste hoofdstuk enkele conclusies getrokken en aanbevelingen voor andere experimenten gedaan.

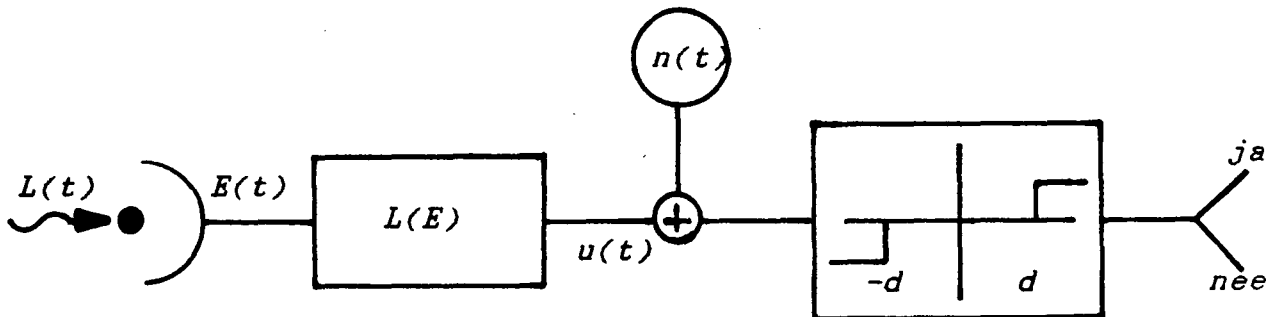
HOOFDSTUK 2 Theorie

In dit hoofdstuk zullen we een uiteenzetting geven over een model dat eigenschappen van het menselijke visuele systeem met betrekking tot gemoduleerd licht weergeeft. Daarbij geven we het principe aan van de manier waarop de meetresultaten in het model ingepast kunnen worden. Tevens geven we een beschrijving van reeds eerder gevonden meetresultaten bij kleinere velden en lagere achtergrondluminanties. Tenslotte behandelen we enkele achtergronden en het hoe en waarom van de experimenten:

- a) waarbij, met de frequentie als parameter, de drempel als functie van het aantal toppen wordt gemeten.
- b) waarbij pulsvormige stimuli worden aangeboden.

2.1 Het model van het menselijke visuele systeem.

Om de eigenschappen van het menselijke visuele systeem met betrekking tot gemoduleerd licht te beschrijven hanteren we het volgende model (Roufs 1972, 1974). Zie hiervoor figuur 1.



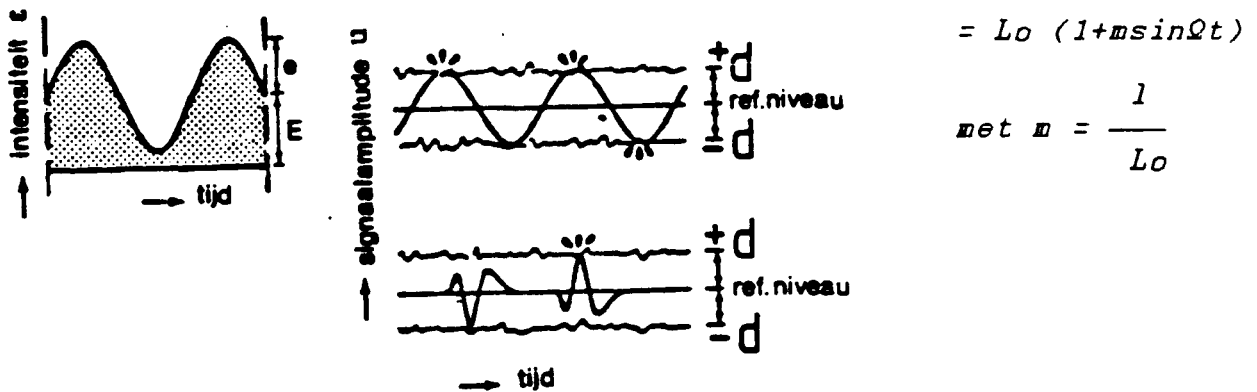
figuur 1 model van het menselijke visuele systeem

We zien dat het oog een tijdafhankelijke stimulus $L(t)$ aangeboden krijgt. De stimulus die het netvlies bereikt wordt uitgedrukt in retinale verlichtingssterkte $E(t)$, en is afhankelijk van het luminantieniveau L en pupiloppervlakte (in mm^2) A_P volgens

$$E(t) = L(t) \times A_P \quad (Td) \quad (\text{Roufs 1984})$$

Het signaal $E(t)$ wordt doorgegeven aan een quasi-lineair (lineair voor voldoende kleine amplitudevariati es in voldoende korte tijd) systeem $L(E)$, welk afhankelijk is van het niveau L . Het uitgangssignaal $u(t)$ wordt samen met de aanwezige ruis $n(t)$ doorgegeven aan een drempeldetector d . Indien het signaal $u(t)$, opgeteld met de ruis, een zekere grens (drempel) overschrijdt, wordt de stimulus gezien, m.a.w. de stimulus wordt gezien.

We beschouwen nu het sinusvormig gemoduleerd lichtsignaal uit figuur 2. We kunnen dit signaal schrijven als $L(t) = L_0 + l \sin \Omega t$



figuur 2 sinusvormig gemoduleerd lichtsignaal

Dit signaal geeft dan een retinale verlichtingssterkte

$$E(t) = E_0 + e \sin(\Omega t) = E_0 (1 + m \sin(\Omega t))$$

Aannemende dat ons systeem $L(E)$ voldoende lineair is kunnen we het uitgangssignaal $u(t)$ als volgt beschrijven:

$$u(t) = e |L(\Omega, E)| \sin(\Omega t - \Phi(\Omega, E))$$

De ruis wordt gaussisch verondersteld, d.w.z. dat de ruis normaal verdeeld is met verwachtingswaarde nul. Tevens wordt ter vereenvoudiging de detectiedrempel gedefinieerd als die waarde waarbij de kans op detectie gelijk is aan 50%. Hierdoor heeft de ruis geen invloed op de drempel. Dit omdat de verwachtingswaarde van de ruis op dit punt gelijk is aan nul.

We zijn geïnteresseerd in de overdrachtsfunctie

$$L(\Omega, E) = |L(\Omega, E)| \exp(-j \Phi(\Omega, E))$$

Bij een kans op detectie van 50% geldt $\max\{u(t)\} = \pm d$

$$\text{dus } e |L(\Omega, E)| = \pm d$$

$$\text{zodat } \left| \frac{L(\Omega, E)}{d} \right| = \frac{1}{e} = \frac{1}{E_0 m(\Omega)}$$

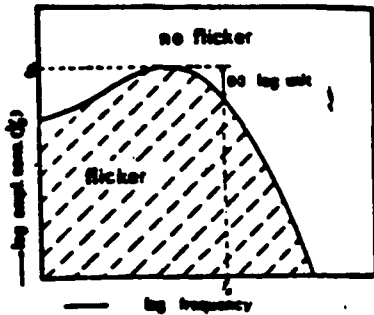
Indien de modulatie diepte $m(\Omega)$ -waarbij de kans op detectie 50% is- gemeten wordt, kan hieruit de gevraagde overdrachtsfunctie

$$\left| \frac{L(\Omega, E)}{d} \right| \text{ experimenteel bepaald worden.}$$

2.2 De De-Lange karakteristieken.

In de vorige paragraaf hebben we gezien dat, aan de hand van drempel metingen, het mogelijk is om karakteristieken van het menselijke visuele systeem te bepalen. Nu is het zo dat H. de Lange (De Lange 1952) veel heeft bijgedragen aan het opstellen van theorieën en uitvoeren van experimenten om inzicht te krijgen in het menselijke visuele systeem.

Hij heeft n.l. een impuls gegeven in de vereenvoudiging van flikker-fusie experimenten door te laten zien dat we de flikkerdrempel van willekeurige periodieke signalen m.b.v. Fourieranalyse kunnen voorspellen uit de flikkerfusiecurven voor harmonisch gemoduleerd licht (wel met dezelfde achtergrondluminantie). Daarbij is dan alleen de responsie voor de grondfrequentie van belang, doordat de 2e en hogere harmonischen al zodanig zijn verzwakt dat hun invloed verwaarloosd kan worden. Het is dan ook niet zo verwonderlijk dat modulatie(frequentie)overdrachtskarakteristieken van het menselijke visuele systeem naar hem genoemd zijn. In figuur 3 is zo'n De-Lange kromme weergegeven.



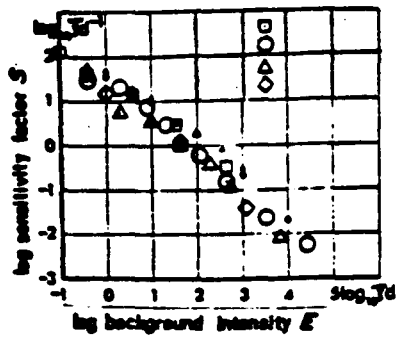
figuur 3 een De-Langekarakteristiek waarin de amplitude-gevoeligheid uitgezet is tegen de frequentie

We merken op dat de kromme globaal door 2 punten gekarakteriseerd kan worden.

1) De afsnijfrequentie f_h : aan de hoogfrequent kant wordt de afsnijfrequentie f_h gedefinieerd als die frequentie waarbij de modulatiegevoeligheid tot de helft van de maximale waarde is gedaald.

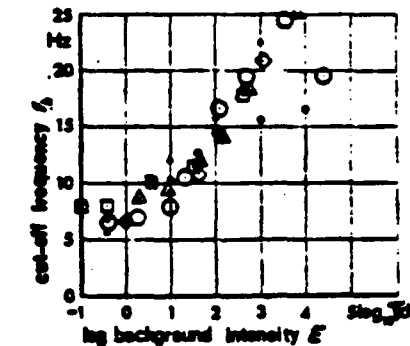
2) De gevoeligheidsfactor S : de top van de grafiek, waarbij de gevoeligheid het hoogst is wordt de gevoeligheidsfactor S genoemd.

Ook is het zo dat deze gevoeligheidsfactor S afhankelijk is van de achtergrondluminantie en wel zo dat bij een toenemende achtergrondluminantie de absolute gevoeligheidsfactor S afneemt. Het visuele systeem wordt dus bij een toenemend achtergrondniveau ongevoeliger. Figuur 4 geeft dit weer.



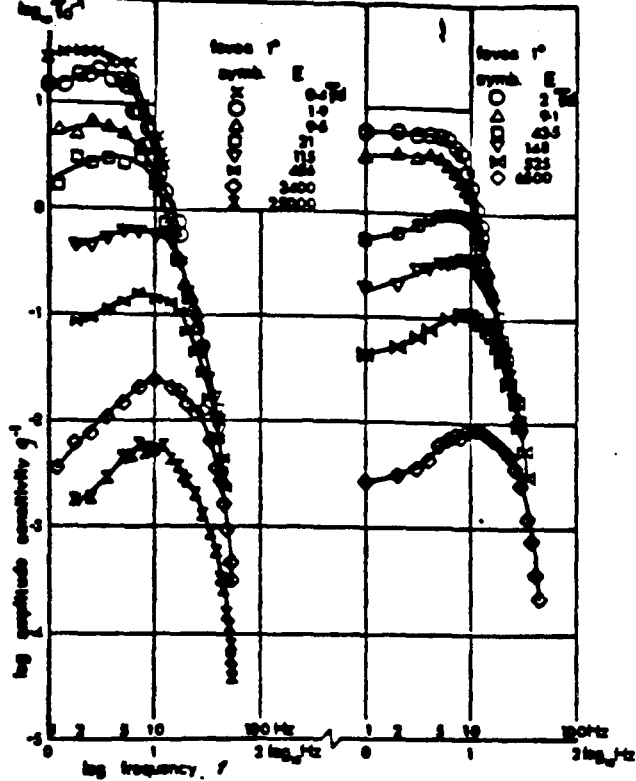
figuur 4 gevoeligheidsfactor S als functie van de achtergrondluminantie (Roufs 1971)

Verder is het zo dat de afsnijfrequentie f_n met toenemende achtergrondintensiteit ook toeneemt. Het visuele systeem wordt dan dus sneller. Zie hiervoor figuur 5.



figuur 5 afsnijfrequentie als functie van de achtergrondluminantie (Roufs 1971)

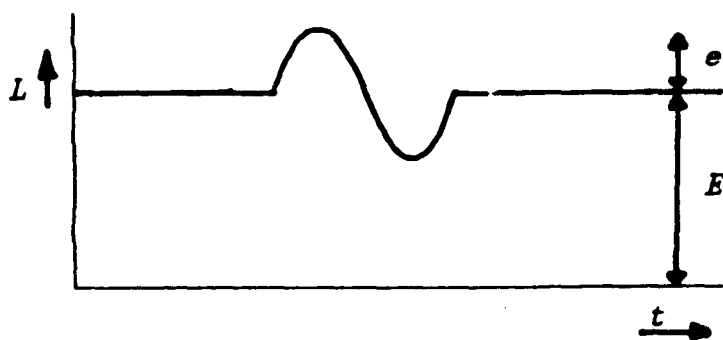
We zien dus dat de De-Langekarakteristieken bij een toenemende achtergrondluminantie een verschuiving naar beneden en naar rechts zullen vertonen. In figuur 6 is dit te zien.



figuur 6 De-Lange karakteristieken voor twee proefpersonen. Kenmerkend is dat bij toenemende achtergrondluminantie een verschuiving naar beneden en naar rechts plaatsvindt. (Roufs 1971)

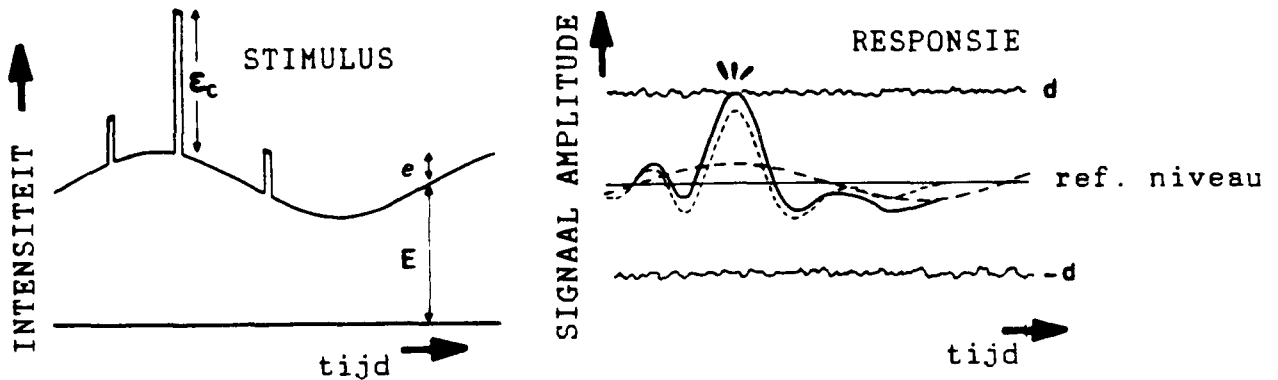
2.3 Uitbreiding van het model.

