

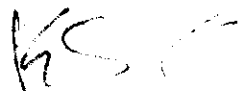
WERKGROEP EXPERIMENT NATUURBEHEER RIJKSLANDAAFWINNINGSWERKEN

Aan geadresseerde

19-09-86

Hierbij heb ik het genoegen U een rapport over de ontwikkeling van de hoogte en de omvang van de kwelders in de landaanwinningswerken in Groningen en Friesland aan te bieden. De aanleiding voor de studie was een uitspraak van de minister van VROM dat uitbreiding van het kwelderareaal meer voor de hand ligt dan inkrimping. De uitvoering was in handen van bovenvermelde werkgroep, waarin verschillende diensten en vakgebieden samenwerken. Deze studie was niet mogelijk geweest als niet 25 tot 35 jaar lang zeer stelselmatig metingen in de landaanwinningswerken zouden zijn uitgevoerd. De in het rapport genoemde vervolgstudies zijn inmiddels in gang gezet.

Namens de werkgroep,
hoogachtend,



Drs. K.S. Dijkema

Correspondentieadres: Postbus 59, 1790 AB Den Burg, Texel
tel. 02226-343

De ontwikkeling van de hoogte en van de omvang van de kwelders in de landaanwinningswerken in Friesland en Groningen.

Inhoud

0. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen	1
1. Inleiding	3
2. Methoden	5
2.1. Basisgegevens hoogte	5
2.2. Verwerking hoogtegegevens	5
2.3. Vegetatie	8
3. Hoogte	14
3.1. Beschrijving van de ontwikkeling van de hoogte van 1960-1985	14
3.2. Verband tussen de opslibbingssnelheid en de hoogte	31
3.3. Verwachte ontwikkeling van de hoogte tot 2000	39
4. Vegetatie	41
4.1. Te verwachten verschuiving van de grens met een bedekking van 5% kweldergras op grond van de hoogteontwikkeling	41
4.2. Waargenomen verschuiving van de grens met een bedekking van 5% kweldergras	42
5. Discussie over de ontwikkeling van de hoogte en van de vegetatie	47
5.1. Hoogwaterrijzing	47
5.2. Bodemdaling door gaswinning	52
5.3. Veranderingen in de wijze van begreppeling	52
5.4. Veranderingen in beweiding	55
Literatuur	57

0. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

In de periode 1960-1985 heeft in het uiterste westelijke deel van de Friese landaanwinningswerken een grote opslibbing van ca. 60 cm plaatsgevonden. Naar het oosten neemt de opslibbing af tot gemiddeld 15 cm, maar deze loopt bij de veerdam van Holwerd weer op tot 55 cm. Ten oosten daarvan bedraagt de opslibbing ca. 28 cm. Het Groninger gedeelte vanaf het Lauwersmeer tot aan Noordpolderzijl laat voor dezelfde periode een opslibbing zien van gemiddeld 27 cm. Verder naar het oosten neemt de opslibbing af tot enkele centimeters, met in één vak zelfs erosie.

In de landwaarts gelegen helft van de meetvakken is de opslibbing meestal groter dan in de zeewaartse helft. Daardoor wordt vooral in de Friese meetvakken de terreinhelling steeds groter. In vijf van de 33 meetvakken treedt in de zeewaartse helft erosie op.

Uit extrapolatie van de gegevens blijkt dat de waargenomen trend zich in de meeste gevallen kan voortzetten. Tot aan het jaar 2000 is de verdere opslibbing geschat op gemiddeld 14 cm, hetgeen ca. 1 cm per jaar betekent. Aan deze extrapolatie kleven vele onzekerheden, vooral veroorzaakt door variaties in natuurlijke factoren en het groter worden van de terreinhelling.

De maximale opslibbingssnelheid (berekend voor 1975) is aangetroffen op het niveau van N.A.P. + 1,00 tot 1,20 m, de zone waarin de gesloten vegetatie van de lage kwelder ontstaat. Een lager maximum treedt op tussen N.A.P. en N.A.P. + 0,30 m, gelegen in de buitenste delen van de vakken. De laagste opslibbingssnelheid, en in veel gevallen zelfs erosie, is gevonden in de nog juist onbegroeide zone tussen N.A.P. + 0,40 en 0,70 m.

Op grond van deze opslibbing zou verwacht mogen worden dat de buitengrens van de kwelder (gedefinieerd als terrein met een bedekking met tenminste 5% kweldergras) in de periode 1960-1985 met gemiddeld 8 m per jaar naar zee zou zijn geschoven, terwijl tot 2000 een iets geringere aanwas te verwachten zou zijn. In oppervlakte zou dit voor de periode 1960-1985 500 ha kwelderaanwas in Friesland en 700 ha in Groningen hebben moeten betekenen, terwijl daar tot 2000 nog eens totaal 500 ha aanwas bij zou kunnen komen.

Aan de hand van de ligging van de 5%-kweldergrasgrens blijkt de kwelderaanwas echter sterk bij de opslibbing achter te blijven. In Friesland is de verwachte aanwas nagenoeg gehaald, maar dat is hoofdzakelijk aan twee gebieden met snelle opslibbing te danken (in het westen en bij de veerdam van Holwerd). In Groningen is ondanks de voortgaande opslibbing in de periode 1970-1985 bijna evenveel kwelder verloren gegaan als in de periode 1960-1970 is gewonnen. Dit betekent dat de 5%-kweldergrasgrens in de periode 1965-1985 hoger (= ongunstiger) is komen te liggen: voor het grootste deel van de Friese kust 16 cm hoger en voor de Groninger kust zelfs 30 cm. Alleen in het westelijke deel van de Friese landaanwinningswerken ligt deze grens nu 5 cm lager (= gunstiger).

Wegens de onverwachte resultaten van deze studie is het nog niet mogelijk op grond van de voorspelling van de hoogtetoename de kwelderaanwas voor de komende jaren te schatten. De aandacht is daarom gericht op de mogelijke oorzaken van de ongunstige verschuiving van de 5%-kweldergrasgrens en daarmee de verminderde groei dan wel afname van de kwelders.

Als één van de oorzaken wordt gedacht aan de hoogwaterrijzing, die hier voor de periode 1960-1985 op 5 tot 8 cm is geschat, terwijl daar tot 2000 nog 3 tot 5 cm bij zouden kunnen komen. Dat zou in Friesland 1/3 van de verschuiving van de 5%-kweldergrasgrens naar boven en in Groningen 1/6 daarvan kunnen verklaren. Voor het merendeel van de landaanwinningswerken is deze hoogwaterrijzing 1/5 deel van de opslibbing, maar langs de Lauwerpolder en de Emmapolder zijn opslibbing en hoogwaterrijzing even groot. De bodemdaling door gaswinning zal ook langs deze polders een rol gaan spelen, maar die is tot nu toe niet groot geweest. Als hoofdoorzaak blijven veranderingen in het onderhoud van de landaanwinningswerken over. Deze zouden de omstandigheden voor de plantengroei verslechterd kunnen hebben. De vegetatie wordt minder drooggelegd en meer verstikt. Dat zou experimenteel onderzocht moeten worden met greppelmethoden die gericht zijn op stabielere omstandigheden voor de plantengroei.

