

FYSIOLOGISCHE VARIABELEN BIJ HET UITVOEREN VAN EENVOUDIGE REGEL- EN STUURTAKEN.

Rapport van de analyse van gegevens uit  
experimenten bij het Laboratorium voor  
Meet- & Regeltechniek te Delft.

door M. Soede

December 1972 (19)

Laboratorium voor Ergonomische Psychologie TNO,  
Zuiderzeeweg 10,  
AMSTERDAM.

FYSIOLOGISCHE VARIABELEN BIJ HET UITVOEREN VAN EENVOUDIGE REGEL-  
 EN STUURTAKEN.

Rapport van de analyse van gegevens uit experimenten bij  
 het Laboratorium voor Meet- & Regeltechniek te DELFT.

1. Inleiding.

Bij het Laboratorium voor Meet- & Regeltechniek, T.H. Delft wordt onderzoek verricht naar mentale reacties van de mens in een regel- of volgsituatie.

Door Drs. M. Dubois is een serie metingen verricht waarbij zowel in- en uitgangssignalen van de mens m.b.t. de regelkring, als fysiologische signalen geregistreerd zijn.

De vraag vanuit het laboratorium voor Meet- & Regeltechniek gesteld, was of er met behulp van ECG- en ademhalingsregistraties konklusies getrokken konden worden m.b.t. de belasting van de proefpersonen.

De bijdrage van het laboratorium voor Ergonomische Psychologie bestaat daarom uit het verwerken van de registraties voor zover zinvol m.b.t. de vraagstelling en het trekken van konklusies uit de resultaten. Verder lijkt een belangrijke bijdrage van het laboratorium voor Ergonomische Psychologie te kunnen liggen in het doen van aanbevelingen voor het opzetten van experimenten om het probleem van belastingsmeting d.m.v. fysiologische variabelen zo optimaal mogelijk aan te pakken.

2. Beschrijving van de experimentele situatie.

De vijf verschillende taakkondities zijn in Fig.1 als blokschema weergegeven.

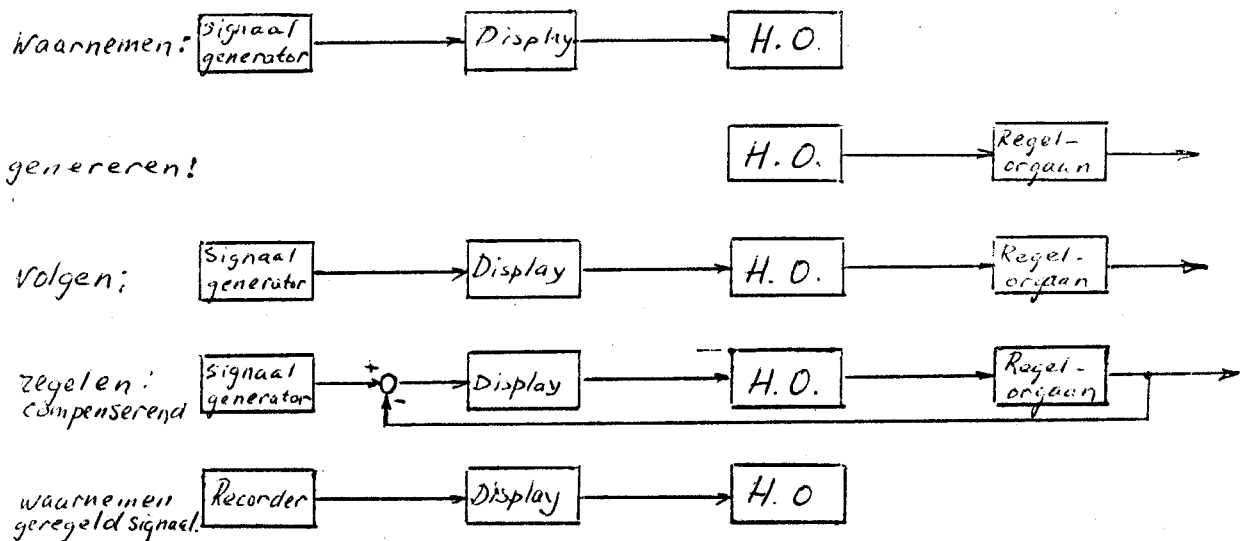
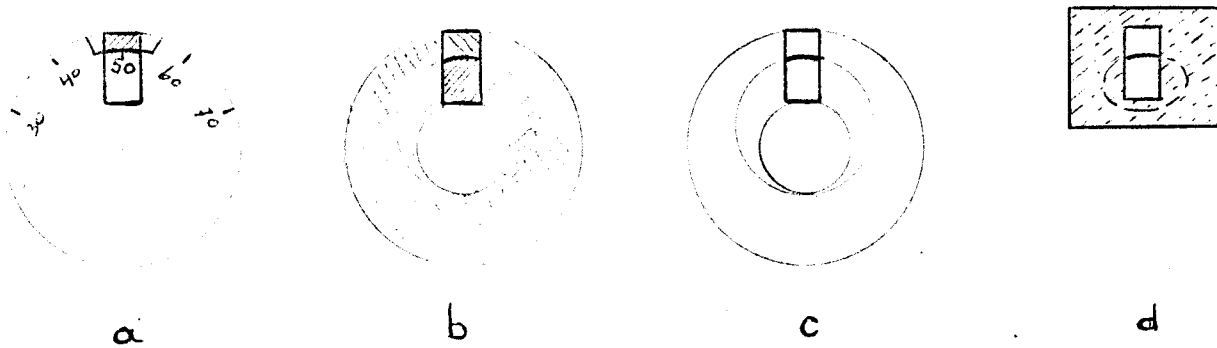


Fig.1. De blokschema's van de taakkondities met de gebruikte benamingen

De proefpersoon met regelorgaan bevindt zich voor alle geregistreerde experimenten in een geluidsichte, elektrisch afgeschermd kamer. Het gebruik van deze kamer was noodzakelijk i.v.m. de tegelijkertijd te registreren E.E.G.-signalen.