De De-Lange krommen die in de vorige paragraaf behandeld zijn verschaffen ons informatie over het menselijke visuele systeem, echter voor het bepalen van de temporele overdrachtsfunctie is het wenselijk dat we de responsie van een enkelvoudige sinus te weten komen. Zie figuur 7.



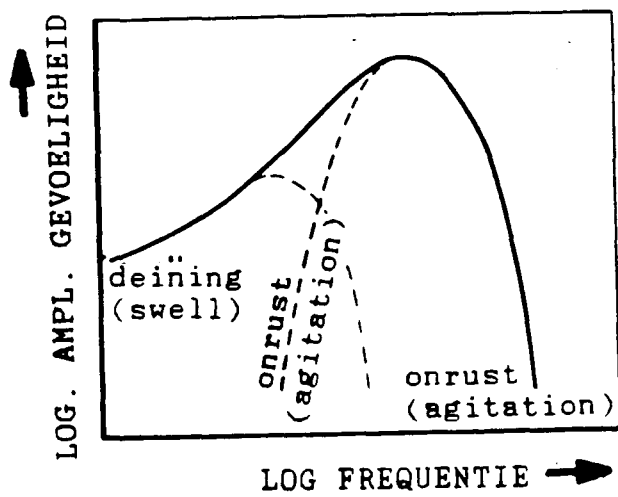
figuur 7 een enkelvoudige sinus

Deze responsie is niet zonder meer te meten, daar de resultaten van de enkele-sinus metingen verstoord worden door geïntroduceerde inschakelverschijnselen. Om deze responsie te meten zijn speciale methoden vereist. Zo hebben Roufs en Pellegrino (1976) de volgende meting uitgevoerd om de responsie van een enkele sinus te weten te komen: Op een onderdrempelig sinusvormige modulatie wordt een puls gesuperponeerd (zie figuur 8).



figuur 8 zie tekst

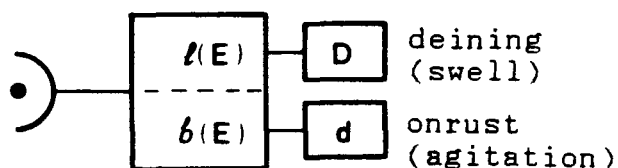
Door de puls in een bepaalde fase van de sinus te zetten en de drempel te registreren kan de enkele sinus afgetast worden. Als zo de responsie van enkele sinussen met verschillende frequenties gemeten worden kan de enkelvoudige-sinus karakteristiek bepaald worden. In de praktijk komt zo'n karakteristiek er als in figuur 9 uit te zien.



figuur 9 een De-Lange karakteristiek, opgebouwd uit een laagdoorlaat- en banddoorlaatfilter

Opmerkelijk hierbij is dat deze kromme een andere vorm heeft dan de ons bekende De-Langekromme. Roufs en Pellegrino verklaren dit door uit te gaan van twee verschillende detectiemechanismen. (zie figuur 10), waarbij LDF de overdracht weergeeft voor lage frequenties, overeenkomend met de perceptieve gewaarwording "deining" (swell). Het BDF geeft de overdracht van het systeem voor hoge frequenties weer. Dit komt overeen met het perceptieve verschijnsel "onrust"

(agitation). Als we de overdracht van het systeem voor hoge en lage frequenties samen bekijken, ontstaat de ons wel bekende De-Langekromme, zoals in figuur 9 is weergegeven.



figuur 10 de laagdoorlaat- en banddoorlaatdetectiemechanismen

Nu is het zo dat de bovenstaande meting alleen de werking van het banddoorlaatfilter registreerd.

De De-Langekrommen uit de vorige paragraaf zijn dus niet de resultaten van de enkelvoudige-sinus metingen, maar van drempelmetingen waarbij de stimuli gedurende een vaste tijd werden aangeboden (zonder inschakelverschijnsel). Deze vaste stimulustijd brengt met zich mee dat het aantal toppen per frequentie verschilt. Omdat de kans op stimulusdetectie groter wordt als het aantal toppen toeneemt kunnen we stellen dat een De Lange kromme niet de feitelijke enkelvoudige-sinus drempelwaarde weergeeft, en deze krommen dus niet voldoende informatie geven om de temporele overdrachtsfunctie te bepalen. Om nu toch uit de (door ons gemeten) de-Langekrommen enige uitspraken te kunnen doen voor de enkelvoudige-sinusresponsie, doen we voor enige vaste frequenties drempelmetingen als functie van het aantal toppen. Door extrapolatie kan dan de modulatie diepte gevonden worden van de enkelvoudige-sinus meting. We gaan er hier van uit dat de afval van de drempel bij verlaging van het aantal toppen puur een stochastisch verschijnsel is.

Voor een theoretisch uitwerking zie Boot (1987).

Om dit te controleren wordt er een meting uitgevoerd waarbij de drempel wordt bepaald als functie van het aantal pulsen.

De hellingen $\frac{d \log \epsilon_n}{d \log n} = - \frac{1}{\beta}$ moeten bij deze experimenten

(experiment met gepoorte sinus en variabel aantal toppen, en het pulsexperiment) met elkaar overeenkomen. Tevens kan de gevonden gecontroleerd worden met de helling van de psychometrische functie bij het enkele-puls experiment. Hierbij bestaat n.l. de

$$\text{relatie } \beta = 1.15 \times \frac{\epsilon}{\sigma}$$

$$\text{waarbij } \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{1}{2 \times 21.8 \times \left(\frac{dp}{dv}\right) \quad p = \frac{3}{4}}$$

Hierbij is $\frac{dp}{dv}$ de helling van de psychometrische functie bij het

enkele-puls experiment, althans bij een Two Alternative Forced choice experiment.

Hoofdstuk 3 Meetopstelling en meetprocedures

3.1 Inleiding

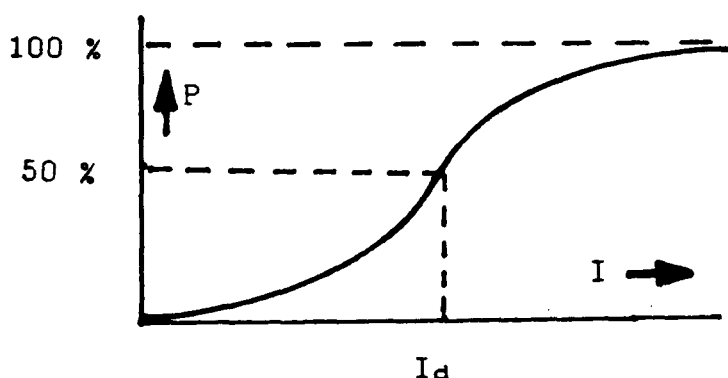
Zoals we in hoofdstuk 2 hebben laten zien is het wenselijk om de volgende metingen uit te voeren, en wel in een "ganzfeld" experiment bij een hoge achtergrondluminantie:

- het experimenteel bepalen van de De-Langekromme met sinusvormige stimuli en onbeperkte inspectietijd.
- bij een aantal geschikt gekozen frequenties de drempel bepalen als functie van het aantal toppen van sinusvormige stimuli.
- het bepalen van de drempel als functie van het aantal toppen (=pulsen) bij aanbieding van pulsvormige stimuli.
- de bepaling van de psychometrische functie in een enkelvoudig pulsexperiment (stimulus is èèn puls).

In dit hoofdstuk beschrijven we de meetopstelling, welke gebruikt is om de bovenstaande metingen uit te voeren, en geven we de gevolgde meetprocedures. Eerst beschouwen we echter het principe van drempelmetingen, in het bijzonder drempelmetingen waarbij gebruik wordt gemaakt van de zogenaamde *Two Alternative Forced choice methode* (kortweg TAF).

3.2 Het principe van drempelmetingen

In de psychofysica is het gebruikelijk modellen op te stellen aan de hand van drempelmetingen: Een proefpersoon krijgt een



aantal malen een stimulus aangeboden waarbij de stimulussterkte wordt gevarieerd. De proefpersoon moet dan zeggen of hij de aangeboden stimulus al of niet heeft waargenomen. We kunnen in een grafiek het percentage waargenomen

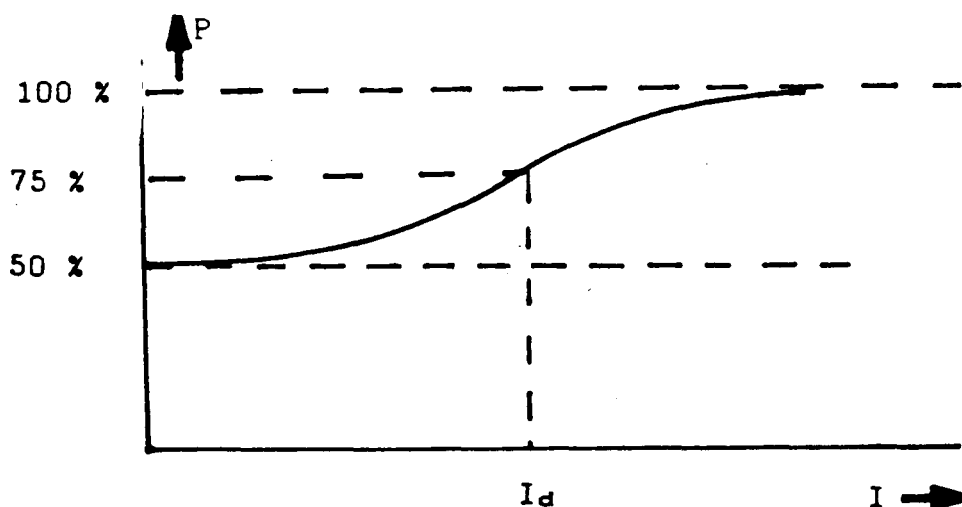
figuur 11 een psychometrische kromme

stimuli P uitzetten tegen de stimulussterkte I en komen dan tot een kromme zoals in figuur 11. Zo'n kromme heet een psychometrische kromme. De drempelwaarde I_d wordt gedefinieerd als die waarde van

de stimulussterkte waarbij de proefpersoon precies de helft van de aangeboden stimuli heeft waargenomen.

De methode zoals hierboven beschreven is staat bekend als de constante stimuli methode. Een nadeel van deze methode is dat de inleerperiode relatief veel tijd kost.

Daarom hebben wij onze metingen met de TAF methode uitgevoerd. Bij deze methode worden twee tijdsintervallen akoestisch gemarkeerd waarbij in een van deze tijdsintervallen de stimulus aangeboden wordt. De proefpersoon moet dan kiezen voor het interval waarin hij denkt de stimulus te hebben waargenomen. Bij de TAF methode is de kans dat bij toeval het goede interval gekozen wordt, terwijl er niets is gedetecteerd, gelijk aan 50%. Daarom loopt de psychometrische kromme niet van 0% naar 100%, maar van 50% naar 100%. Zie hiervoor figuur 12.



figuur 12 psychometrische functie bij gebruik van de TAF methode

De 50% drempelwaarde I_d , waarvan sprake was bij de constante stimuli methode, is bij gebruik van de TAF methode verschoven naar de 75% grens. Dit geldt wel alleen onder de voorwaarde dat de proefpersoon geen onzuiverheid introduceert door speciale voorkeur voor een van de intervallen, of door het stimulus bevattende interval volgens toeval te variëren.

Zoals uit deze figuur blijkt en ook mathematisch kan worden aangetoond, bedraagt de helling bij gebruik van de TAF methode op drempelniveau, de helft van de helling op drempelniveau bij gebruik van de constante stimuli methode. Bij het verwerken van de meetresultaten van de enkele-puls experimenten zullen we daarmee rekening moeten houden.

3.3 De Meetopstelling

Om de metingen, zoals die o.a. in paragraaf 3.1 geformuleerd zijn, uit te kunnen voeren, hebben we de beschikking over de volgende meetopstelling die in figuur 13 schematisch is weergegeven.

Linksboven in de figuur zien we een blok waarin de mogelijkheid bestaat om een sinusvormig signaal op te wekken waarbij de volgende parameters ingesteld kunnen worden:

- frequentie van het sinusvormig signaal
- tijdsduur van het TAF interval
- stimulusduur
- intervalkeuze

In figuur 14 is zo'n sinusvormig signaal weergegeven. Hierin is duidelijk te zien dat het signaal is gepoort. Dit om inschakelverschijnselen te elimineren.