Aanbevolen wordt in een vervolgstudie na te gaan of ook voor de andere zouttolerante planten en voor de vegetatietypen als geheel de relatie met de hoogteligging is veranderd. Verder zullen in die studie de relaties tussen de hoogte, de vegetatie en de beheersmaatregelen dienen te worden bestudeerd.

1. Inleiding

In het RIN-rapport "Cumulatie van ecologische effecten in de Waddenzee" (Dijkema et al. 1985) is aannemelijk gemaakt dat het kwelderareaal in de Nederlandse Waddenzee globaal de helft is van wat bij een evenwichtige verdeling van de milieutypen mogelijk zou zijn. Het tekort wordt geraamd op 75 km² en is ontstaan door cumulatie van de effecten van indijkingen over een periode van eeuwen. Zonder landaanwinningswerken en stuifdijken zou dit tekort nog 50 km² groter zijn geweest.

Tijdens het symposium "De Waddenzee beheerst beheerd" op 26-09-1985 te Leeuwarden heeft minister Winsemius van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer naar aanleiding van dat rapport gesteld dat uitbreiding van het kwelderareaal meer voor de hand ligt dan inkrimping: "We moesten de natuur maar eens decennia lang haar gang laten gaan en eventueel een handje helpen". Genoemde uitspraak is voor de Hoofddirectie van de Waterstaat aanleiding geweest om de directies Noord-Holland, Friesland en Groningen van de Rijkswaterstaat te verzoeken de wenselijkheid en de mogelijkheden van kunstmatige kweldervorming na te gaan. Hiertoe is een tijdelijke "Werkgroep Omvang Kwelders" samengesteld met vertegenwoordigers van de directies Noord-Holland, Friesland en Groningen van de Rijkswaterstaat, het Rijksinstituut voor Natuurbeheer en de directie Natuur, Milieu en Faunabeheer van het Ministerie van Landbouw en Visserij. Deze werkgroep stuitte op twee vragen met betrekking tot de landaanwinningswerken:

1. Hoeveel kwelderaanwas (of erosie) is er in de komende decennia in de landaanwinningswerken te verwachten?
2. Is het mogelijk het proces van kwelderaanwas in de landaanwinningswerken te versnellen?

Op het moment dat die vragen werden gesteld, is een RWS-RIN-RIJP werkgroep "Experiment Natuurbeheer Rijkslandaanwinningswerken" juist gestart om 25 jaar lange meetreeksen aan hoogte, bodem en vegetatie te verwerken. Het onderzoek is gericht op de effecten van het onderhoudswerk op de kweldervorming. Om bovengenoemde vragen snel op te kunnen lossen krijgt deze werkgroep statistische ondersteuning van de afdeling Advies en Onderzoek van de directie Groningen van de Rijkswaterstaat. In een onderzoek tot medio 1986 zal vraag 1 worden opgelost en vraag 2 verkend.

Daarna zouden voor medio 1987 de relaties tussen hoogte, vegetatie en beheersmaatregelen onderzocht moeten worden. Dat maakt een antwoord op vraag 2 mogelijk.

Omdat deze studie een deel van de taak van de RWS-RIN-RIJP werkgroep omvat, zal tevens aan de stuurgroep "Experiment Natuurbeheer Rijkslandaanwinningswerken" worden gerapporteerd. Deze stuurgroep bestaat uit vertegenwoordigers van de Rijkswaterstaat (directies Groningen en Friesland en de dienstkring Baflo), de Vereniging van Oevereigenaren, de directie Natuur, Milieu en Faunabeheer van het Ministerie van Landbouw en Visserij, de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders en het Rijksinstituut voor Natuurbeheer.

Voor deze nota zijn waardevolle ideeën geleverd door ir. R.J. de Glopper van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders.