Er zijn vier verschillende display-typen gebruikt zoals in Fig.2 is weergegeven, en twee verschillende typen van regelorgaan.



Afmeting venstertje: 10x20 mm.

Diameter schijf (a, b en c): ca 200 mm.

Markering schijven: a getallen ... 20, 30, 40, 50, 60, ... met groen vlakje bij 50

b twee velden: groen en zwart, gescheiden door excentrische cirkel.

c excentrische cirkel zonder meer.

Displayd is een in verticale richting bewegende ellips op een oscilloscoop scherm.

Fig 2: De vier gebruikte typen display's.

De afstand van de proefpersoon tot de display is 1 meter. De display is achter een ruit in de kamer opgesteld.

De regelorganen zijn ten eerste een gewone ronddraaiende potentiometer en ten tweede een ca. 10 cm lange zgn. Joystick (Tektronix).

Het aangeboden signaal uit de signaalgenerator is door sommeren uit een aantal sinussen verkregen.

Er zijn op deze manier 5 verschillende signalen gevormd, welke zijn weergegeven in Tabel I.

TABEL I

signaal nummer	aantal sinuskomponenten	periode duur/sec	Frequenties (Hz)	Amplitudes (cm)op display
1	3	116.48	0.043	0.72
			0.077	0.76
			0.129	0.51
2	4	116.48	0.043	0.47
			0.077	0.51
			0.129	0.34
			0.206	0.68
3	5	116.48	0.043	0.38
			0.077	0.41
			0.129	0.27
			0.206	0.54
			0.343	0.41
4	3	38.82	0.077	0.67
			0.129	0.44
			0.206	0.89
5	2	14.56	0.206	1.14
			0.343	0.86

3. De metingen:

De duur van de meting werd in de eerste plaats bepaald door de periode-duur van het testsignaal ( ca. 2 min).

Alle taakkondities zijn echter voor minstens 3 min. geregistreerd.

Er zijn twee verschillende proefpersonen gebruikt.

Het experimenteerschema is weergegeven in Tabel II

TABEL II.

Experimenteerschema.

1e. proefpersoon-1e. dag				1e. proefpersoon-2e. dag			
taak	testsign.	displ.	regelorg.	taak	testsign.	displ.	regelorg.
waarnemen	1	a	potm.	waarnemen	1	a	potm.
regelen	1	a	potm.	regelen	1	a	potm.
regelen	2	a	potm.	waarnemen	3	a	potm.
regelen	3	a	potm.	regelen	3	a	potm.
waarn.gereg.	1	a	potm.	waarnemen	1	b	potm.
waarn.gereg.	2	a	potm.	regelen	1	b	potm.
genereren	-	a	potm.	waarnemen	3	b	potm.
				regelen	3	b	potm.

1e. proefpersoon-3e. dag

taak	testsign.	displ.	regelorg.
waarnemen	4	c	potm.
genereren	-	c	potm.
regelen	4	c	potm.
regelen	4	c	potm.
regelen	4	c	potm.
volgen	4	c	potm.
regelen	4	c	joystick
volgen	4	c	joystick
regelen	4	c	joystick
volgen	4	b	joystick
regelen	4	b	joystick

2e. proefpersoon-1e. dag

taak	testsign.	displ.	regelorg.
o.d.-w-regelen	4	d	potm.
o.d.-w-regelen	4	d	potm.
o.d.-w-volgen	4	d	potm.
o.d.-w-regelen	4	d	potm.
o.d.-w-volgen	4	d	potm.
o.d.-w-regelen	4	d	joystick
o.d.-w-regelen	4	d	joystick
o.d.-w-volgen	4	d	joystick
o.d.-w-regelen	4	d	joystick
o.d.-w-volgen	4	d	joystick

2e. proefpersoon-2e. dag

taak	testsign.	displ.	regelorg.
waarnemen	4	d	joystick
waarnemen	4	d	joystick
genereren	-	d	joystick
regelen	4	d	joystick
volgen	4	d	joystick
regelen	4	d	joystick
volgen	4	d	joystick
regelen	4	d	joystick
volgen	4	d	joystick
regelen	4	d	joystick
regelen	5	d	joystick

#### 4. Uitwerking van de metingen.

De uitgewerkte gegevens zijn gegeven in Bijlage A.

##### 4.1. Elektrocardiogram.

Van de opgenomen EEG's zijn de R-R intervaltijden gemeten en op magneetband vastgelegd.

Uit de reeks intervaltijden zijn een aantal statistische grootheden berekend waarvan gebruikt zijn:

- a) gem. hartfrequentie (slagen/Min)
- b) som van de pos. verschillen tussen twee opéénvolgende slagen, gedeeld door aantal malen dat opeenvolgende verschillen tegengesteld teken hebben  $S/N$  (msec).

##### 4.2. Ademhaling.

Met betrekking tot de ademhaling, geregistreerd met een temperatuur-gevoelige weerstand, is alleen de gemiddelde frequentie berekend ( $\text{min}^{-1}$ ).

##### 4.3. Overdrachtsfuncties.

Voor de regel- en volgtaken zijn voor de frequenties die in het testsignaal vertegenwoordigd waren de punten in de overdrachtsfunctie berekend.

De berekening is deels uitgevoerd m.b.v. de PDP-8 in Delft met het programma SLA (Signal Analysis). Het programma SLA bemonstert de signalen, digitaliseert de bemonsterde waarden en voert een Fast-Fourier-transformatie uit op de monsterwaarden. Verder worden ook gemiddelde, standaarddeviatie en relatieve restruis berekend. De relatieve restruis is de energie in het bemonsterde signaal die niet ligt bij de testfrequenties, gedeeld door de totale energie van het betreffende signaal.