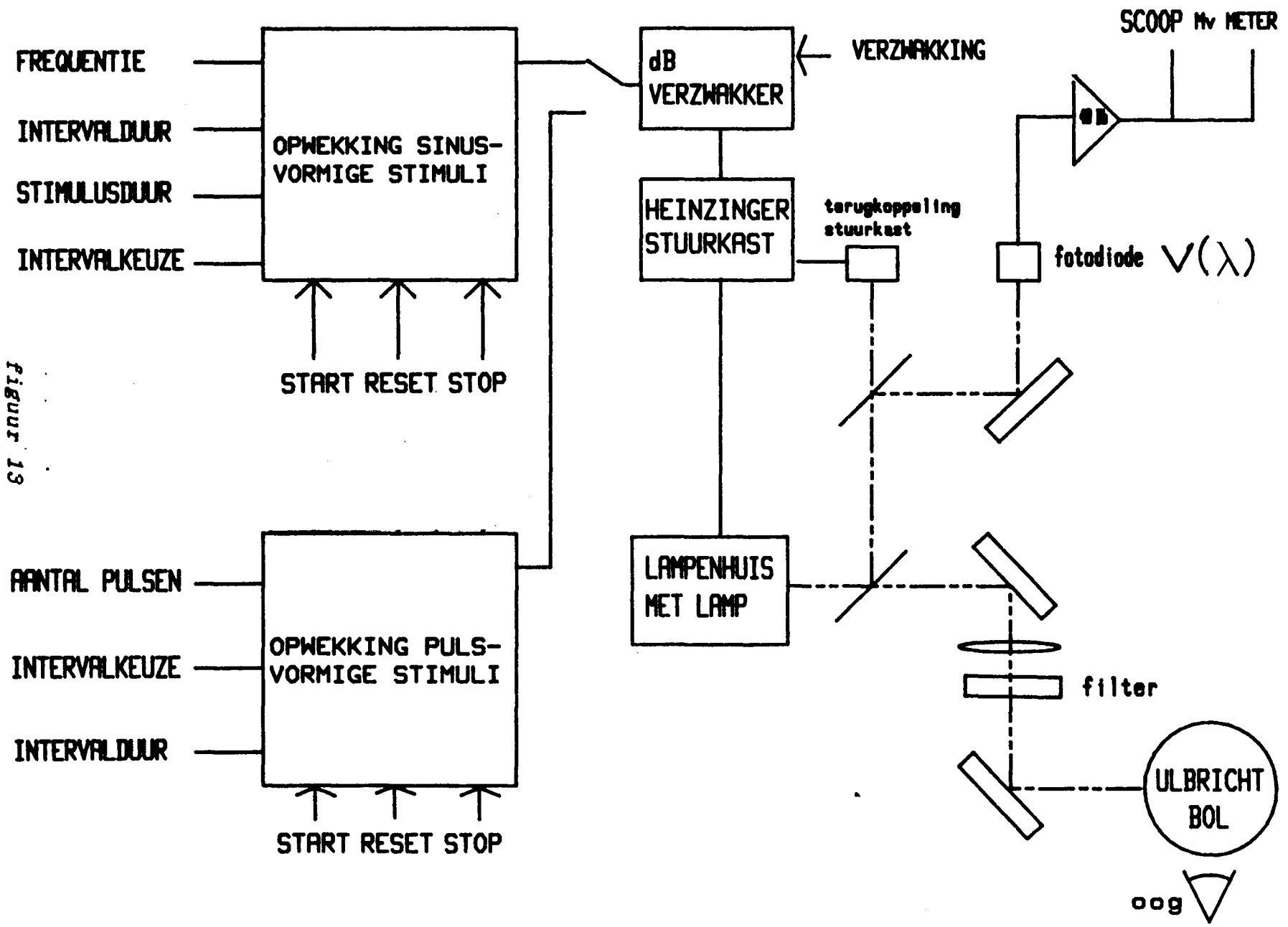
Daaronder staat het blok waarmee pulsvormige stimuli gegenereerd worden. Bij dit blok kunnen we de volgende parameters instellen:

- aantal pulsen
- tijdsduur van het TAF interval
- intervalkeuze

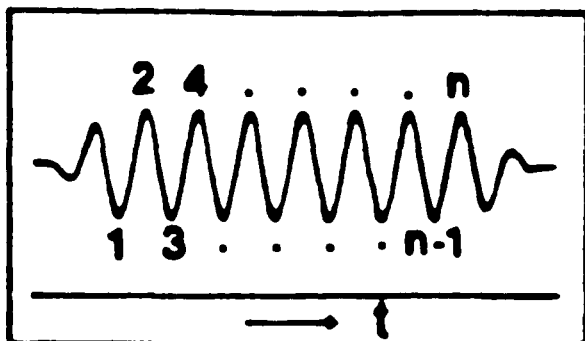
en tevens pulsduur en de tijd tussen pulsen; bij onze experimenten zijn deze grootheden echter vast gekozen.

In figuur 15 is een voorbeeld van een pulsvormige stimulus gegeven.

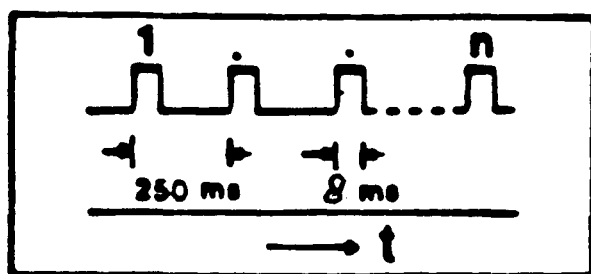
De in de bovenstaande blokken opgewekte signalen worden via een verzwakker (met instelbare dB-verzwakking) op een stuurkast aangesloten, die op zijn beurt een Xenonlamp aanstuurt.



Figuur 19



figuur 14 voorbeeld van een sinusvormige stimulus



figuur 15 voorbeeld van een pulsvormige stimulus

Een optische opstelling zorgt er voor dat het door de lamp uitgestraalde licht in een Ulbrichtbol terecht komt. De laatste schakel in deze keten is de proefpersoon die door een gat in de Ulbrichtbol kijkt naar het al dan niet gemoduleerde licht. Deze proefpersoon heeft daarbij de mogelijkheid om de meting naar eigen wens te starten of te stoppen.

Naast de genoemde onderdelen is er in de optische opstelling een fotodiode geplaatst die een spanning opwekt welke evenredig is met de lichtsterkte van de lamp. Door deze te versterken kan deze spanning gemeten worden met een voltmeter en tevens kan het signaal bekeken worden op een oscilloscoop. Omdat we ook de beschikking hadden over een Pritchard luminantiemeter konden de gemeten spanningen worden gerelateerd aan luminantieniveau's. Een tweede fotodiode levert een spanning die gebruikt wordt als terugkoppelsignaal voor de stuorkast t.b.v. linearisatie.

Met deze opstelling is het dus mogelijk om alle gewenste signalen op te wekken, te meten en de door ons gemeten drempelwaarden terug te rekenen naar modulatie diepten bij zekere achtergrondluminanties. Voor gedetailleerde beschrijvingen van de verschillende onderdelen van de meetopstelling verwijzen we naar Bierens (1986).

3.4 De meetprocedures

3.4.1 Voorbereidende werkzaamheden

Alvorens de werkelijke drempelmetingen uitgevoerd konden worden moest er een afregeling en ijking van de meetopstelling plaatsvinden. Zo werd de stuurkast voor de lamp zo ingesteld dat er bij een verzwakking vanaf 3 dB er geen noemenswaardige vervorming optrad. Dit bij een zo groot mogelijke lichtopbrengst. Tevens werd de optische opstelling afgeregeld op een zo'n hoog mogelijk luminantieniveau in de Ulbrichtbol. Nadat dit gebeurd was werd er voor de metingen met een sinusoidale stimulus een ijktabel opgesteld, waarin als functie van de ingestelde frequentie en de verzwakking de spanning, afkomstig van de fotodiode en versterkt door een 40 dB versterker, uitgezet. Aan de hand van deze tabel kan er bij elke frequentie- en verzwakkerstand precies de modulatie diepte berekend worden. Om dezelfde reden werd er voor de metingen met pulsvormige stimuli ook een tabel opgesteld, waar de gemeten topwaarde van de versterkte fotodiodespanning als functie van de verzwakkerstand werd uitgezet. Bij deze pulsen trad er geen noemenswaardige vervorming op.

Voorafgaande aan de metingen werden pilotexperimenten gedaan om globale waarden te bepalen van de drempelniveaus.

3.4.2 Proefpersoon en proefleider

Bij de uitvoering van de drempelmetingen waren er steeds twee personen nodig n.l. een proefleider (pl) en een proefpersoon (pp).

De taak van de proefleider bestaat gedurende het experiment uit het verzorgen van apparatuurinstellingen en registreren van pp:

- Afhankelijk van de soort meting stelt hij de parameters in zoals frequentie, aantal pulsen, intervaltijd, verzwakking en intervalkeuze.
- tijdens de metingen controleren of de stimulus wel werkelijk optreedt.
- noteert de antwoorden van de proefpersoon op een resultatenlijst en vermeld evt. perceptieve verschijnselen.

De proefpersoon beoordeelt in het algemeen de stimulus:

- het starten van de stimulus.
- het beoordelen van de stimulus.
- antwoord geven d.w.z. het interval noemen waarin hij denkt de stimulus te hebben waargenomen.
- daarnaast moest hij vermelden welke perceptieve verschijnselen er optreden bij waarneming van de stimulus.

Gegevens van de proefpersonen:

Gerd Damen (pp GD) : leeftijd 24 jaar,
visus = 0,3 (zonder bril). Geen
bril gebruikt bij de metingen. Geen
psychofysische ervaring.

Jos v/d Meer (pp JM) : leeftijd 25 jaar,
visus = 0,8. Geen psychofysische
ervaring.

Fixatiepunt : Zwart puntje in de Ulbrichtbol,
waarop de proefpersonen gefixeerd
bleven tijdens de metingen.

3.4.2 Opzet van de metingen

In de volgende subparagrafen nemen we voor de afzonderlijke metingen de gevolgde meetprocedures door.

3.4.2.1 Meting van de De-Langekrommen

Om de De-Langekrommes te meten bekijken we het relevante frequentiegebied van 1 tot 80 Hz. In dit interval hebben we 15 geschikte frequenties gekozen. Bij elke frequentie moet de modulatie diepte, behorende bij de drempel, bepaald worden. Om statistische bewerkingen op de resultaten te kunnen uitvoeren hebben we bij elke frequentie 3 maal de drempel gemeten. Wegens de lengte van de uit te voeren drempel metingen is het niet mogelijk de gevraagde 3 x 15 modulatie dieptes op één dag te meten. Aangezien de drempel per dag sterk kan verschillen is het wenselijk dat een volledige kromme (15 frequenties) wel op één dag gemeten wordt. In de praktijk blijkt dit net haalbaar. Ook is het zo dat de drempel binnen een dag verloopt. Om dit verschijnsel te compenseren voeren we de metingen in counterbalance (c.b.) uit. Verder kiezen we de meetvolgorde van de te meten frequenties willekeurig (wil.) d.m.v. loting. Zo komen we tot de volgende meetschema's welke in onderstaande tabellen zijn opgenomen:

TABEL 1

pp GD																
tijd	volg	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1e dag	wil.	125	60	5	25	70	50	1	80	10	40	30	16	20	25	8
2e dag	c.b.	8	25	20	16	30	40	10	80	1	50	70	25	5	60	125
3e dag	wil.	80	1	10	50	40	70	30	25	16	5	20	60	25	125	10

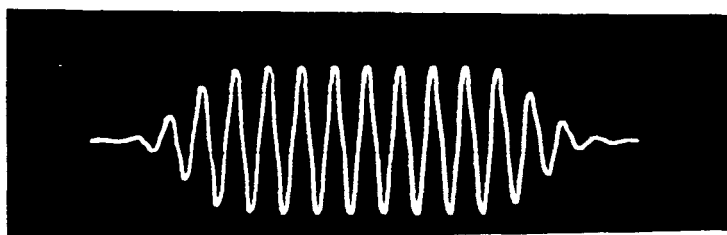
TABEL 2

pp JM																
tijd	volg	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1e dag	wil.	8	70	10	25	16	20	30	50	5	60	80	40	125	25	1
2e dag	c.b.	1	25	125	40	80	60	5	50	30	20	16	25	10	70	8
3e dag	wil.	50	5	30	60	20	80	16	40	25	125	10	25	70	1	8

Deze metingen werden uitgevoerd met een ongelimiteerde inspectietijd, d.w.z. dat de proefpersoon net zo lang mag kijken als hij concentratie en fixatie kan vasthouden. In de praktijk komt het er op neer dat de intervalduur (voor alle frequenties) op 4 seconde ingesteld is met een stimulusduur van 3 seconde. Een langere tijd zou geen zin hebben omdat men zich in het algemeen niet veel langer kan concentreren.

3.4.3.2 Drempelmetingen bij sinusoidale stimulus, vaste frequentie en een variabel aantal toppen

Het aantal toppen van een stimulus is in te stellen m.b.v. een functiegenerator, waarmee de stimulusduur (en dus ook het aantal toppen) te regelen is. Deze poortfunctiegenerator heeft de volgende overdracht (zie figuur 16).



figuur 16 de omhullende geeft de poortfunctie aan

Voor dit experiment hebben we drie frequenties gekozen welke voldeden aan de volgende voorwaarden:

- redelijk verdeeld over het relevante frequentiegebied
- niet te lage frequenties door dat dan bij een groot aantal toppen de inspectietijd te lang zou worden.
- niet te hoge frequenties door dat dan bij een klein aantal toppen de inspectietijd te kort zou worden, waardoor er een inschakelverschijnsel zou kunnen optreden.

In tabel 3 is weergegeven welke frequenties er gemeten zijn met het bijbehorend aantal toppen, waarbij een periode 2 toppen bevat vanwege het symmetrisch detectiemechanisme. In deze tabel staan telkens drie waarden die aangeven wat de geldende waarden van de duur van de poortfunctie (in ms), de duur van de sinus (in ms) en de intervalduur (in s) zijn.

TABEL 3

$f(\text{Hz})$	n	2	4	8	16	32	64	128	256
5	nvt		65	105	185	345	nvt	nvt	nvt
			100	200	250	400			
			1,5	2,0	2,5	4,0			
12,5	nvt	nvt		57	89	153	281	nvt	nvt
				100	200	200	350		
				1,5	1,5	2,5	3,5		
40	nvt	nvt	nvt	nvt		65	105	185	345
						100	150	250	400
						1,5	2,0	2,5	4,0

Hierbij hebben we de volgende berekeningen gehanteerd:

$$- \text{ duur poortfunctie} = 250 + \frac{\text{aantal toppen}}{2} \times \frac{1}{f}$$

waarbij 250 de aanlooptijd van de functiegenerator in ms is.

$$- \text{ duur intervaltijd} = 0.35 + \text{ duur poortfunctie, en dan afgerond op hele of halve seconden.}$$

waarbij 0.35 de vertragingstijd is die in de startschakeling is ingebouwd.