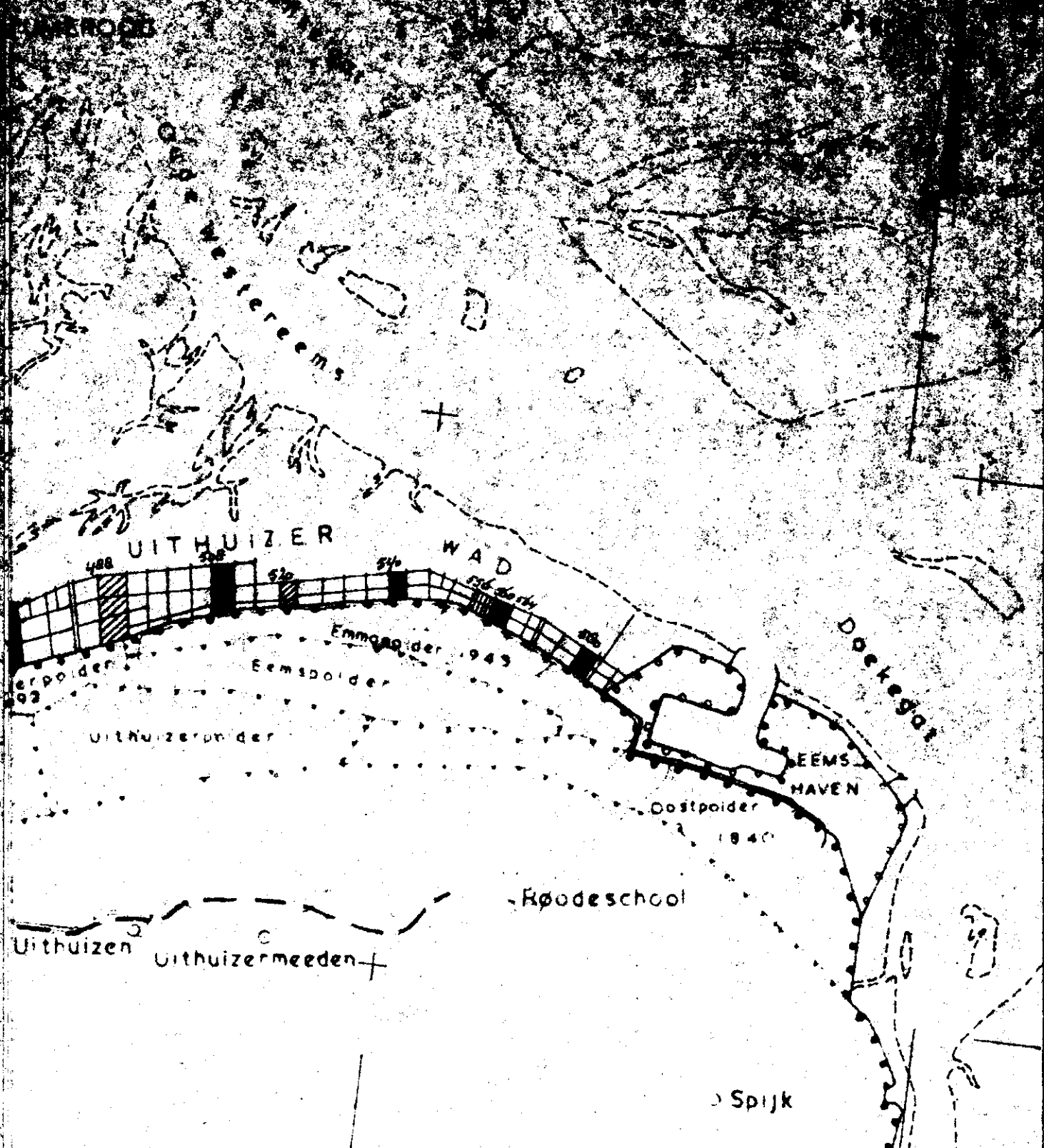
2. Methoden

2.1. Basisgegevens hoogte

In de landaanwinningswerken ligt op regelmatige afstand van elkaar een aantal meetvakken: 15 in Friesland en 18 in Groningen (figuur 1a). De onderverdeling van deze bezinkvelden en de aanduiding van de subvakken is aangegeven in figuur 1b. In deze meetvakken zijn door de Dienstkring Baflo van de Rijkswaterstaat o.a. hoogtemetingen uitgevoerd, aanvankelijk jaarlijks, later onregelmatiger. De huidige meetmethode is in Groningen vanaf 1960 en in Friesland vanaf 1962 toegepast. In een bezinkveld van 400 m x 400 m liggen vier meetlijnen van elk ca. 400 m lengte evenwijdig aan de kust. Elke meetlijn ligt midden door een rij van vier subvakken dwars over de akkers. De hoogte wordt op de meetlijn iedere meter opgenomen. Per meetlijn is voor iedere opname het gemiddelde berekend, waarbij de uitwateringen niet zijn meegerekend. De gemiddelde waarde wordt negatief beïnvloed omdat de greppels ook in de berekening van het gemiddelde zijn verwerkt. De gemiddelde hoogte van de meetlijn is daardoor ca. 2 cm lager dan het gemiddelde van de akkers.

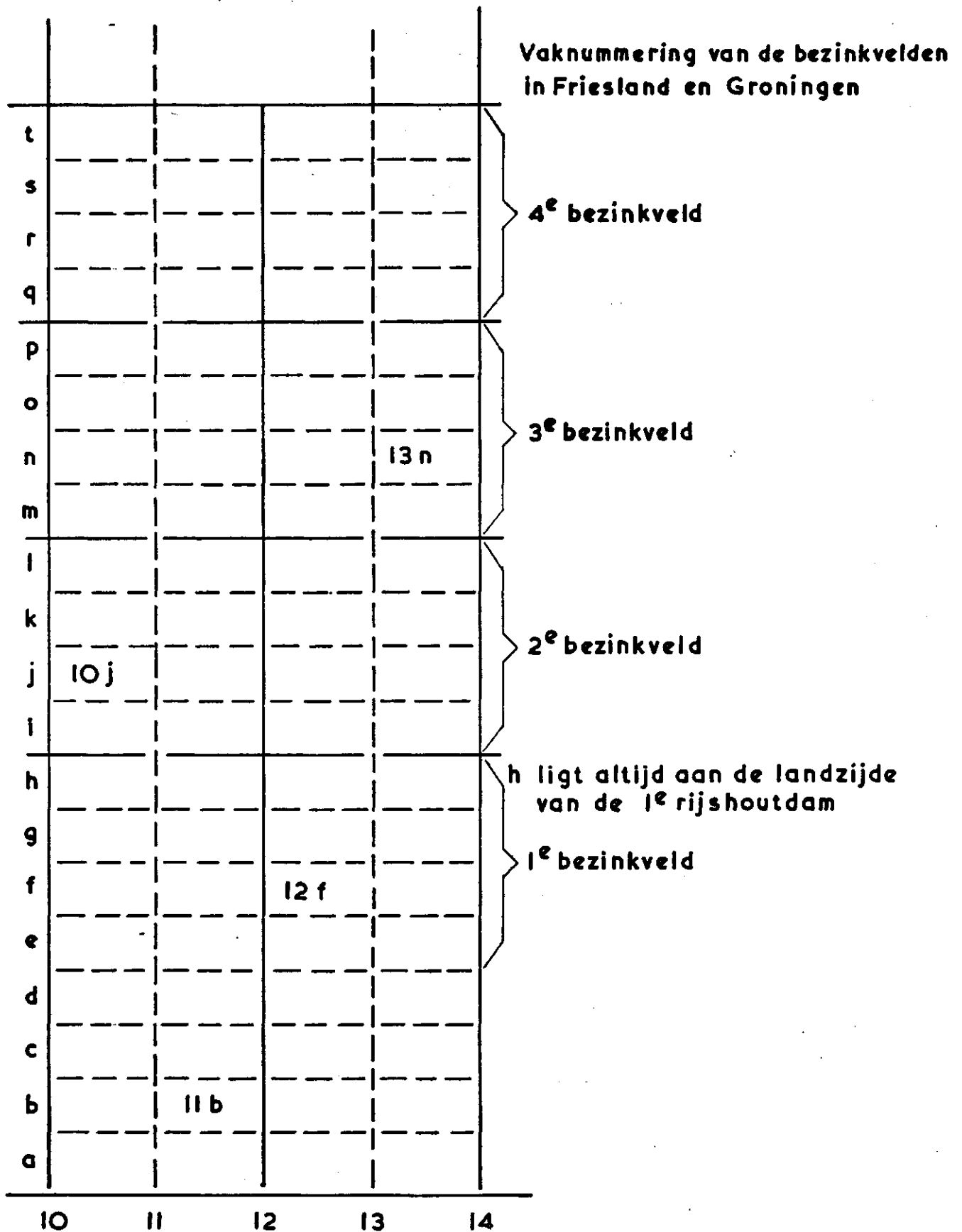
2.2. Verwerking hoogtegegevens

De hoogtegegevens van de meetvakken vanaf 1960 zijn verzameld in een bestand, teneinde bewerking van de gegevens met de computer mogelijk te maken. In dit bestand zijn de gemiddelde hoogten per meetlijn en het jaar van opname vastgelegd vanaf 1960 t/m het laatste jaar van opname. Voor elke rij subvakjes (a t/m s) is volgens de methode van de kleinste kwadraten de lineaire regressielijn, $y = ax + b$, berekend. Er is gekozen voor de methode van de lineaire regressie, omdat bij beschouwing van een grafische weergave van de meetgegevens vastgesteld kan worden dat in de meeste gevallen de hoogte lineair in de tijd toeneemt. De regressiefactor (a) vertegenwoordigt de gemiddelde jaarlijkse hoogteverandering in cm. De constante (b) vertegenwoordigt de aanvangshoogte voor $t=0$, waarvoor het jaar 1900 is aangehouden. Deze aanvangshoogte heeft echter geen reële betekenis, omdat 1900 te ver buiten het toepassingsinterval van de berekening ligt. Voor de beoordeling van de correlatie tussen de hoogteverandering en de tijd zijn de