#### 5. Bespreking van de resultaten/konklusies.

##### 5.1. Fysiologische variabelen.

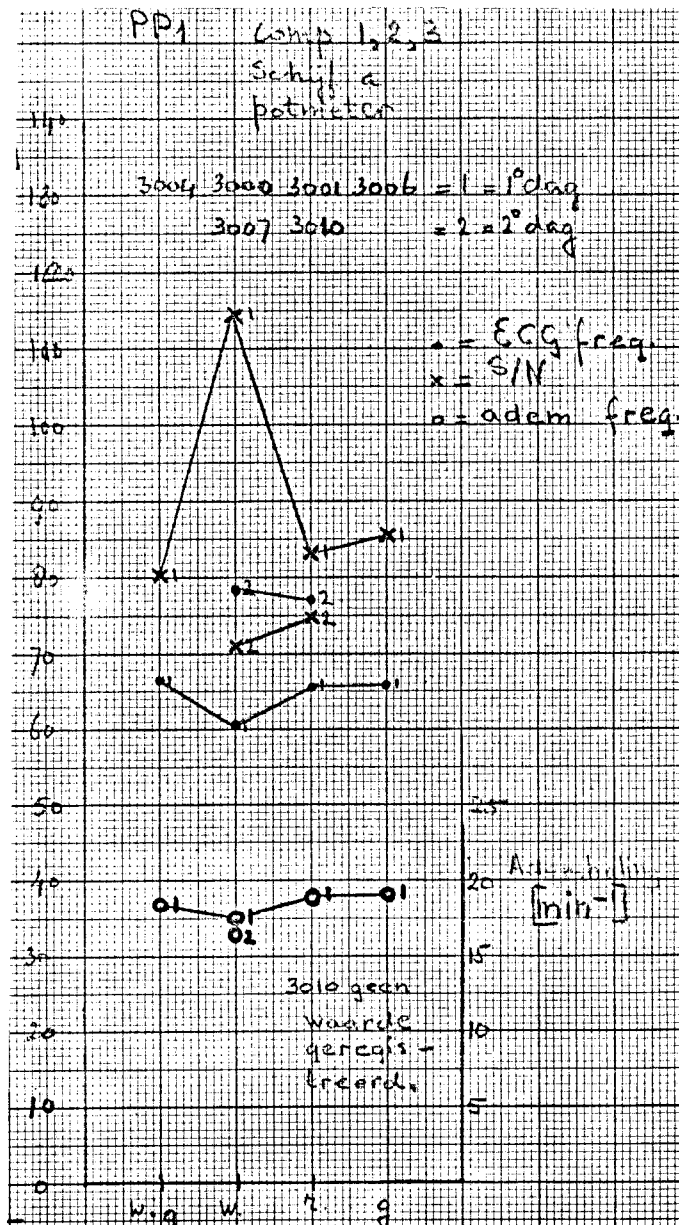
De fysiologische variabelen; hartfrequentie, hartslagvariabiliteit, en ademfrequentie, zijn in grafiekvorm weergegeven als functie van de verschillende taakkondities. Bij de meetpunten in de grafieken zijn de proefnummers aangegeven.

Uit de proefopzet en de grafieken blijkt dat er slechts enkele taakkondities herhaald geregistreerd zijn. Het is daarom niet mogelijk om betrouwbare konklusies te trekken. Toch zijn er aan de hand van de grafieken een aantal opmerkingen te maken, die voor volgend onderzoek nuttig zijn.

In het algemeen is de hoeveelheid ruis in fysiologische variabelen zeer groot. Onder ruis verstaan wij dan hier de veranderingen in de variabelen die niet met de taak gekorreleerd zijn.

Er zijn grote veranderingen waar te nemen als men op verschillende dagen registreert, en ook tussen verschillende proefpersonen zijn er zeer grote verschillen in de waarden van de fysiologische variabelen; dit vereist daarom dat men de meetwaarde van de variabele steeds vergelijkt met referentie-waarden van de variabele die voor en na het experiment in een bepaalde konditie opgenomen zijn. (Dit kan een rustkonditie zijn, maar ook een konditie met een lichte taak komt in aanmerking.)

Deze referentie-waarde ontbreekt bij nagenoeg alle metingen.



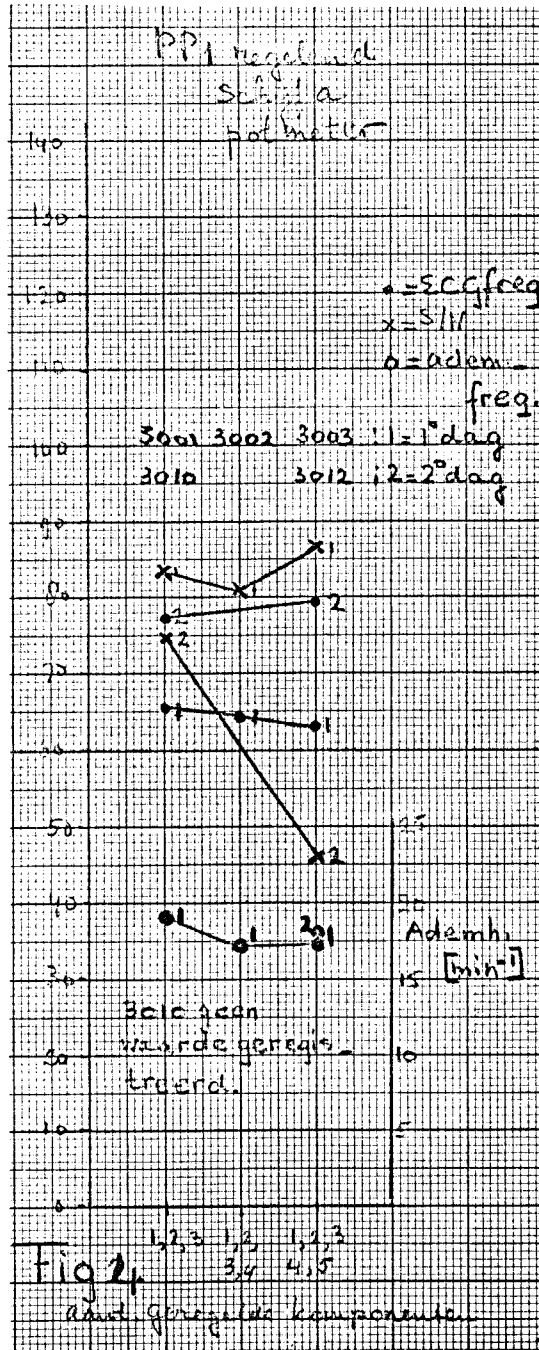
Bij de 1e. meting met de 2e. proefpersoon zijn wel steeds referentie-waarden geregistreerd (ogendicht, geen taak uitvoeren of waarnemen van het te regelen signaal.) Bij deze metingen kunnen echter volgorde-effecten verondersteld worden, waardoor geen "harde" uitspraak gedaan kan worden m.b.t. verschillen tussen de kondities (in volgorde van meting) ogen dicht, waarnemen, regelen of volgen.