- duur sinus is zo ingesteld dat er een sinus wordt gegenereerd, zolang de poort niet dicht is.

Voor de proefpersonen hebben we, op dezelfde manier als bij de meting van de De-Langekrommen, ook voor deze meting de volgende meetschema's opgesteld, die hieronder worden gegeven:

TABEL 4

PP GD						
volgnr	1e meting		2e meting		3e meting	
	freq	toppen	freq	toppen	freq	toppen
1	40	256	12,5	16	5	8
2	40	64	12,5	8	5	4
3	40	128	12,5	64	5	16
4	40	32	12,5	32	5	32
5	5	16	5	4	40	128
6	5	32	5	8	40	32
7	5	8	5	32	40	256
8	5	4	5	16	40	64
9	12,5	32	40	32	12,5	8
10	12,5	64	40	128	12,5	16
11	12,5	8	40	64	12,5	32
12	12,5	16	40	256	12,5	64

TABEL 5

PP JM						
volgnr	1e meting		2e meting		3e meting	
	freq	toppen	freq	toppen	freq	toppen
1	12,5	16	40	256	5	4
2	12,5	8	40	64	5	16
3	12,5	32	40	32	5	32
4	12,5	64	40	128	5	8
5	5	8	5	32	12,5	32
6	5	16	5	4	12,5	8
7	5	4	5	16	12,5	16
8	5	32	5	8	12,5	64
9	40	128	12,5	64	40	64
10	40	32	12,5	32	40	32
11	40	64	12,5	8	40	128
12	40	256	12,5	16	40	256

3.4.3.3 Drempelmetingen bij pulsvormige stimuli

De pulsmetingen kunnen we in twee delen splitsen:

1) De metingen waarbij de drempel wordt gemeten als functie van het aantal pulsen.

2) De enkelvoudige pulsmeting

ad 1) Voor deze meting is het van belang om over onafhankelijke pulsen te kunnen beschikken. Het gaat hier om een n-voudige kans op detectie van een puls. Pulsen zijn onafhankelijk van elkaar als deze pulsen verder als 0.250 sec van elkaar verwijderd zijn. Verder is de pulsbreedte binnen zekere grenzen vrij te kiezen. Wij hebben deze gekozen op 8 ms. Dit is een redelijke, niet te grote waarde. Een kleinere waarde zou een significante afwijking in de pulsvorm geven, zoals na controle met de oscilloscoop bleek. Wegens begrenzing van de maximale inspectietijd van de pp. hebben we het maximum aantal toppen op 16 gesteld. Dit komt overeen met een maximale inspectietijd van 4.5 sec.

ad2) De enkele puls meting is voor elke proefpersoon 12 maal uitgevoerd. Dit om een hogere nauwkeurigheid van het gemiddelde te krijgen bij de resultaten van deze meting.

Hoofdstuk 4

4.1 Inleiding

In de vorige hoofdstukken hebben we de voorbereidingen op de metingen en de meetprocedures besproken. De meetgegevens die uit de uitgevoerde metingen resulteren; de meetresultaten hebben we in dit hoofdstuk verwerkt tot beter hanteerbare en interpreteerbare gegevens.

De "rauwe" meetgegevens, zijnde de detectiewaarschijnlijkheid bij een bepaalde frequentie cq aantal toppen van een bepaalde frequentie cq aantal pulsen, vormen de psychometrische kromme (zie hoofdstuk 2). Wij benaderen deze krommes op half logaritmische maatstaf (dB's) met een rechte lijn, omdat

- de kromme symmetrisch is.
- de afwijking van de rechte lijn en de kromme bij de drempelwaarde relatief gezien niet erg groot is.

Vervolgens bepalen we de dB-waarde waarbij de detectiekans 75% is (zie TAF methode hoofdstuk 2). D.m.v. ijking kunnen we de modulatie diepte bij de betreffende stimulus bepalen. Zoals reeds eerder vermeld is, zijn de metingen driemaal herhaald, dus elke stimulusconfiguratie is driemaal gemeten, hetgeen resulteerde in drie modulatie diepten per bepaalde frequentie cq hoeveelheid toppen van een bepaalde frequentie cq hoeveelheid pulsen. Deze drie modulatie diepten worden nu gemiddeld op de volgende manier:

$$m = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{3}$$

De standaard deviatie van het gemiddelde (σ) is:

$$\sigma_{\text{gem}} = \sqrt{\frac{\sum (m_i - m)^2}{n(n-1)}} \quad \text{met } n = 3.$$

Uiteindelijk kunnen uit deze gegevens de afgeleide grootheden

β en $\frac{\sigma_{\beta}}{\epsilon}$ bepaald worden. Zie ook Bijlage A.

4.2.1 Resultaten van de metingen van de De-Langekrommen

De resultaten van de metingen van De De-Langekrommen zijn uitgezet in grafiek 1 voor pp GD en in grafiek 2 voor pp JM. Zoals reeds is vermeld is elk punt tot stand gekomen uit het gemiddelde van drie afzonderlijk gemeten punten per frequentie. In die grafieken is aan beide zijden twee maal de standaarddeviatie σ van het gemiddelde uitgezet. Dit om te komen tot een 95% betrouwbaarheidsinterval (bij een cumulatief normale verdeling).

De numerieke gegevens van deze meting waaronder de drie drempelwaarden per frequentie afzonderlijk, de gemiddelde drempel per frequentie en de standaarddeviatie per frequentie zijn in tabelvorm uitgezet in tabel 6 voor pp GD en in tabel 7 voor pp JM.

TABEL 6 De-Langekromme: pp GD

$L = 5000 \text{ cd/m}^2$
gem.pupildiam. = 2 mm²

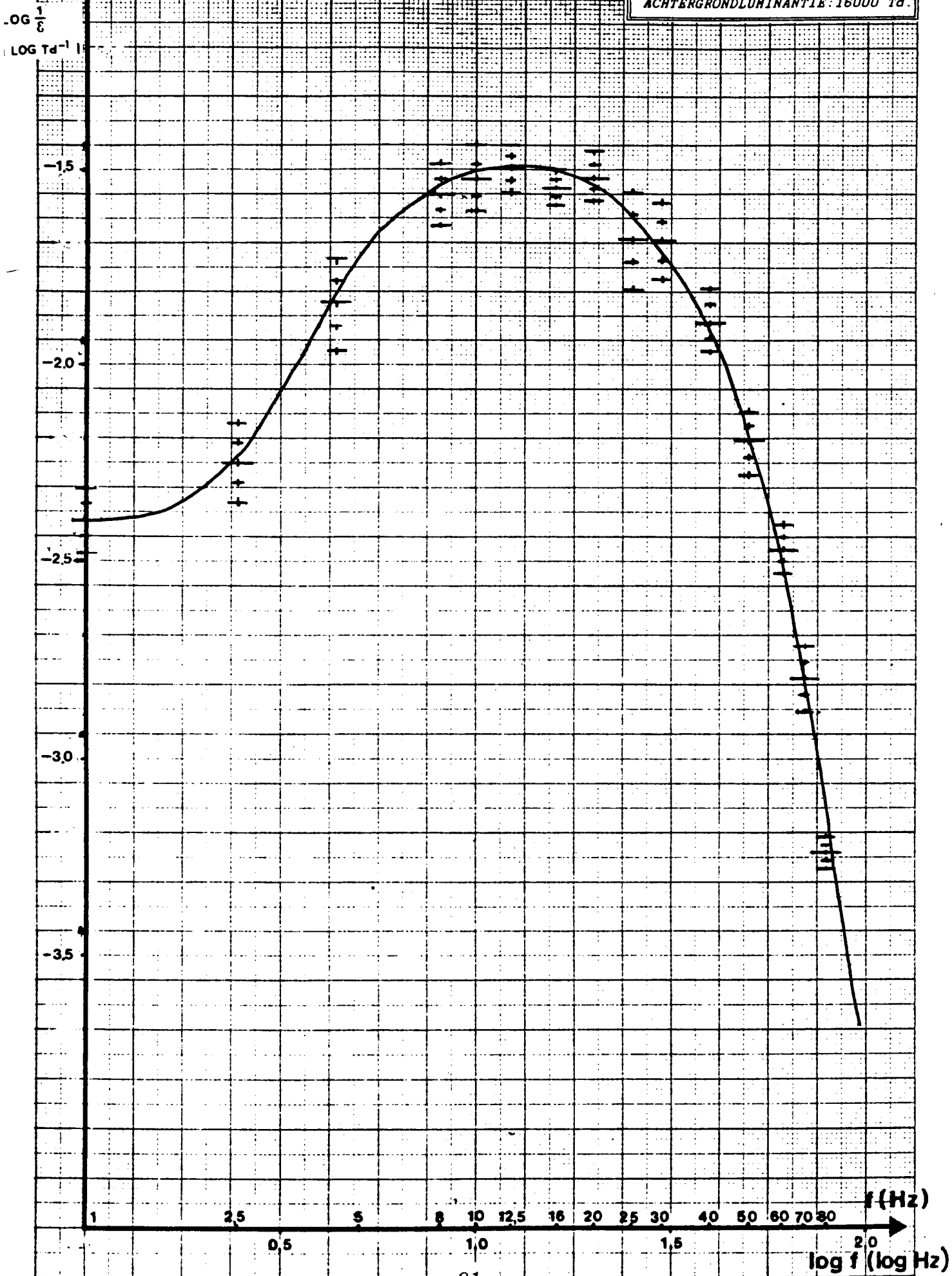
freq(Hz)	loge1	loge2	loge3	loge(gem)	SDloge(gem)
	waarbij de eenheid van loge = log Td.				
1	2.34	2.46	2.42	2.41	0.04
2.5	2.15	2.29	2.30	2.25	0.05
5	1.98	1.79	1.81	1.86	0.06
8	1.53	1.67	1.55	1.58	0.04
10	1.62	1.49	1.52	1.54	0.04
12.5	1.57	1.49	1.47	1.51	0.03
16	1.55	1.52	1.60	1.56	0.02
20	1.58	1.49	1.52	1.53	0.03
25	1.68	1.76	1.58	1.69	0.06
30	1.71	1.59	1.76	1.69	0.05
40	1.91	1.83	1.96	1.90	0.04
50	2.26	2.25	2.13	2.21	0.04
60	2.51	2.51	2.24	2,48	0.03
70	2.77	*	2.85	2.81	0.04
80	3.29	2.23	2.23	2.25	0.02

GRAFIEK 1

DE-LANGEKROMME

pp: GD

ACHTERGRONDLUMINANTIE: 16000 Td.



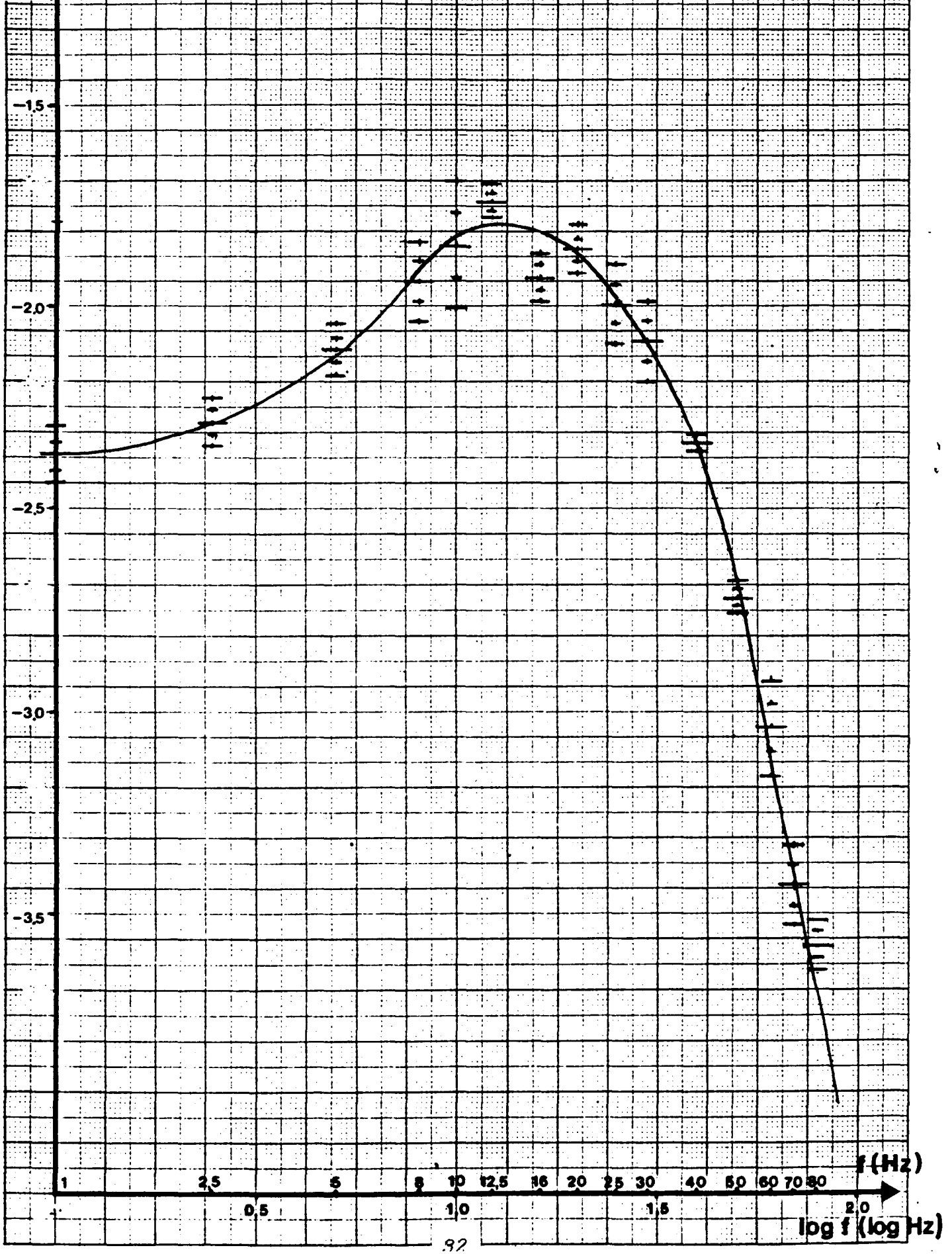
GRAFIEK 2

DE-LANGEKROMME

PP: JM

ACHTERGRONDLUMINANTIE: 16000 Td

$-\text{OG } \frac{1}{\epsilon}$
 LOG Td^{-1}



TABEL 7 De De-Langekromme: pp JM

$L = 5000 \text{ cd/m}^2$
 gem.pupildiam. = 2 mm²

freq(Hz)	loge1	loge2	loge3	loge(gem)	SDloge(gem)
	waarbij de eenheid van loge = log Td.				
1	2.24	2.32	2.40	2.38	0.03
2.5	2.30	2.21	2.30	2.30	0.30
5	2.16	2.07	2.12	2.12	0.03
8	2.00	1.99	1.86	1.95	0.05
10	1.85	1.71	1.97	1.86	0.08
12.5	1.77	1.76	1.71	1.75	0.02
16	1.95	1.87	1.98	1.94	0.03
20	1.81	1.86	1.93	1.87	0.03
25	2.09	1.93	2.00	2.01	0.05
30	2.19	2.08	2.01	2.10	0.05
40	2.34	2.34	2.36	2.35	0.01
50	2.74	2.76	2.69	2.73	0.02
60	3.07	3.13	2.93	3.05	0.06
70	3.50	3.46	3.34	3.44	0.05
80	3.64	3.53	3.58	3.59	0.03

4.2.2 Resultaten van de drempelmetingen bij sinusoidale stimuli, vaste frequentie en een variabel aantal toppen.

De resultaten van deze drempelmetingen zijn weergegeven in de grafieken 3 t/m 8. De numerieke gegevens van deze meting zijn terug te vinden in een aantal tabellen. Voor een overzicht zie tabel 8 op de volgende bladzijde.