R PAIR	RIJKSWATERSTAAT DIENTSKRING BAFLO		OOSTELIJKE WADDEN	
			OVERZICHTSTEKENING MEETVAKKEN	
VAK	6/8-79 15/486		SCHAAAL 1:10000 A 5 79042	

Fig. 1 b



correlatiecoëfficiënt (r) en het kanspercentage (p) voor een hoogteverandering 0 ($a=0$) berekend. De eveneens berekende 95%-betrouwbaarheidsintervallen maken een correcte beoordeling van een extrapolatie in de tijd mogelijk. Dit is vooral van belang in de gevallen waar de correlatie gering is, omdat de regressiefactor zeer klein is.

In het algemeen is er een sterke correlatie. Een voorbeeld geeft figuur 2. In enkele gevallen zijn er voor een betrouwbare berekening te weinig gegevens. Dit geldt vooral voor de meetvakken 540, 560 en 580 (Emmapolder in Groningen; figuur 3). Soms is een trendbreuk in de reeks waarnemingen aanwezig. Als deze breuk vóór 1970 optreedt is de regressieberekening uitgevoerd met uitsluiting van de gegevens vóór de trendbreuk, b.v. in het geval van figuur 4a is een herberekening uitgevoerd vanaf 1966 (zie figuur 4b). In de meeste gevallen waarin een trendbreuk optreedt, ligt deze in de jaren 1966 of 1967.

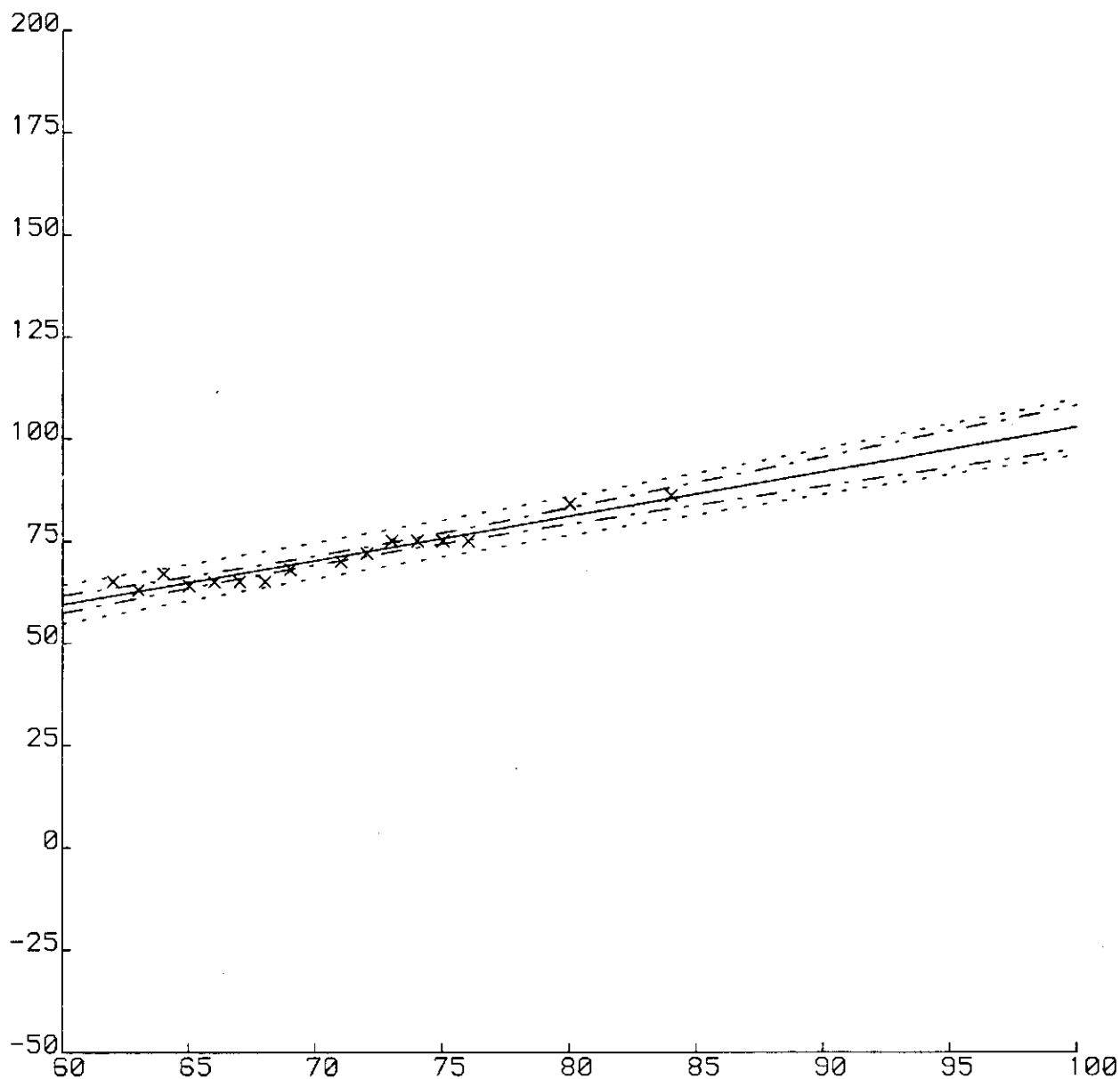
De meetlijnen liggen dwars over de akkers en de greppels. In het bestand zijn van elke meetlijn de jaarlijkse gemiddelden ingevoerd. Die gemiddelde hoogten worden in hoofdstuk 4 gebruikt om de milieumomstandigheden voor de vegetatie te beoordelen. Die werkwijze is alleen betrouwbaar als de dwarsprofielen van de akkers vergelijkbaar blijven. Dat is getoetst door voor vier meetlijnen de cumulatieve verdeling van de hoogten van de meetpunten voor 1962 en 1985 te vergelijken. In geval van gelijkvormigheid van beide krommen is het dwarsprofiel hetzelfde gebleven. Dit is in de getoetste gevallen globaal het geval. De meetlijnen zijn dus in hun geheel in hoogte toegenomen, zonder dat de onderlinge hoogteverschillen van de meetpunten in de meetlijn significant zijn veranderd.