5.1.1. De verschillende kondities waarnemen, regelen, genereren, en het waarnemen van het geregelde signaal gemeten bij proefpersoon 1 zijn in Fig. 3 weergegeven op de horizontale as.

Fig 3 w.g = waarnemen geregeld signaal  
 w = waarnemen  
 r = regelen  
 g = genereren

De meetpunten voor S/N en hartfrequentie geven geen verklaarbare trend te zien. Het zeer grote verschil tussen de waarden voor waarnemen bij de 1e. en de 2e. meting doet echter wel de vraag naar voren komen of men van deze slecht gedefinieerde taakkonditie wel een betrouwbaar resultaat mag verwachten. Ook de gemeten ademfrequentie geeft geen aanwijzingen.

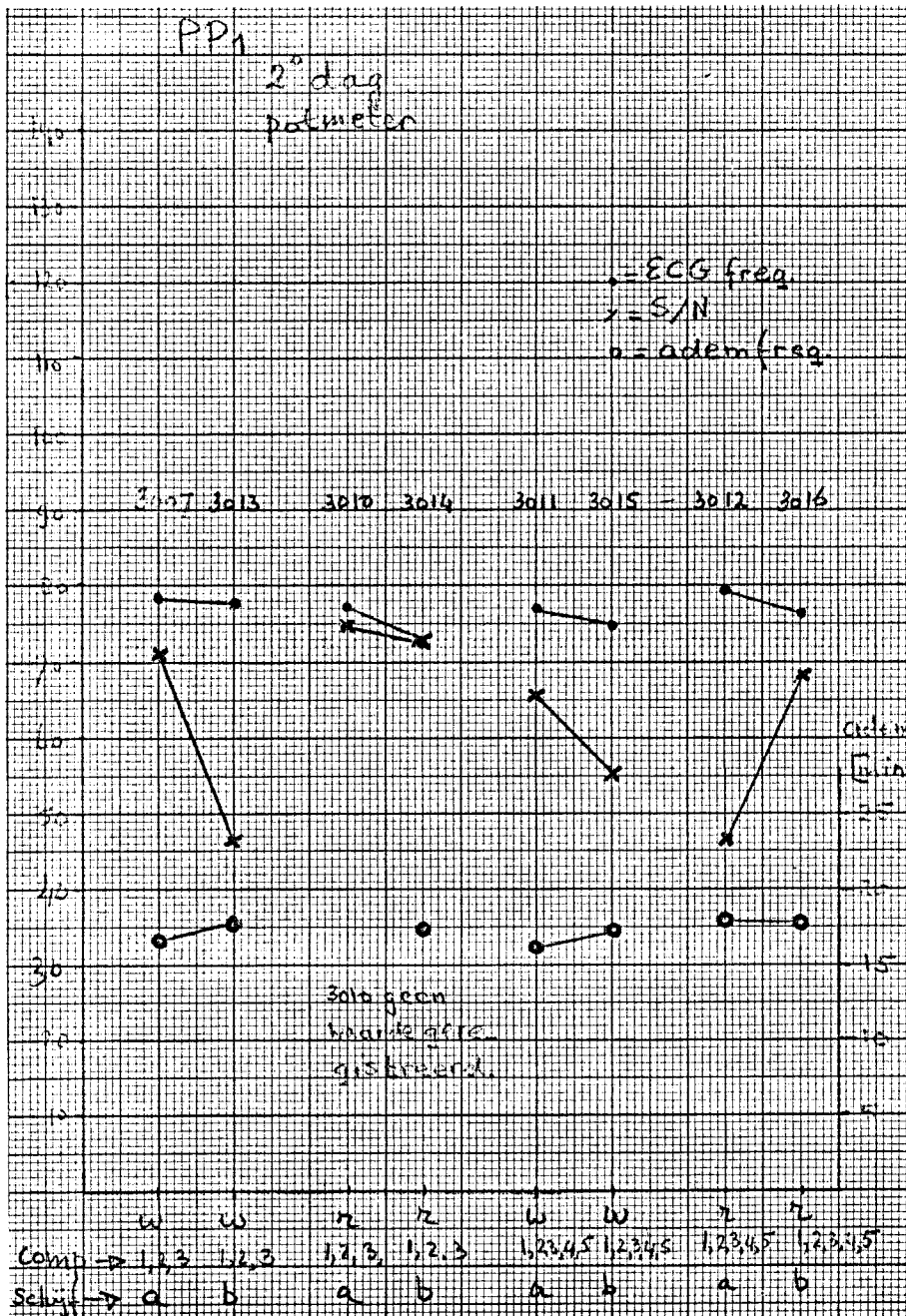
5.1.2. In Fig.4. worden de meetwaarden vergeleken bij toenemende bandbreedte van het ingangssignaal.