TABEL 8

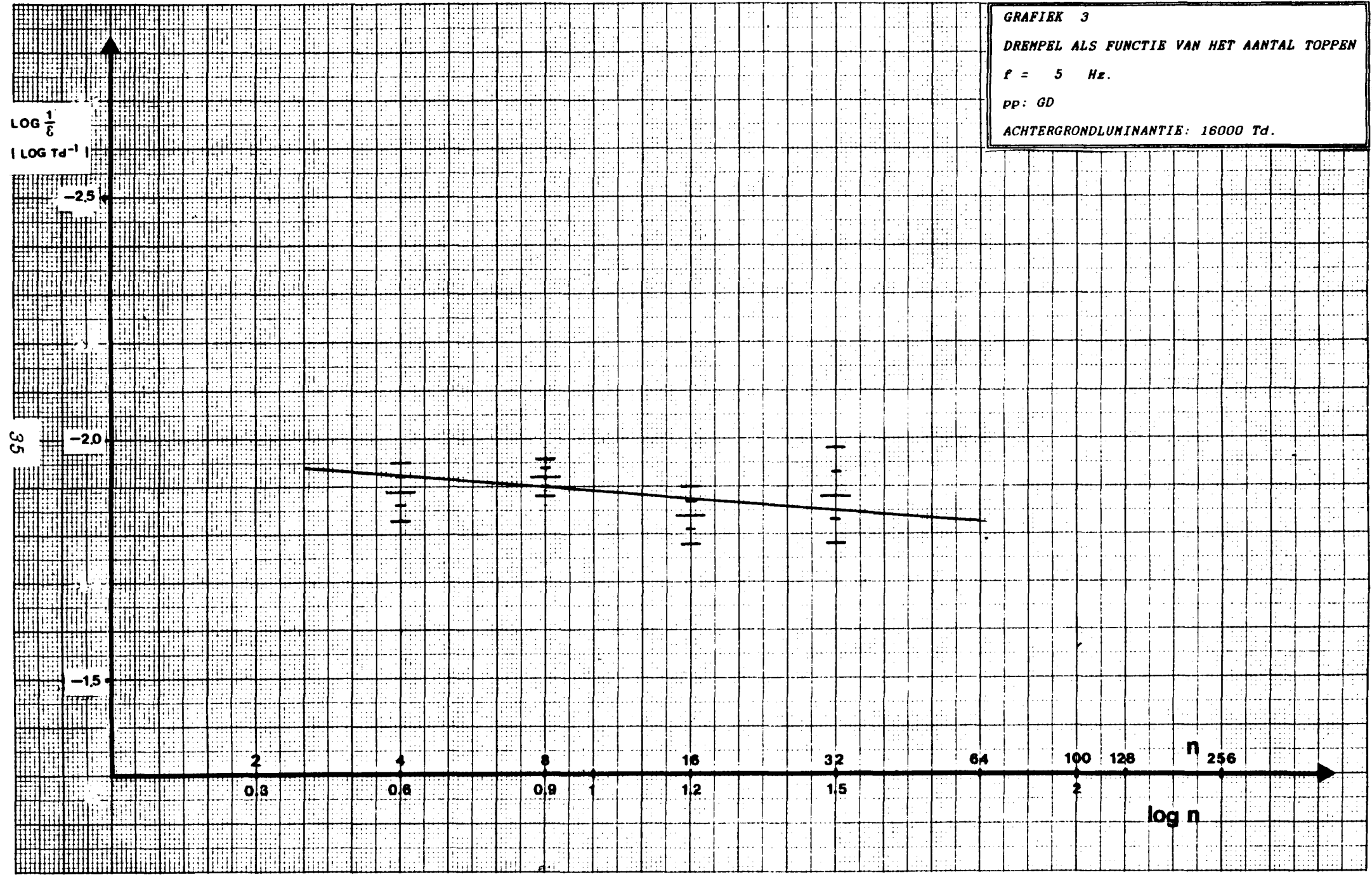
$f(\text{Hz})$	pp GD				pp JM				
5	grafiek	3	blz 35	grafiek	6	blz 40	tabel	12	blz 39
	tabel	9	blz 34	tabel	12	blz 39			
12,5	grafiek	4	blz 37	grafiek	7	blz 41	tabel	13	blz 39
	tabel	10	blz 36	tabel	13	blz 39			
40	grafiek	5	blz 38	grafiek	8	blz 43	tabel	14	blz 42
	tabel	11	blz 36	tabel	14	blz 42			

Elk punt in deze grafieken is tot stand gekomen uit het gemiddelde van drie afzonderlijk gemeten punten per frequentie. Ook hier is aan beide zijden tweemaal de standaarddeviatie σ_{gem} uitgezet. Dit om te komen tot een 95% betrouwbaarheids interval.

TABEL 9 pp GD

freq = 5 Hz		L = 5000 cd/m ² E = 16000 Td				
n	$\log n$	$\log e_1$	$\log e_2$	$\log e_3$	$\log e$	SD $\log e$
4	0.60	1.96	1.85	1.87	1.89	0.03
8	0.90	1.96	1.88	1.92	1.92	0.02
16	1.20	1.86	1.79	1.86	1.84	0.03
32	1.51	1.91	1.79	1.95	1.88	0.05
$\frac{d \log e}{d \log n} = 0.072$		$\beta = 14 (13.84)$				

GRAFIEK 3
DREMPEL ALS FUNCTIE VAN HET AANTAL TOPPEN
 $f = 5 \text{ Hz.}$
 $pp: GD$
ACHTERGRONDLUMINANTIE: 16000 Td.



TABEL 10 pp GD

freq = 12.5 Hz		L = 5000 cd/m ² E = 16000 Td				
<i>n</i>	log <i>n</i>	loge1	loge2	loge3	$\overline{\log e}$	SD $\overline{\log e}$
8	0.90	1.53	1.58	1.53	1.55	0.02
16	1.20	1.58	1.43	1.43	1.48	0.05
32	1.51	1.58	1.24	1.55	1.55	0.02
64	1.81	1.58	1.43	1.52	1.51	0.04

$\frac{d \overline{\log e}}{d \log n}$ en β niet zinvol te bepalen

TABEL 11 pp GD

freq = 40 Hz		L = 5000 cd/m ² E = 16000 Td				
<i>n</i>	log <i>n</i>	loge1	loge2	loge3	$\overline{\log e}$	SD $\overline{\log e}$
32	1.51	1.84	1.83	1.88	1.85	0.02
64	1.81	1.92	1.74	1.79	1.82	0.05
128	2.11	1.94	1.81	1.85	1.87	0.04
256	2.41	1.81	1.85	1.77	1.81	0.02

$\frac{d \overline{\log e}}{d \log n} = 0.051$
 $\beta = 20$ (19.56)

GRAFIEK 4

DREHPEL ALS FUNCTIE VAN HET AANTAL TOPPEN

$f = 12,5$ Hz.

pp: GD

ACHTERGRONDLUMINANTIE: 16000 Td.

$\text{LOG } \frac{1}{\delta}$

$|\text{LOG Td}^{-1}|$

-2.5

-2.0

-1.5

37

2

4

8

16

32

64

100

128

n

256

0.8

0.6

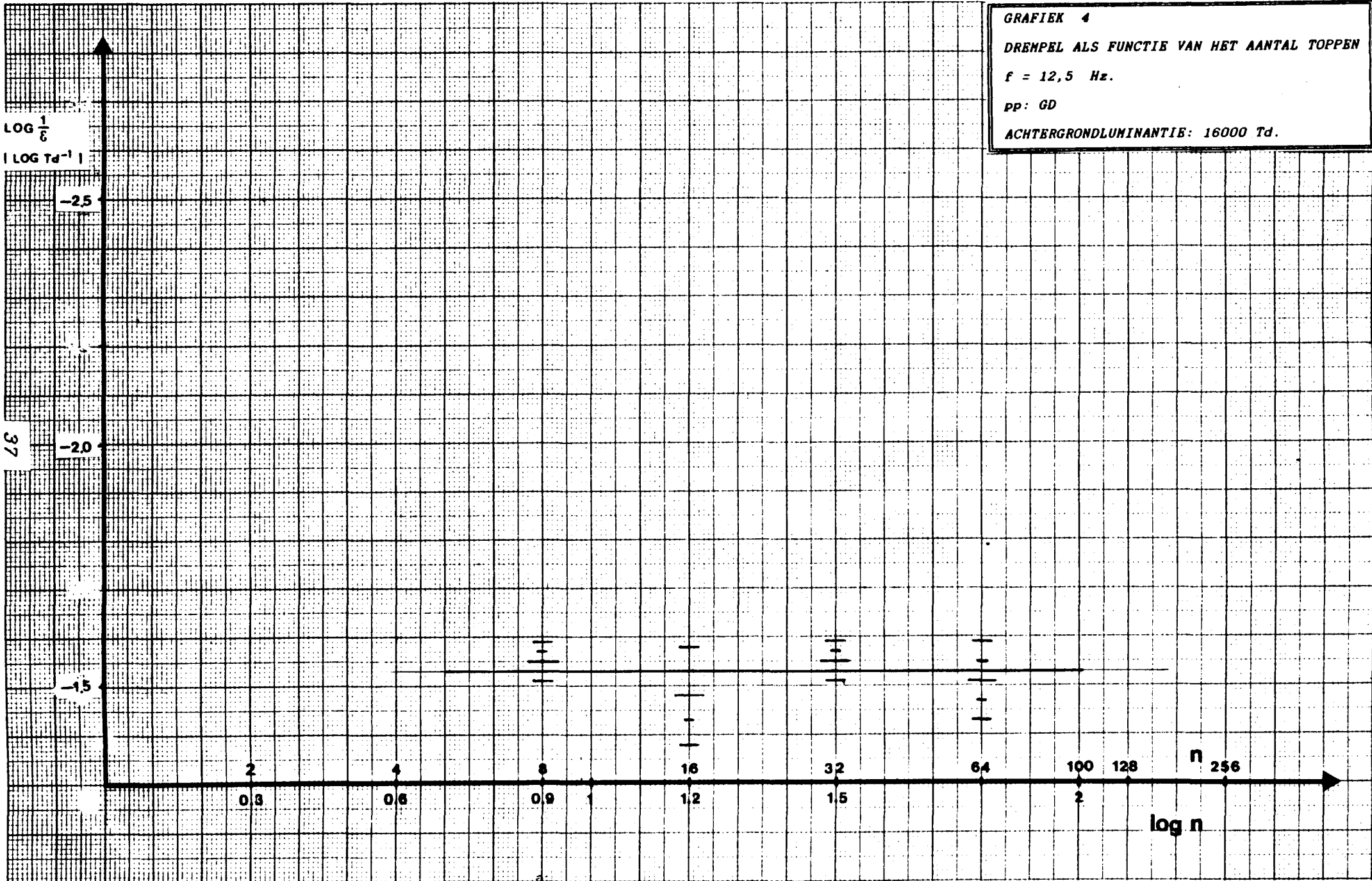
0.9

1.2

1.5

2

log n



GRAFIEK 5

DREMPSEL ALS FUNCTIE VAN HET AANTAL TOPPEN

$f = 40$ Hz.

pp: GD

ACHTERGRONDILLUMINANTIE: 16000 Td.