2.3. Vegetatie

De vegetatie in de landaanwinningswerken is jaarlijks door de Dienstkring Baflo van de Rijkswaterstaat gekarteerd. Daartoe zijn per subvak (100 m x 100 m) de samenstelling van de vegetatie en de bedekingsgraad van de afzonderlijke plantesoorten opgenomen volgens een aangepaste schaal van Braun-Blanquet. Globaal gesproken groeien beneden gemiddeld hoogwater pioniervegetaties van Engels slijkgras en zee-kraal, daarboven vegetatietypen van de kweldergras-associatie, die op

de lage kwelder thuishoren. In deze rapportage is een bedekking met 5% kweldergras aangenomen als buitengrens van de kwelder. De totale bedekking door vegetatie is op deze grens veel hoger dan 5% door de aanwezigheid van zeekraal en Engels slijkgras. Kweldergras is echter de belangrijkste plant van de lage kwelder. Het is een meerjarige plant, die van jaar tot jaar minder variatie in bedekking vertoont dan de pionierplanten. Een bedekking met 5% kweldergras wordt door de RWS-RIN-RIJP werkgroep als de ondergrens van de "initiële fase van de kweldergrasgemeenschap" beschouwd (vgl. Beeftink, 1965; Dijkema, 1983).

FIGUUR 2



X-as: Jaartal vanaf 1900

Y-as: Hoogte meetlijn in cm t.o.v. NAP

Regressievergelijking: $Y = 1.08X - 5.49$

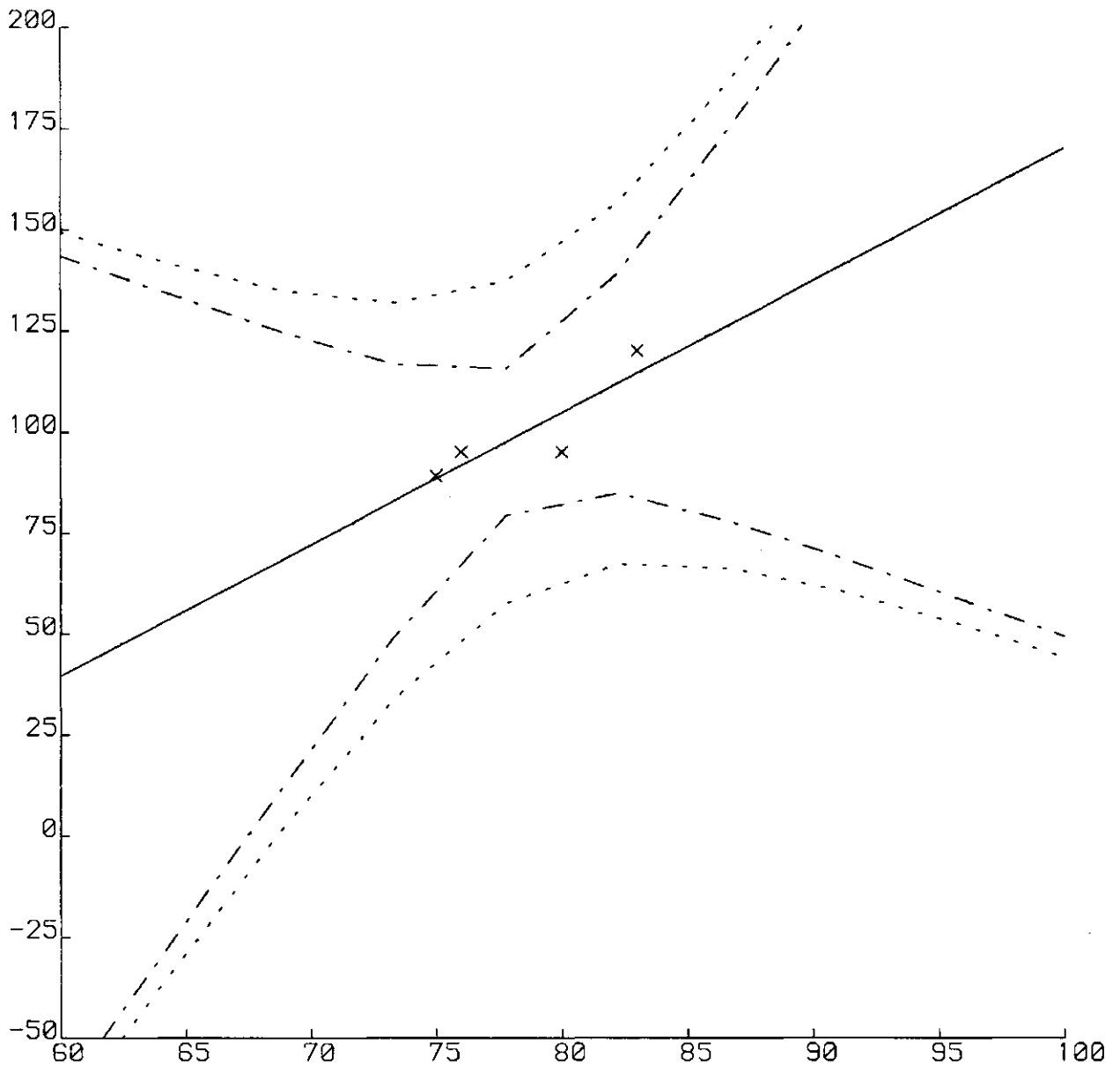
N = 16 r = 0.96

P(a=0) = 0.0 % sd(res) = 1.99

————— Regressielijn
 - - - - - 95.0% bti regressielijn
 95.0% bti punten

rijkswaterstaat directie groningen hoofdafdeling kustbescherming en waterhuishouding	get.	860127 JVMA	Vak 41	
	gew.		Meetlijn F	
	gec.			
	gez.		A1	41-F
FRIESCHE EN GRONINGER WADDEN Werkgroep onderzoek kwelderareaal Trendanalyse hoogteontwikkeling kwelders				