Uitgezonderd meetpunt 3003 (5 componenten, 1e.dag) is de figuur zoals men zou kunnen verwachten: afnemende S/N bij toenemend aantal componenten. Het meetpunt 3003 zou men dan als volgt verklaren: De proefpersoon heeft de taak laten "schieten". Dit zou dan goed overeenkomen met restruis in het foutsignaal, welk in dit geval ca. 8% is, in tegenstelling tot de meting op de 2e. dag met ca. 45% ruis wat betekent dat op de 2e. dag wel een goede regelspanning is gegeven. Ook hier geeft de ademfrequentie-verandering geen informatie

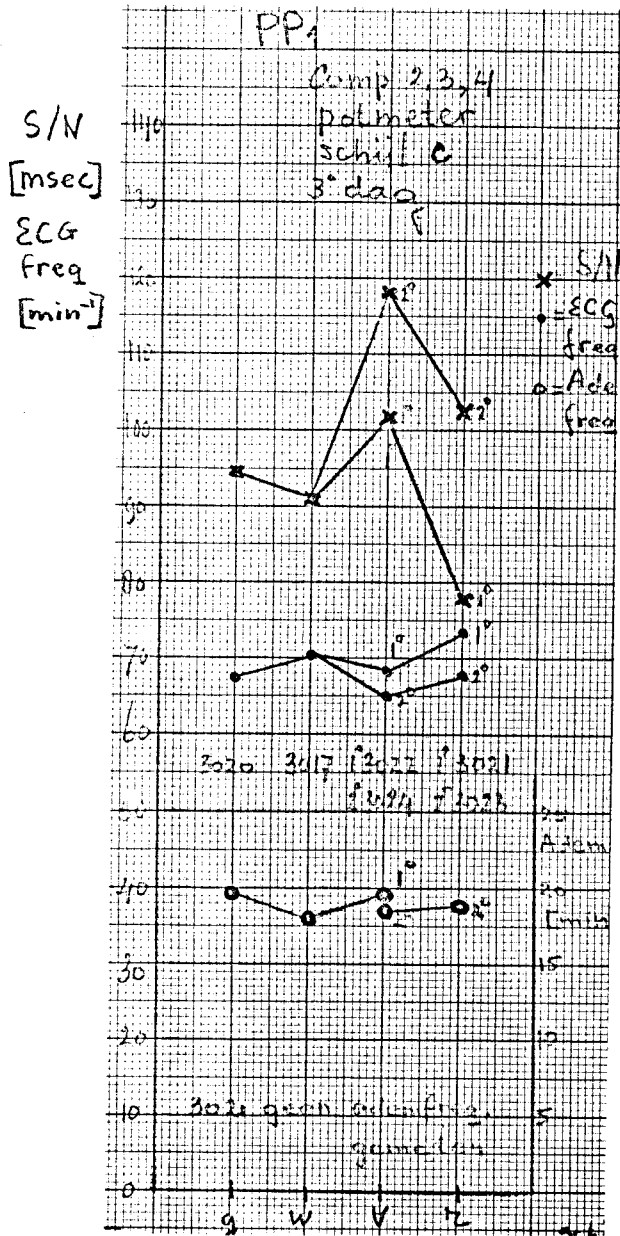
5.1.3. De invloed van twee verschillende typen displays op de S/N, hartfrequentie en ademfrequentie is weergegeven in Fig.5.



Voor drie van de vier kondities geeft display type b een licht afnemende hartfrequentie en een sterker afnemende waarde voor S/N. De ademfrequentie neemt iets toe bij display b. Bij het regelen van 5 componenten is de waarde voor S/N voor type b veel hoger dan voor type a. Bij vergelijking van de overdrachtsfuncties en de restruisenergie is er een duidelijke afname van versterkingsfactor te zien voor schijftype b (0.5 tot 0.25); de restruis in het uitgangssignaal is ca. 3.5 maal hoger in dit geval. Men zou kunnen zeggen dat de proefpersoon, om welke reden dan ook, de taak niet naar behoren heeft uitgevoerd.