$\log \frac{1}{\sigma}$

$\log Td^{-1}$

-25

-20

-15

2

0.8

4

0.6

8

0.9

16

1.2

32

1.5

64

2

100

2

128

2

256

2

$\log n$

TABEL 12 pp JM

freq = 5 Hz		L = 5000 cd/m ² E = 16000 Td				
<i>n</i>	log <i>n</i>	loge1	loge2	loge3	log \bar{e}	SD log \bar{e}
4	0.60	2.11	2.15	2.20	2.15	0.03
8	0.90	2.14	2.13	2.17	2.15	0.03
16	1.20	2.01	2.09	2.10	2.07	0.03
32	1.51	2.03	2.02	2.04	2.03	0.01
$\frac{d \log \bar{e}}{d \log n} = 0.151$		$\beta = 7 (6.62)$				

TABEL 13 pp JM

freq = 12.5 Hz		L = 5000 cd/m ² E = 16000 Td				
<i>n</i>	log <i>n</i>	loge1	loge2	loge3	log \bar{e}	SD log \bar{e}
8	0.90	1.86	1.83	1.77	1.82	0.03
16	1.20	1.82	1.78	1.68	2.76	0.04
32	1.51	1.80	1.79	1.76	1.78	0.01
64	1.81	1.69	1.68	1.75	1.71	0.02
$\frac{d \log \bar{e}}{d \log n} = 0.124$		$\beta = 8 (8.04)$				

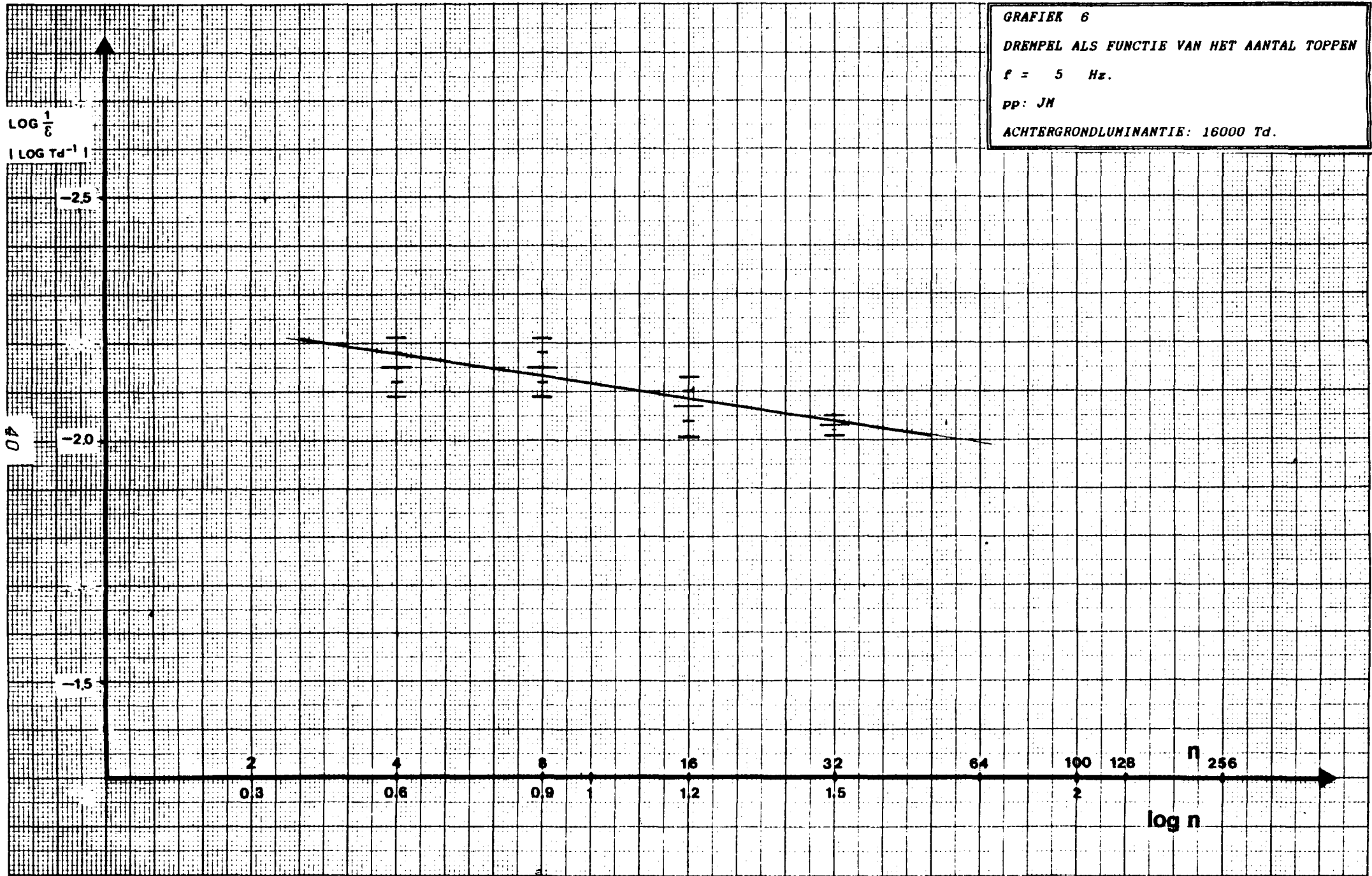
GRAFIEK 6

DREMPEL ALS FUNCTIE VAN HET AANTAL TOPPEN

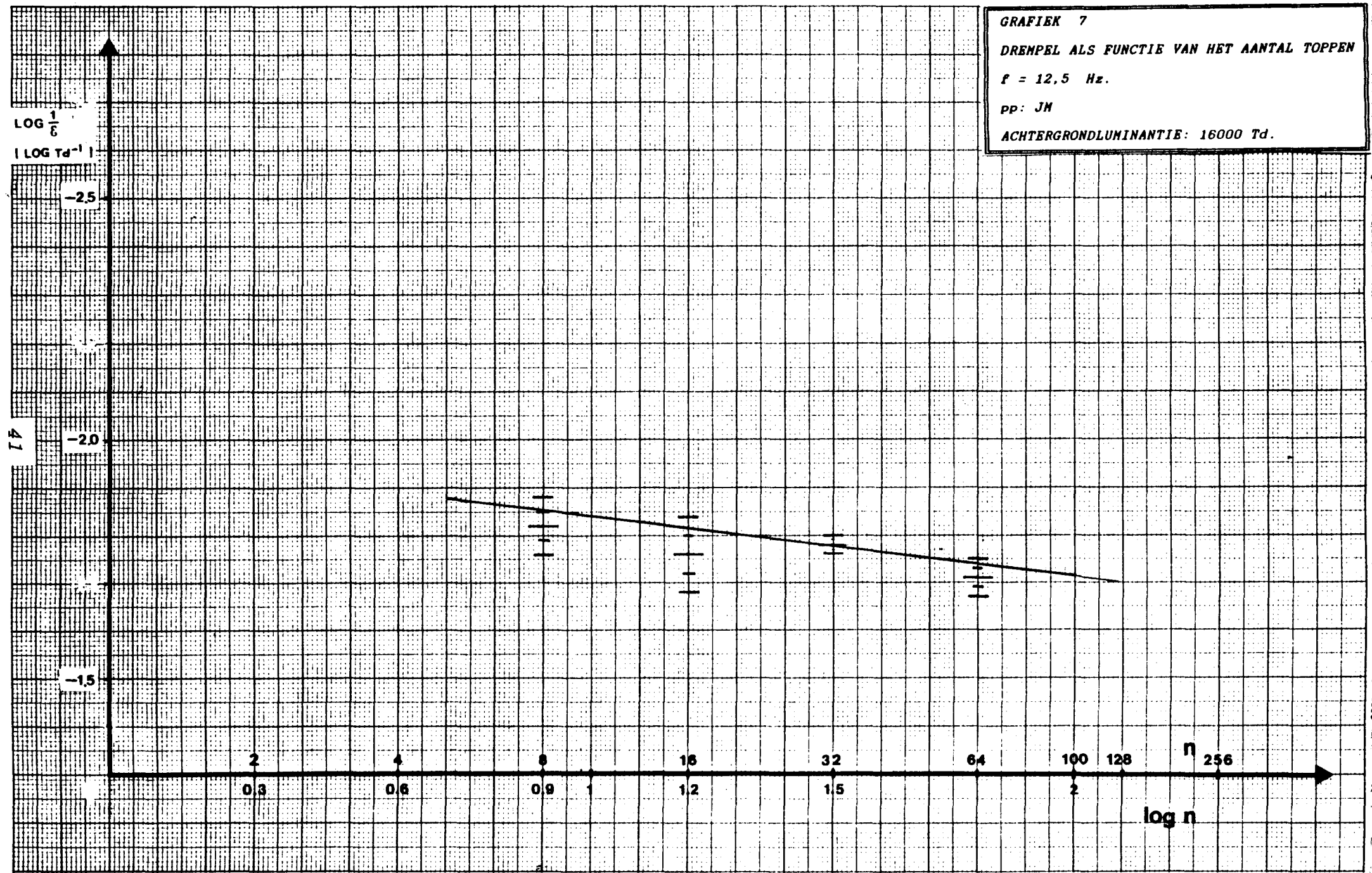
$f = 5 \text{ Hz.}$

pp: JH

ACHTERGRONDLUMINANTIE: 16000 Td.



GRAFIEK 7
DRENPEL ALS FUNCTIE VAN HET AANTAL TOPPEN
 $f = 12,5 \text{ Hz.}$
 pp: JH
 ACHTERGRONDLUMINANTIE: 16000 Td.



41

TABEL 14 pp JM

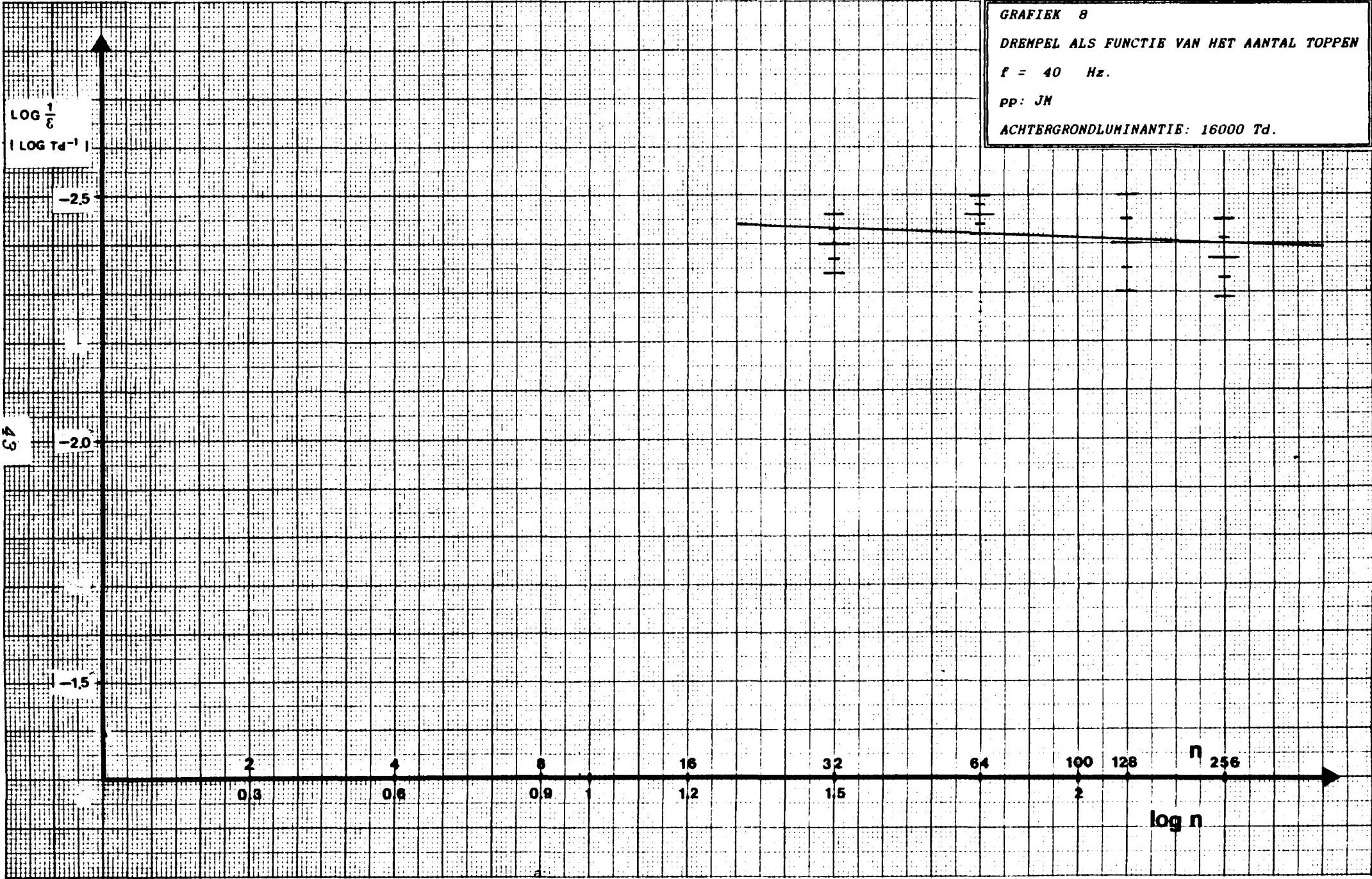
freq = 40 Hz		L = 5000 cd/m ² E = 16000 Td				
<i>n</i>	log <i>n</i>	loge1	loge2	loge3	log \bar{e}	SD log \bar{e}
32	1.51	2.42	2.43	2.34	2.40	0.03
64	1.81	2.45	2.40	2.43	2.46	0.02
128	2.11	2.42	2.47	2.31	2.40	0.05
256	2.41	2.42	2.30	2.38	2.37	0.04

$\frac{d \log e}{d \log n}$ en β niet zinvol te bepalen

4.2.3. Resultaten van de drempelmetingen met pulsvormige stimuli

De resultaten van de metingen met pulstreinen zijn uitgezet in grafiek 9 voor pp GD en in grafiek 10 voor pp JM. Elk punt is tot stand gekomen uit het gemiddelde van drie afzonderlijk gemeten punten per frequentie. In de grafieken is aan beide zijden tweemaal de standaard deviatie $s(x)$ uitgezet. Dit om te komen tot een 95% betrouwbaarheids interval. De numerieke gegevens van deze metingen zijn terug te vinden in tabel 15 voor pp GD en in tabel 16 voor pp JM.

GRAFIEK 8
DREMPSEL ALS FUNCTIE VAN HET AANTAL TOPPEN
f = 40 Hz.
 pp: JH
 ACHTERGRONDLUMINANTIE: 16000 Td.