FIGUUR 3



X-as: Jaartal vanaf 1900

Y-as: Hoogte meetlijn in cm t.o.v. NAP

Regressievergelijking: $Y = 3.26X - 155.85$

N = 4 r = 0.87

P(a=0) = 12.7 % sd(res) = 8.25

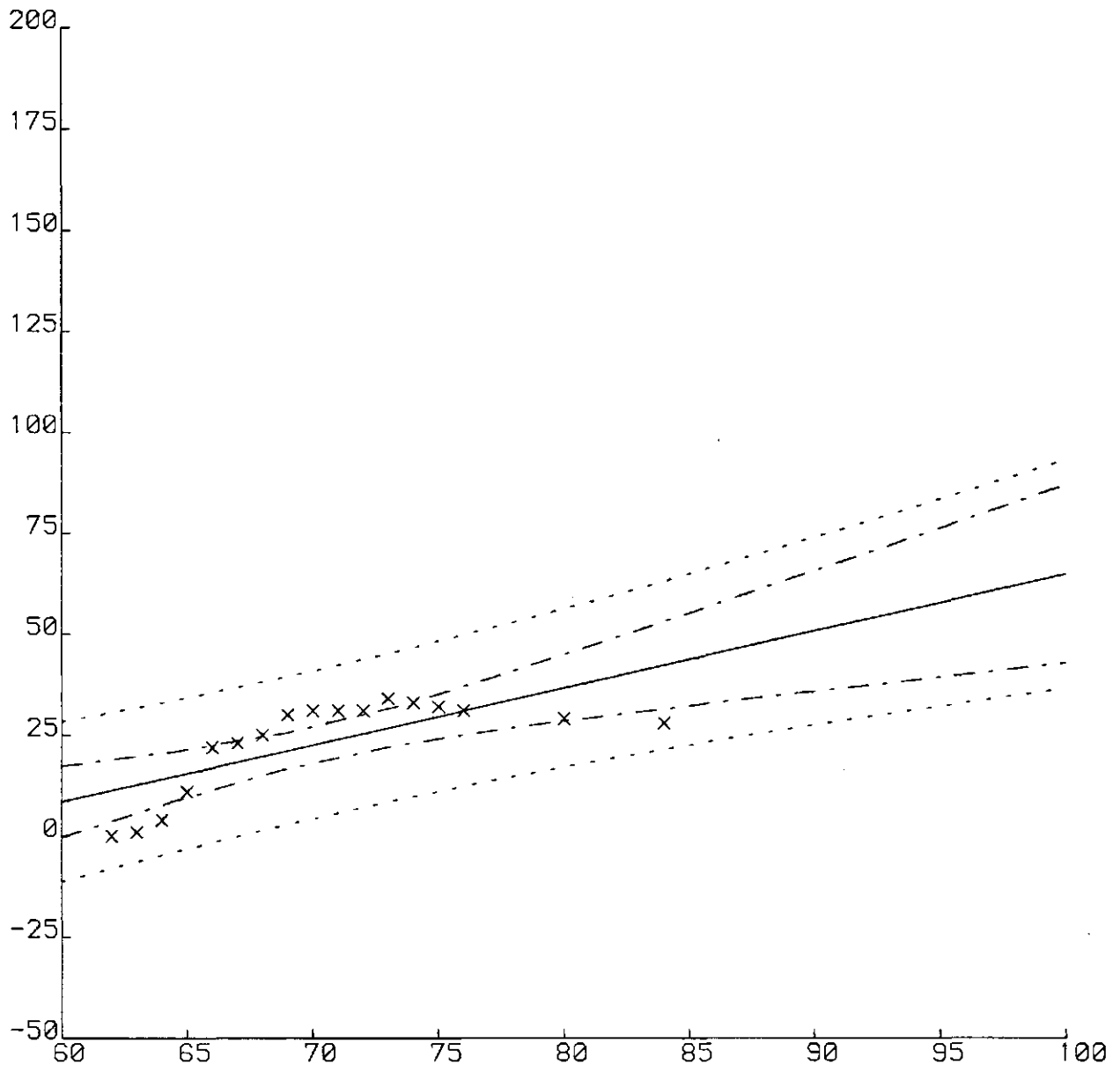
————— Regressielijn
 - - - - - 95.0% bti regressielijn
 95.0% bti punten

rijkswaterstaat

directie groningen
 hoofdafdeling kustbescherming en waterhuishouding

FRIESCHE EN GRONINGER WADDEN
 Werkgroep onderzoek kwelderareaal
 Trendanalyse hoogteontwikkeling kwelders