Fig 5. w = waarnemen  
r = regelen

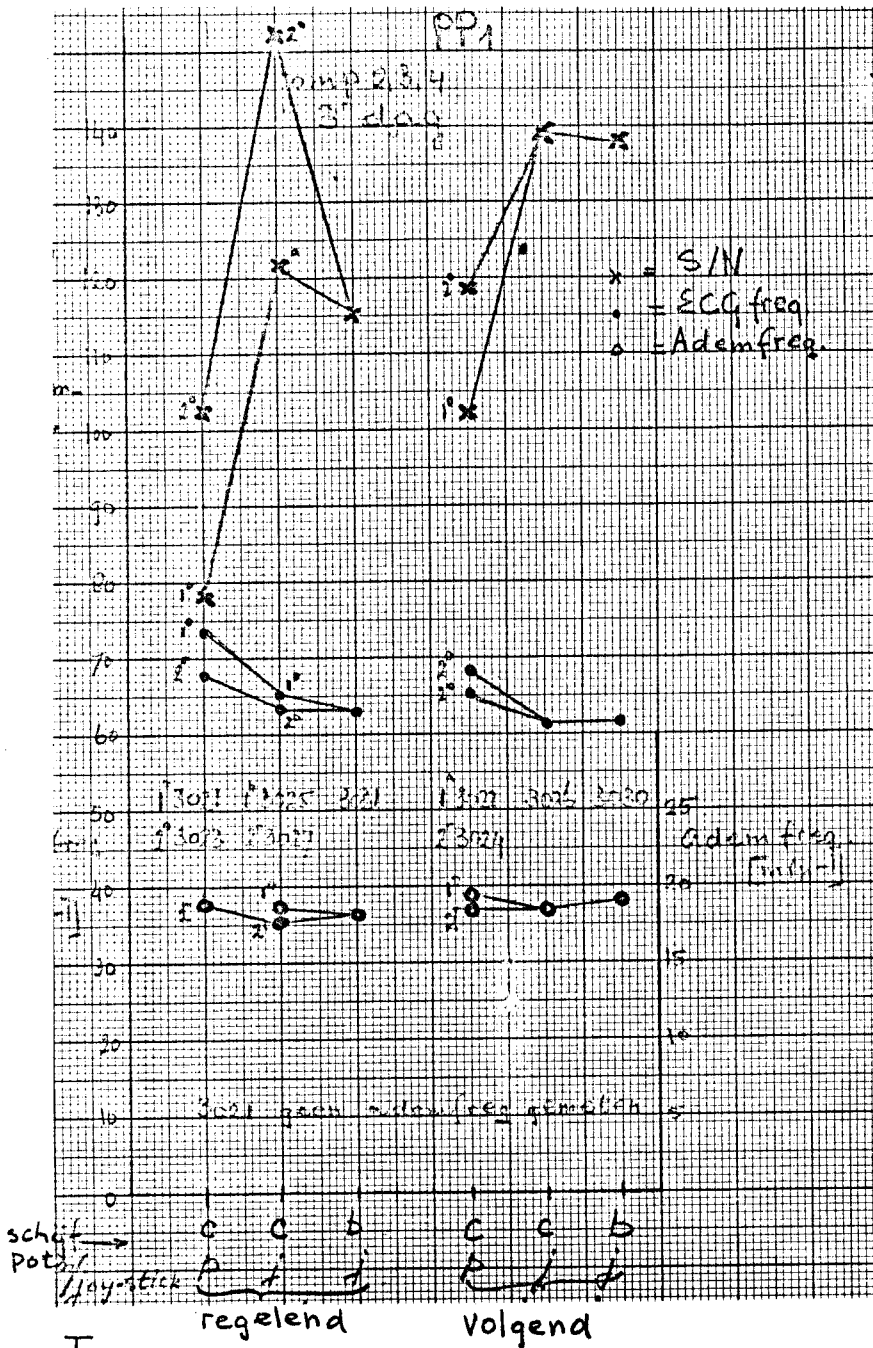
5.1.4. In Fig.6. zijn voor proefpersoon 1 op de 3e meetdag vier verschillende taakkondities uitgezet. De taakkondities genereren en waarnemen zijn slecht gedefinieerd en geven ook hier waarden voor de hartfrequentie, S/N en ademfrequentie waar niets over te zeggen valt. De meetwaarden voor de kondities volgen en regelen laten zien dat in dit geval regelen meer invloed heeft op de S/N waarden. De ademfrequentie is hier weer tamelijk konstant. Over restruisenergie en overdrachtsfunctie is niets te zeggen.



g = genereren  
w = waarnemen  
v = volgen  
r = regelen

Fig 6

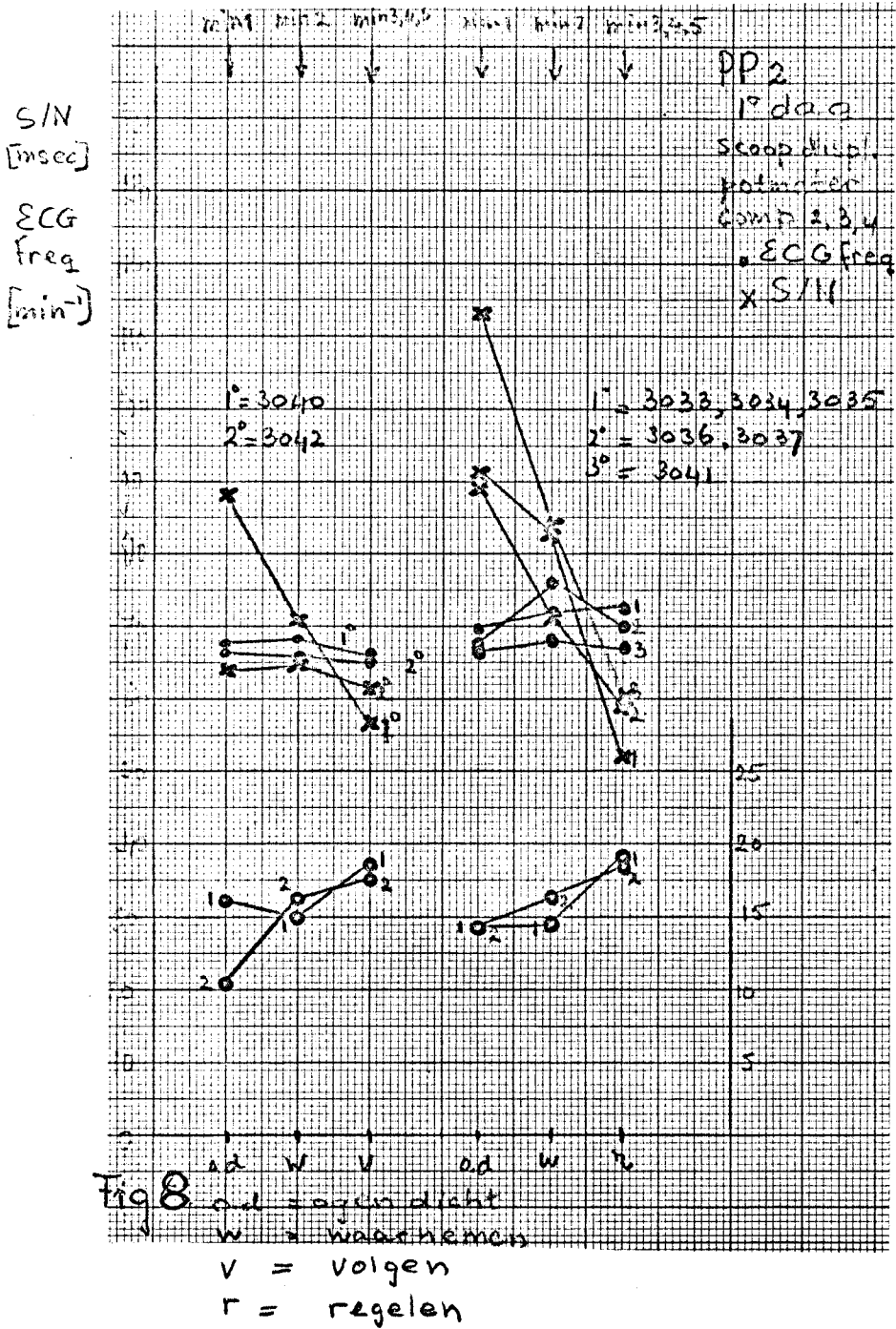
5.1.5. Een vergelijking tussen potentiometer en joystick, zie Fig.7, laat zien dat de potentiometer bij proefpersoon 1 een veel grotere onderdrukking geeft van de hartslagonregelmatigheid met een toename van de hartfrequentie bij gelijkblijvende ademfrequentie.