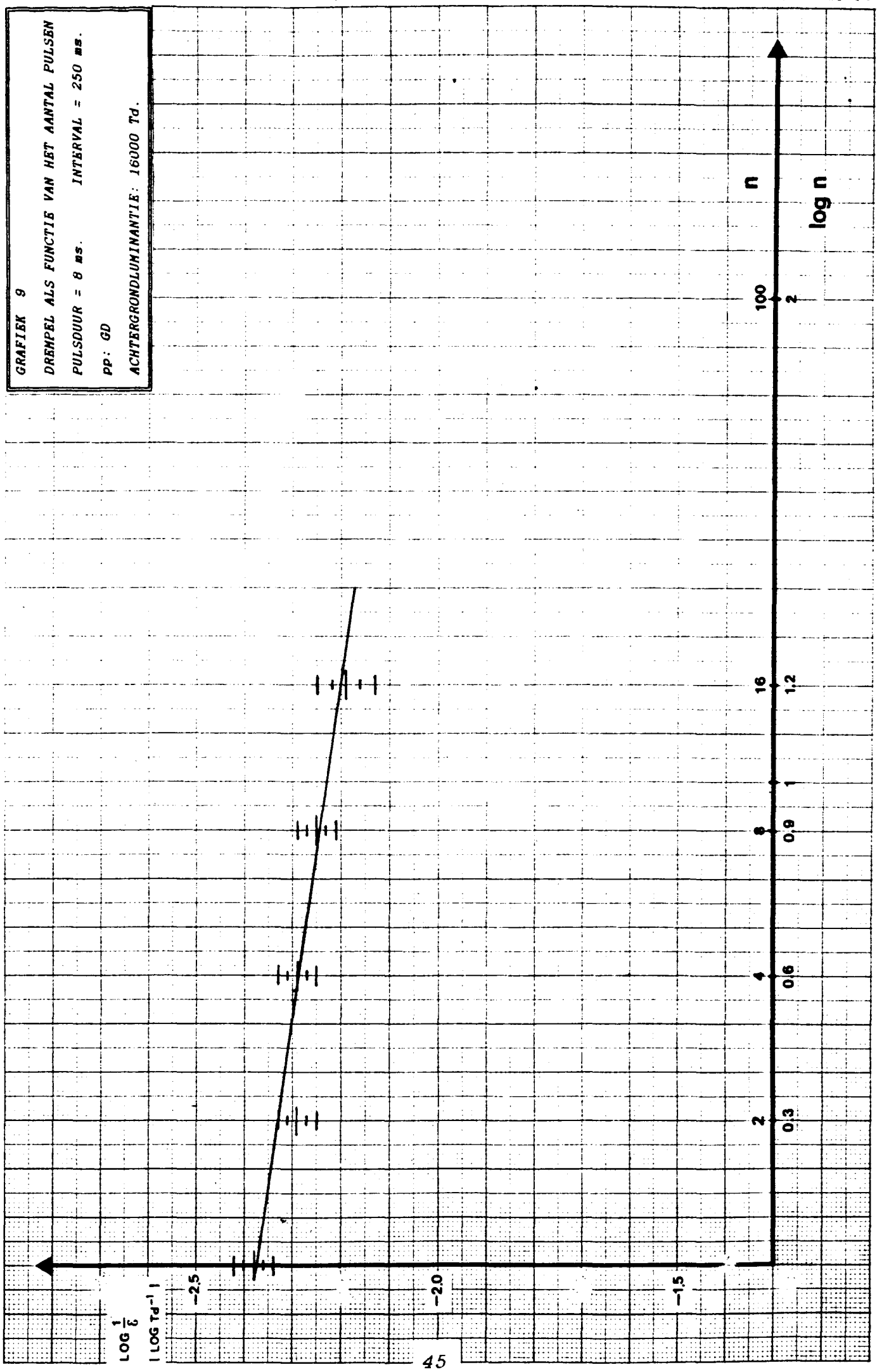
TABEL 15 Drempel als functie van het aantal toppen pp GD

$L = 5000 \text{ cd/m}^2 \quad E = 16000 \text{ Td}$					
n	$\log e_1$	$\log e_2$	$\log e_3$	$\overline{\text{Log } e}$	$SD \overline{\text{Log } e}$
1	2.30	2.31	2.37	2.33	0.02
2	2.26	2.31	2.26	2.29	0.02
4	2.29	2.32	2.27	2.29	0.02
8	2.26	2.20	2.28	2.25	0.02
16	2.17	2.14	2.25	2.19	0.03
$\frac{d \overline{\log e}}{d n} = 0.117 \qquad \beta = 9 (8.57)$					

TABEL 16 Drempel als functie van het aantal pulsen pp JM

$L = 5000 \text{ cd/m}^2 \quad E = 16000 \text{ Td}$					
n	$\log e_1$	$\log e_2$	$\log e_3$	$\overline{\text{Log } e}$	$SD \overline{\text{Log } e}$
1	2.68	2.72	2.71	2.70	0.01
2	2.74	2.68	2.69	2.70	0.02
4	2.65	2.66	2.69	2.67	0.01
8	2.70	2.60	2.68	2.66	0.03
16	2.68	2.65	2.66	2.66	0.012
$\frac{d \overline{\log e}}{d n} = 0.060 \qquad \beta = 16 (16.4)$					

GRAFIEK 9
DREMPEL ALS FUNCTIE VAN HET AANTAL PULSEN
 PULSDUUR = 8 ms. INTERVAL = 250 ms.
 PP: GD
 ACHTERGRONDILUMINANTIE: 16000 Td.



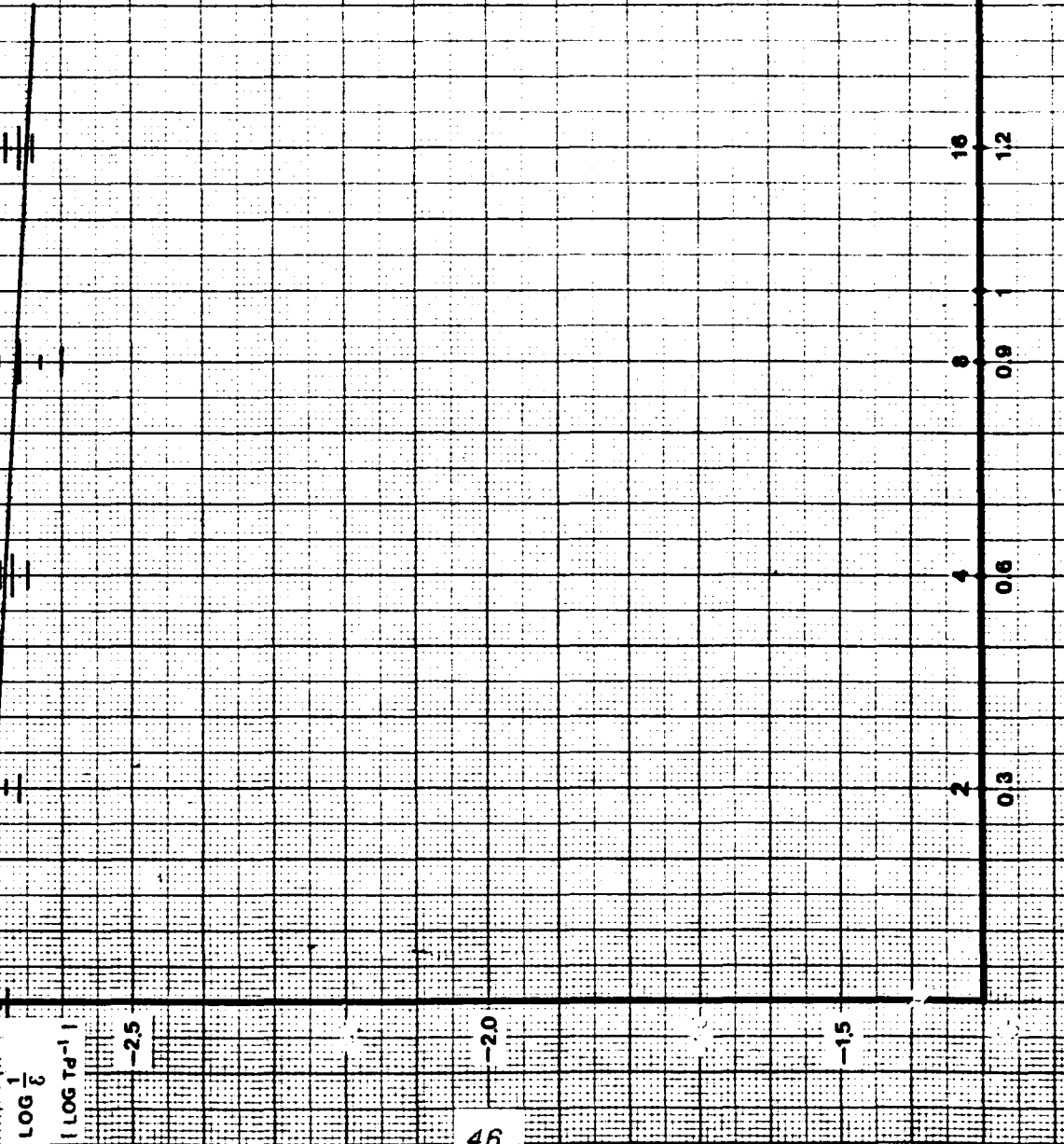
GRAFIEK 10

DREMPEL ALS FUNCTIE VAN HET AANTAL PULSEN

PULSDUUR = 8 ms. INTERVAL = 250 ms.

pp: JM

ACHTERGRONDLUMINANTIE: 16000 Td.



De resultaten van de enkele-puls meting zijn voor beide proefpersonen verkregen uit een middeling van 12 afzonderlijke drempelmetingen, waarbij een enkele puls als stimulus werd gebruikt. Met een groot aantal metingen kunnen we een grote nauwkeurigheid krijgen (zie Hoofdstuk 2). In de onderstaande tabel staan de gemeten waarden vermeld.

TABEL 17

meting	$\frac{dP}{dV}$	$\frac{dP}{dV}$
	pp GD	
1	0.29	0.25
2	0.31	0.31
3	0.20	0.30
4	0.25	0.26
5	0.17	0.16
6	0.10	0.15
7	0.49	0.27
8	0.23	0.21
9	0.10	0.18
10	0.40	0.13
11	0.14	0.19
12	0.14	0.16

De gemiddelde helling van de psychometrische functie voor pp GD

$$\text{is: } \frac{dP}{dV} (\text{gem}) = 0.21 \quad \frac{\sigma_{\Phi}}{\epsilon} (\text{gem}) = 0.11 \quad \beta (\text{gem}) = 10.5$$

De gemiddelde helling van de psychometrische functie voor pp JM

$$\text{is: } \frac{dP}{dV} (\text{gem}) = 0.24 \quad \frac{\sigma_{\Phi}}{\epsilon} (\text{gem}) = 0.10 \quad \beta (\text{gem}) = 12.0$$

4.3 Perceptieve verschijnselen

Onder perceptieve verschijnselen verstaan we de waarnemingen die de proefpersonen doen gedurende de metingen.

Deze verschijnselen waren verschillend voor lage (van 1 Hz. tot 5 Hz.) en hoge (van 10 Hz. tot 80 Hz.) frequenties.

Bij de lage frequenties werden de volgende verschijnselen

waargenomen: - donkere concentrische ringen die vanaf de rand naar binnen komen of andersom.

- een donker vlak wat groter en kleiner wordt.

- een donker vlak wat op en neer gaat.

Bij de hoge frequenties werden de volgende verschijnselen

waargenomen: - een onrustig beeld.

- een flikkerend vlekje net iets uit het centrum.

Hoofdstuk 5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zullen we enige conclusies trekken en enkele aanbevelingen doen m.b.t. de door ons verrichte metingen. Hierbij willen we opmerken dat deze stage in eerste instantie een meetstage is, en dat onze aandacht dan ook grotendeels op het meetgedeelte gericht was. Wel hebben we in het theoretisch gedeelte aangegeven wat de reden voor deze experimenten was en hoe de gegevens geïnterpreteerd kunnen worden. Toch zullen we ons hier niet uitvoerig bezighouden met interpretaties van de door ons gevonden resultaten.

Hopelijk kunnen onze conclusies en aanbevelingen toch een bijdrage leveren aan de ontwikkeling van betere meetmethoden en theorieën betreffende het menselijke visuele systeem.

5.2.1 Conclusies t.a.v. de resultaten van de meting van de De-Langekarakteristieken.

De vormen van de door ons gemeten De-Langekarakteristieken voldoen aan de verwachtingen. Ook komt de ligging van de top overeen met een extrapolatie van de gegevens van de reeds bekende De-Langekarakteristieken, zoals die in figuur 6 zijn weergegeven. Verder is de standaarddeviatie normaal te noemen.

5.2.2 Conclusies t.a.v. de resultaten van de drempelmetingen bij sinusoidale stimulus, vaste frequentie en een variabel aantal toppen.

De resultaten van deze metingen omgerekend naar een β waarde geven waarden die ongeveer in de verwachtingen liggen. Voor pp JM zijn ze enigzins aan de hoge kant. De nauwkeurigheid van de metingen is niet erg groot. Dit komt nog eens duidelijk naar voren gezien in twee van zes gevallen de β waarde niet zinvol is te bepalen. Deze onnauwkeurigheid is overigens geen meet-onnauwkeurigheid maar een variatie van de gemeten drempel.

We hebben niet de pretentie de oorzaak van deze onnauwkeurigheid aan te duiden maar we willen wel onze mening hierover geven.

Alhoewel we geen twijfel hebben over de theorie m.b.t. de afval van de drempel bij verhoging van het aantal toppen, vermoeden we dat dit effect gedeeltelijk gestoord wordt door andere effecten n.l.:

- 1) Het effect van ongelijke inspectietijden
- 2) Het adaptatie effect.

ad1) Bij deze metingen is het zo dat de inspectietijd van de stimulus bij een variabel aantal toppen ook variabel is (zie hiervoor tabel 3). Aangezien het moeilijk is om zich een lange tijd goed te concentreren (vermoeidheid), zou men kunnen verwachten dat bij lange inspectie-tijden de drempel niet meer verder zakt: een groter aantal toppen heeft dan geen invloed meer op de drempel. Het probleem is dan om vast te stellen waar die grens precies ligt. Aanvullende metingen zouden hiervoor nodig zijn.

ad2) Hierbij duiden we op de aanpassing van het visuele systeem aan de aangeboden stimulus. Bij deze aanpassing wordt het visuele systeem minder gevoelig voor deze stimulus. Aangezien bij de variatie van het aantal toppen de mogelijkheid tot adapteren mee varieert kan tengevolge van dit adaptatie effect, bij verhoging van het aantal toppen, een relatieve verhoging van de drempel verwacht worden.