get.	860127 JVMA	Vak 560
gew.		Meetlijn E
gec.		
gez.		A1 560-E



X-as: Jaartal vanaf 1900

Y-as: Hoogte meetlijn in cm t.o.v. NAP

Regressievergelijking: $Y = 1.40X - 75.64$

N = 17 r = 0.73
P(a=0) = 0.1 % sd(res) = 8.31

————— Regressielijn
- - - - - 95.0% bt1 regressielijn
..... 95.0% bt1 punten

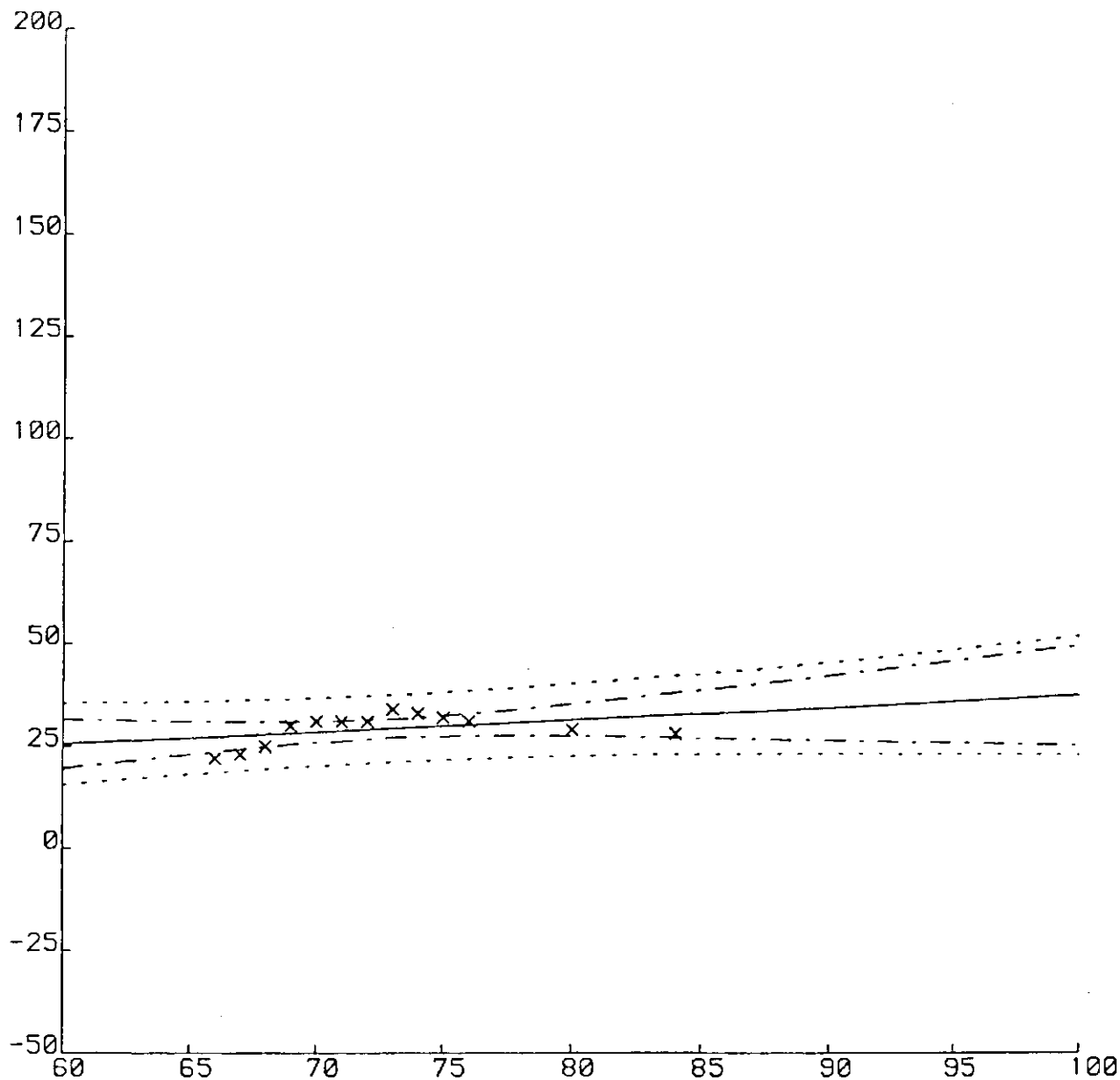
rijkswaterstaat

directie groningen
hoofdafdeling kustbescherming en waterhuishouding

FRIESCHE EN GRONINGER WADDEN

Werkgroep onderzoek kwelderareaal
Trendanalyse hoogteontwikkeling kwelders

get.	060127 JVMA	Vak 69
gew.		Meetlijn N
gec.		
gez.		A1 69-N



X-as: Jaartal vanaf 1900
Y-as: Gemiddelde hoogte meetlijn (cm t.o.v. NAP)

Regressievergelijking: $Y = 0.29X + 7.85$

N = 13 r = 0.41
P(a=0) = 16.7 % sd(res) = 3.57

————— Regressielijn
- - - - - 95.0% bti regressielijn
..... 95.0% bti punten

rijkswaterstaat directie groningen hoofdafdeling kustbescherming en waterhuishouding	get.	860218 JVM	Vak 69	
	gew.		Meetlijn N	
			periode 1966-1984	
	gez.			
FRIESCHE EN GRONINGER WADDEN				
Werkgroep Omvang Kwelders				
Trendanalyse hoogte-ontwikkeling kwelders			A1	069-N

3. Hoogte

3.1. Beschrijving van de ontwikkeling van de hoogte van 1960 - 1985

Bij de beschrijving van de hoogteontwikkeling in de periode van 1960 tot 1985 wordt de hoogteligging van de onderscheiden meetvakken voorgesteld met behulp van de informatie verkregen uit een lineaire regressie-analyse op de meetgegevens. In figuur 5 a t/m i zijn deze hoogten samengevat in hoogteprofielen per meetvak.

De meetvakken zijn ingedeeld in een zestal groepen op basis van geografische ligging en vergelijkbare hoogteontwikkeling. De indeling is als volgt:

groep I:	vak 5 en 21	Friese kust nabij Zwarte Haan
groep II:	vak 41 t/m 183	Friese kust west van Holwerd
groep III:	vak 187 t/m 237	Friese kust oost van Holwerd
groep IV:	vak 260 t/m 336	Groninger kust voor de Westpolder, de Julianapolder en de Negenboerenpolder
groep V:	vak 356 t/m 448	Groninger kust voor de Linthorst-Homanpolder en de Noordpolder
groep VI:	vak 468 t/m 520	Groninger kust voor de Lauwerpolder en de Emmapolder

Beschrijving groep I

Groep I omvat de twee meest westelijk gelegen meetvakken langs de Friese kust. Beide vakken worden gekenmerkt door een tamelijk snelle opslibbing, variërend tussen 1,0 cm en 3,7 cm per jaar. Zij vormen hiermee het snelst opslibbende gedeelte van het totale onderzochte gebied. Dit kan worden verklaard door de ligging nabij de zeer snel opslibbende vlakte van Oosterbierum en het Abt (Kool, 1980). In figuur 6 is de gemiddelde opslibbing in centimeters per jaar weergegeven van het gehele vak en van de landwaartse en zeewaartse helft. In de landwaarts gelegen helft van de meetvakken is de opslibbing sneller geweest dan in de zeewaarts gelegen helft. Daardoor wordt de terreinhellings steiler (figuur 5a en 5b). De gemiddelde hoogte van groep I is van 1960 tot 1985 gestegen met 55,1 cm van N.A.P. + 0,314 m naar N.A.P. + 0,865 m (gemiddeld 2,2 cm per jaar).