Uit dezelfde figuur zien wij dat een vergelijking tussen de display typen c en b, konstante ademfrequentie en hartfrequentie laat zien, met een afnemende S/N waarde bij display type b.

Fig 7.

5.1.6. In Fig.8. zijn voor proefpersoon 2 de taakkondities ogen dicht, waarnemen, volgen of regelen uitgezet met de potentiometer als regelorgaan. Bij dit experiment kunnen echter volgorde-effecten door het steeds in vaste volgorde herhalen van taakkondities verondersteld worden.



Uit de figuur blijkt dat zowel de adempfrekwentie toeneemt als de S/N afneemt, terwijl de hartfrequentie konstant blijft bij toenemende taakmoeilijkheid.

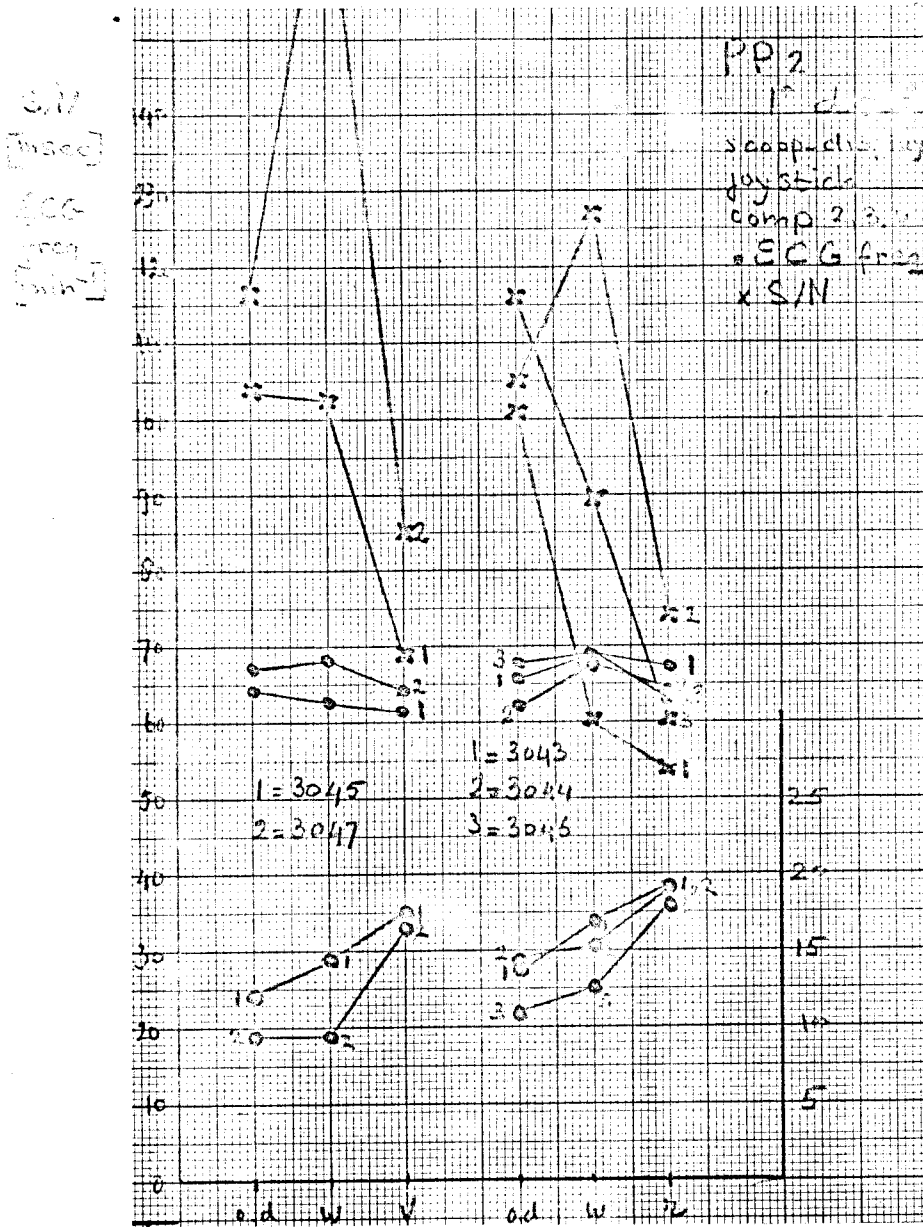


Fig. 9 laat globaal dezelfde resultaten zien voor gelijke opzet van het experiment, maar dan uitgevoerd met de joystick controller. De spreiding van de meetwaarden lijkt in dit geval iets groter te zijn. Vooral de waarden voor de konditie waarnemen lopen zeer uiteen.

Fig 9 o.d = ogen dicht  
 w = waarnemen  
 v = volgen

5.1.7. In Fig.10 zijn de fysiologische waarden uitgezet voor de 2e. meetdag voor de taken genereren, waarnemen, volgen en regelen. Het te regelen proces was in dit geval een integrator. De figuur spreekt voor zichzelf; er is geen gevolgtrekking te maken.