5.2.3 Conclusies t.a.v. de resultaten van de drempelmetingen met pulsvormige stimuli

Conclusies met betrekking tot de drempelmetingen met een variabel aantal pulsen.

De β waarden die bepaald zijn uit de resultaten van deze meting komen niet geheel overeen met de β waarden die bepaald zijn uit de resultaten van de drempelmetingen met sinusvormige stimuli en een beperkte inspectie tijd. Een reden voor dit verschil kunnen we niet aangeven.

Conclusies met betrekking tot de enkele-puls meting:

De waarde van β verkregen uit deze metingen is redelijk nauwkeurig. Dit wordt mede veroorzaakt doordat deze metingen voor de proefpersonen makkelijk verliepen. Dit komt overeen met de theorie (zie Hfst 2) die ons vertelt dat de psychometrische kromme relatief steil verloopt bij de enkele-puls meting.

5.3 Resultatenoverzicht β waarden

Gepoorte sinus meting		
	pp GD	pp JM
$f = 5 \text{ Hz}$	14	7
$f = 12,5 \text{ Hz}$	*	8
$f = 40 \text{ Hz}$	20	*
Pulsmeting met variabel aantal pulsen		
	pp GD	pp JM
	9	16
Enkele-puls meting		
	pp GD	pp JM
	11	12

5.4 *Constante Stimuli methode versus Two Alternative Forced Choice methode.*

We vermoeden dat de Constante Stimuli methode, in vergelijking met de Two Alternative Forced Choice methode, betere en meer betrouwbare resultaten zal geven.

De kortere duur van de experimenten bij gebruik van de C.S. methode heeft naar onze mening drie voordelen:

- 1) Het storende effect van het verlopen van de concentratie en adaptatie zal minder zijn.*
- 2) De experimenten zullen minder vermoeiend zijn, en dat zal de meetresultaten ten goede komen.*
- 3) Men kan meer experimenten in dezelfde tijd uitvoeren.*

De constante stimuli methode eist veelal een langere inleerperiode van de proefpersoon. Wij vermoeden echter dat dit nadeel in de praktijk niet zoveel uitmaakt.

5.5 *Aanbevelingen*

- Indien de TAF methode gebruikt wordt bij de metingen, kan de bepaling van de intervalkeuze het best geschieden met de hulp van een willekeurige bit-reeks. Deze zou men met een rekenmachine kunnen genereren. We hebben namelijk gemerkt dat een proefleider niet geheel vrij van bepaalde voorkeuren is.

- We hebben gemerkt dat het regelmatig inlassen van korte pauzeperioden de meetresultaten gunstig beïnvloed. Er worden betere psychometrische krommen gemeten en de proefpersoon kan zich beter concentreren.

- Bij de keuze van het linker- of rechteroog voor het experiment dient rekening te worden gehouden met eventuele oogdominantie. In onze experimenten werd om technische redenen het rechteroog gebruikt. pp GD met linksdominantie rapporteerde regelmatig vreemde beelden die door zijn rechteroog liepen.

LITERATUUR

-De Lange, 1952:

De Lange, H. "Experiments on flicker and some calculations on an electrical analogue of the foveal systems". *Physica* 18, 935-950 (1952)

-Roufs, 1984:

Roufs, J.A.J., "licht en geluid, fysische metingen en menselijke maat:. Collegedictaat 1.148.2. Technische Hogeschool Eindhoven (1984).

-Roufs, 1972a:

Roufs J.A.J., "Dynamic properties of vision-I. Experimental relationships between flicker and flash thresholds". *Vision Research* 12, 261-278 (1972).

-Roufs, 1972b:

Roufs J.A.J., "Dynamic properties of vision-II. Theoretical relationships between flicker and flash thresholds". *Vision Research* 12, 279-292 (1972).

-Roufs, 1974a:

Roufs J.A.J., "Dynamic properties of vision-IV. Thresholds of decremental and incremental flashes and doublets in relation to flicker fusion". *Vision Research* 14, 831-852 (1974).

-Roufs, 1974b:

Roufs J.A.J., "Dynamic properties of vision-VI. Stochastic threshold fluctuations and their effect on flash-to-flicker sensitivity ratio". *Vision Research* 14, 871-888 (1974).

-Wis 49, 1981:

"wiskunde 49", College dictaat 2265 Technische Hogeschool Eindhoven (1981).

-Roufs, 1976:

Roufs, J.A.J. en J.A. Pellegrino van Stuyvenberg, "IPO Annual Progress Report", 11, 56-63 (1976).

-Bierens, 1986:

Bierens, E. en G.J. Legdeur, IPO Rapport no. 533, " Bepaling van de flikkerdrempel van sinus- en pulsvormig gemoduleerd licht met hoge achtergrondluminantie in een Ganzfeld experiment (1986)."

-Boot, 1987:

Boot, H.A.M. en E.F. van de Weijdeven, IPO Rapport no. 590, "De drempel als functie van de veldgrootte bij flikker en flits experimenten (1987)."

Lijst van gebruikte meetinstrumenten

- Oscilloscoop 10 MHz: PM 3234
- Digital rms multimeter: PM 2527
- Digital voltmeter: PM 2441
- DC-1MHz amplifier: PM 5170
- Spectra pritchard photometer, model: 1980A-PL

BIJLAGE A: Bepaling croziër quotiënt

Het croziër quotiënt kan direct verkregen worden uit de helling van de psychometrische kromme indien de intensiteit logaritmisch is uitgezet.

Indien de psychometrische kromme benaderd kan worden door een cumulatieve normale verdeling (Blackwell 1963) dan is de kansdichtheid gegeven door;

$$d\{ p(\epsilon) \} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ - \frac{(\epsilon - \epsilon_1)^2}{2\sigma^2} \right\} d\epsilon$$

De helling voor $\epsilon = \epsilon_1$ (50% detectie) is ;

$$\left. \frac{d(p)}{d\epsilon} \right|_{\epsilon_1} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}}$$

Over op logaritmische schaal : $\epsilon' = \log \epsilon = \frac{\ln \epsilon}{\ln 10}$

$$\frac{d\epsilon'}{d\epsilon} = \frac{1}{\epsilon \ln 10}$$

dus

$$\frac{d(p)}{d\epsilon'} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ - \frac{(\epsilon - \epsilon_1)^2}{2\sigma^2} \right\} \epsilon \ln 10$$

$$\left. \frac{d(p)}{d\epsilon'} \right|_{\epsilon'_1} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \epsilon_1 \ln 10 \quad \text{ofwel;}$$

$$\frac{\sigma}{\epsilon_1} = \frac{\ln 10}{\sqrt{2\pi}} \times \left\{ \frac{1}{\left. \frac{d(p)}{d\epsilon'} \right|_{\epsilon'_1}} \right\}$$

$$\text{croziër quotiënt: } \frac{\sigma}{\epsilon_1} = \frac{1}{1.09} \times \left\{ \frac{d(p)}{d\epsilon'} \right|_{\epsilon'_1} \}$$

transformatie naar dB schaal: $20 \epsilon' = V'$

transformatie naar T.A.F. : $2 V' = V$

$$\text{geeft; } \left(\frac{\sigma}{\epsilon_1} \right)^* = \left[43.6 \left\{ \frac{d(p)}{d(V)} \right\}_{p=0.75} \right]^{-1}$$

*: Croziër quotiënt voor dB-schaal en T.A.F. methode.

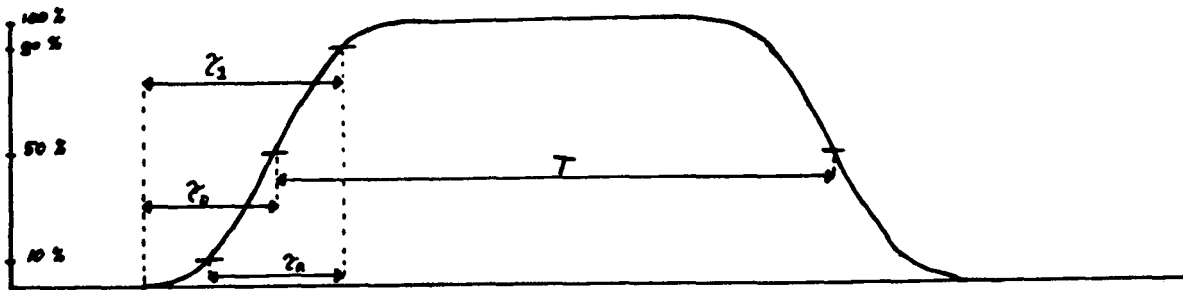
BIJLAGE B: instelling poortfunctie

Voor de meting: " Drempelmetingen bij sinusoidale stimulus, vaste frequentie en een variabel aantal toppen ", is het noodzakelijk het aantal toppen bij de diverse frequenties te kunnen bepalen. Dit gebeurde met een omhullende poortfunctie (zie fig. b2). Door de instelling van de poortfunctie kan het aantal "volwassen" toppen vast gelegd worden. Bij de door ons uitgevoerde experimenten zijn de volgende poort instelwaarden gebruikt. (zie tabel b1)

In tabel b1 is weergegeven welke frequenties er gemeten zijn met het bijbehorend aantal toppen. In deze tabel staan telkens drie waarden die aangeven wat de geldende waarden van de duur van de poortfunctie (in ms), de duur van de sinus (in ms) en de intervalduur (in s) zijn.

$f(\text{Hz})$ n	2	4	8	16	32	64	128	256
5	nvt	65 100 1,5	105 200 2,0	185 250 2,5	345 400 4,0	nvt	nvt	nvt
12,5	nvt	nvt	57 100 1,5	89 200 1,5	153 200 2,5	281 350 3,5	nvt	nvt
40	nvt	nvt	nvt	nvt	65 100 1,5	105 150 2,0	185 250 2,5	345 400 4,0

tabel b1



figuur b1 : omhullende poortfunctie

τ_r , τ_d zijn hierbij de in te stellen waarden. Hiermee is de waarde van τ^1 , die voor ons van belang is niet in te stellen. De waarde van τ^1 hebben we dan ook gemeten en bepaald op 250 msec.

Wanneer er te spreken is over een volwassen top is arbitrair. Wij hebben een top op ongeveer 90% van zijn uiteindelijke waarde als volwassen beschouwd. Nu is er door de variatie van T het aantal toppen te bepalen. Er geldt bij benadering

$$T - \tau_r = n f$$

waarbij n het aantal toppen voorstelt en f de frequentie (zie fig b1.

Nu bleek de boven geschetste berekening vooral bij de lage frequenties geen juiste resultaten te geven. Uiteindelijk hebben we de in te stellen waarden experimenteel bepaald, en wel door het aantal toppen op de oscilloscoop af te lezen.

BIJLAGE C: Voorbeeld van een meting

Een voorbeeld van een meting van een De Lange kromme.

Zoals vermeld worden er 15 frequenties gemeten zijnde: 1, 2.5, 5, 8, 10, 12.5, 16, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, en 80 Hz. De meetvolgorde werd door loting bepaald. Zo werd de volgorde voor pp GD op 28-11-'86 de volgende: 20, 80, 1, 10, 40, 50, 70, 30, 25, 16, 60, 5.5, 12.5, 8, 5 Hz.

Notatie voorbeeld:

Datum: 28-11-'86	Volgordenr N.V.T.
P.P. G.D.	Drempel ~ 16 dB
Inhoud duurs N.V.T. sec	Aantal stappen.
Duur pauze N.V.T. sec	f = 80 Hz
	START 9.30 u STOP 9.30 u

		13 dB		14 dB		15 dB		16 dB									
		I	II	I	II	I	II	I	II								
		1	2	1	2	2	1	2	2								
		1	2	1	2	2	1	1	2	2							
		1	2	1	1	1	2	2	2								
		2			2	1	2	1	1								
		1			1	1	1	1	2								
		80%		80%		100%		40%									
		90%		80%		80%		60%									
		6	8	5	7	2	4	1	3								

fig c1 notatie voorbeeld van één drempelmeting

Door deze vorm van notatie is het verloop van de meting te achterhalen.

In fig c1 heeft alleen toelichting:

- "db:" Deze geeft een schatting van de drempel aan, verkregen uit een voorafgaande meting of piloot meting.

- "blokje" (onderste rij)

y%	
	x%
A	B

x% : percentage goed-score na 10 antwoorden

y% : percentage goed-score na de eerste vijf antwoorden

a : volgorde nummer eerste vijf antwoorden

b : volgorde nummer laatste vijf antwoorden

- Het streepje geeft aan waar het vijfde antwoord gegeven werd.

De meting ging net zo lang door totdat er aan de linkerkant een maal 90% of 100% gescoord was en een keer 60% of lager aan de rechter kant. Per dB stand werden er steeds vijf scores achter elkaar gemaakt waarna de van dB stand gewisseld werd.

Uit deze resultaten worden benaderingen van psychometrische krommen gemaakt waaruit de drempelwaarden worden gehaald (Zie fig 12).

De verwerking van de drempelwaarden naar modulatie diepten. (zie fig c2)

$$\text{Er geldt: } m = \frac{e}{E} = \frac{mV_{tt} * 0.5 * A}{mV_{dc}}$$

mV_{tt} = De wisselspannings component na versterking A in top-top waarde afgelezen

V_{dc} = Gelijkspannings component

A = Wisselspannings versterkings faktor

mV_{tt} is gemeten voor iedere dB waarde bij iedere frequentie. Het bleek dat de dB verzwakker goed lineair was zodat de frequentie afhankelijkheid van mV_{tt} met één punt gekarakteriseerd kon worden. Wij namen hiervoor de waarde bij 0 dB, het intercept punt genoemd. Er geldt dus:

$$\log mV_{tt}(dB, f) = - 1/20 * dB + I_P(f)$$

met $I_P(f)$: Interceptpunt

verder geldt:

$$\log m(dB, f) = \log mV_{tt}(dB, f) - \log A - \log 2 - \log mV_{dc}$$