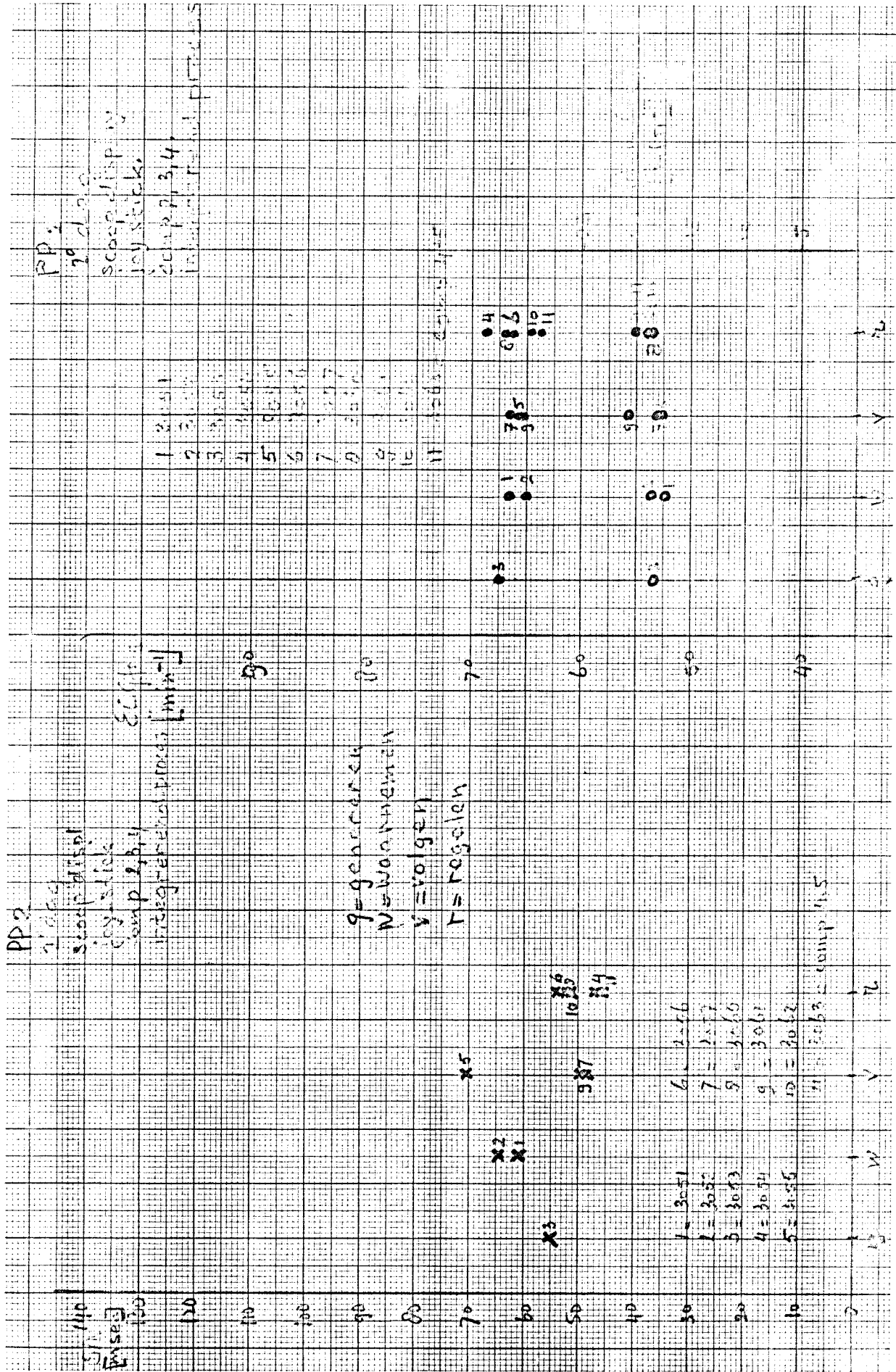


Fig 10a

Fig 10b

## 5.2. Konklusies-opmerkingen.

- a Het betreffende onderzoek is niet juist opgezet om konklusies te trekken m.b.t. de verschillen in belasting. Dit was ook in eerste instantie niet de bedoeling.
- b Het aantal proefpersonen is te klein om meer dan indicatieve informatie te verkrijgen.  
Terwijl proefpersoon 2 (Fig.8 en 9) duidelijke veranderingen in ademfrequentie laat zien, heeft proefpersoon 1 onder alle omstandigheden een tamelijk konstante ademfrequentie. Om tot algemene uitspraken te komen, moeten daarom de trends van meer proefpersonen met elkaar vergeleken worden.
- c Gezien de grote verschillen in fysiologische variabelen die voor één proefpersoon van dag tot dag en van uur tot uur kunnen plaatsvinden, moet steeds een referentiewaarde gemeten worden (rust, of taakkonditie met lichte taak) voor en na de proef.
- d De kondities genereren, rust, waarnemen zijn uit het oogpunt van het bepalen van belasting slecht gedefinieerd. Het is niet bekend in hoeverre de proefpersoon de gegeven opdracht uitvoert. Het waarnemen kan bijv. op veel verschillende niveaus van inspanning gedaan worden.
- e Het aantal gewijzigde parameters in de proefopstelling is vrij groot; taken, displays, regelorgaan en bandbreedte ingangssignaal.
- f De berekende overdrachtsfuncties en restruisenergie (dus performance) kon in enkele gevallen gebruikt worden om buitengewone meetwaarden van de fysiologische variabelen te beredeneren.

## 6.Samenvatting.

Er is getracht een kritische beschouwing te geven over een serie experimenten met eenvoudige regel- en stuurtaken, die deels gericht waren op de bepaling van de belasting van de menselijke regelaar.

De bij het Laboratorium voor Werktuigkunde, Meet-& Regeltechniek te DELFT (M. Dubois) uitgevoerde experimenten zijn hiertoe uitgewerkt m.b.t. de geregistreerde ECG en ademhalingsfrequentie.

De resultaten zijn besproken m.b.t. belasting enerzijds en experimentopzet anderzijds.

Een aantal konklusies en aanbevelingen worden aan de hand hiervan gegeven.