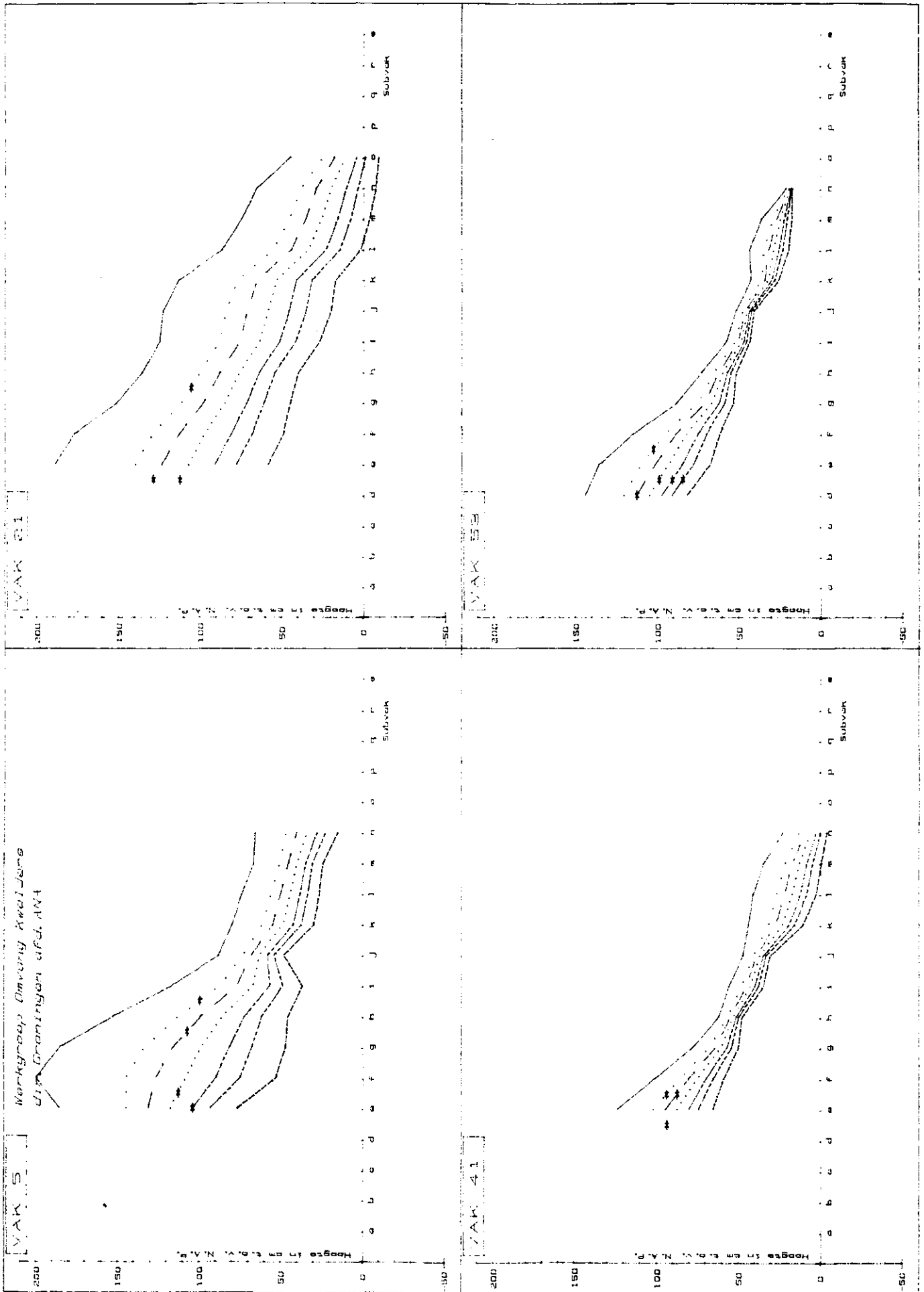
FIGUUR 5

Werkgroep Omvang Kwelders
dir. Groningen afd. ANA

Toelichting bij de hoogte - en vegetatieprofielen van figuur 5 a-i.

- Hoogten zijn uitgedrukt in cm t.o.v. N.A.P.
- De onderverdeling van de meetlijn met de letters a t/m s komt overeen met de onderverdeling van de vakken in subvakken die in de landaanwinningwerken gehanteerd wordt.
- De lengten van de subvakken a t/m s zijn niet gelijk, waardoor de afstandverdeling op de X-as niet uniform is.
- De profielen worden met het volgende lijntype aangegeven:
 - voor het jaar 2000
 - voor het jaar 1985
 - -- -- voor het jaar 1980
 - voor het jaar 1975
 - -- -- voor het jaar 1970
 - -- -- voor het jaar 1966
 - -- -- voor het jaar 1960
- Door het ontbreken van voldoende meetgegevens zijn de profielen van de vakken 540, 560 en 580 minder betrouwbaar.
- De ligging van de 5% kweldergrasgrens is voor elk van de jaren van 1960 t/m 1985 aangegeven met een ster (*) op het betreffende profiel.

FIGUUR 5 a



FIGUUR 5 b

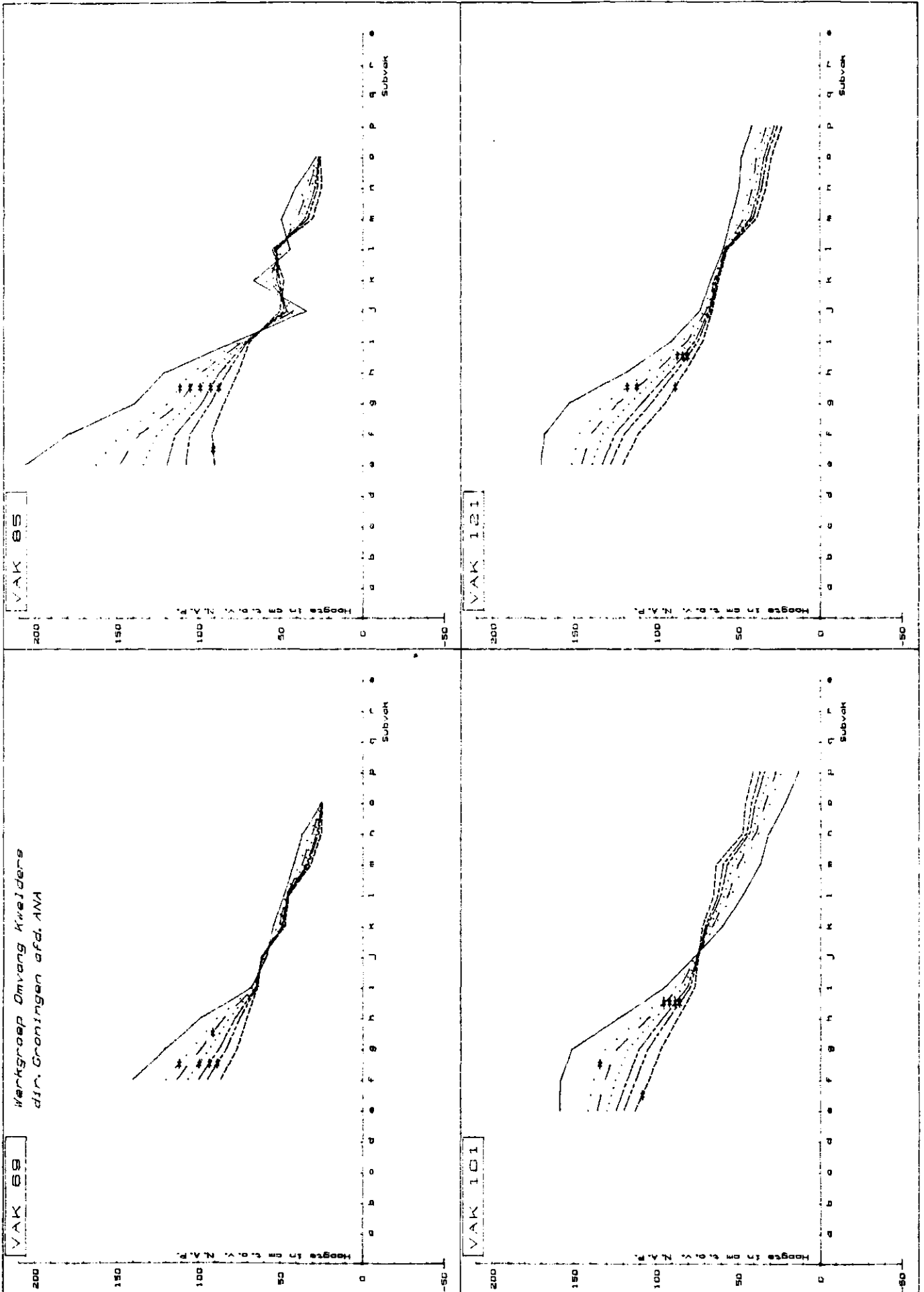
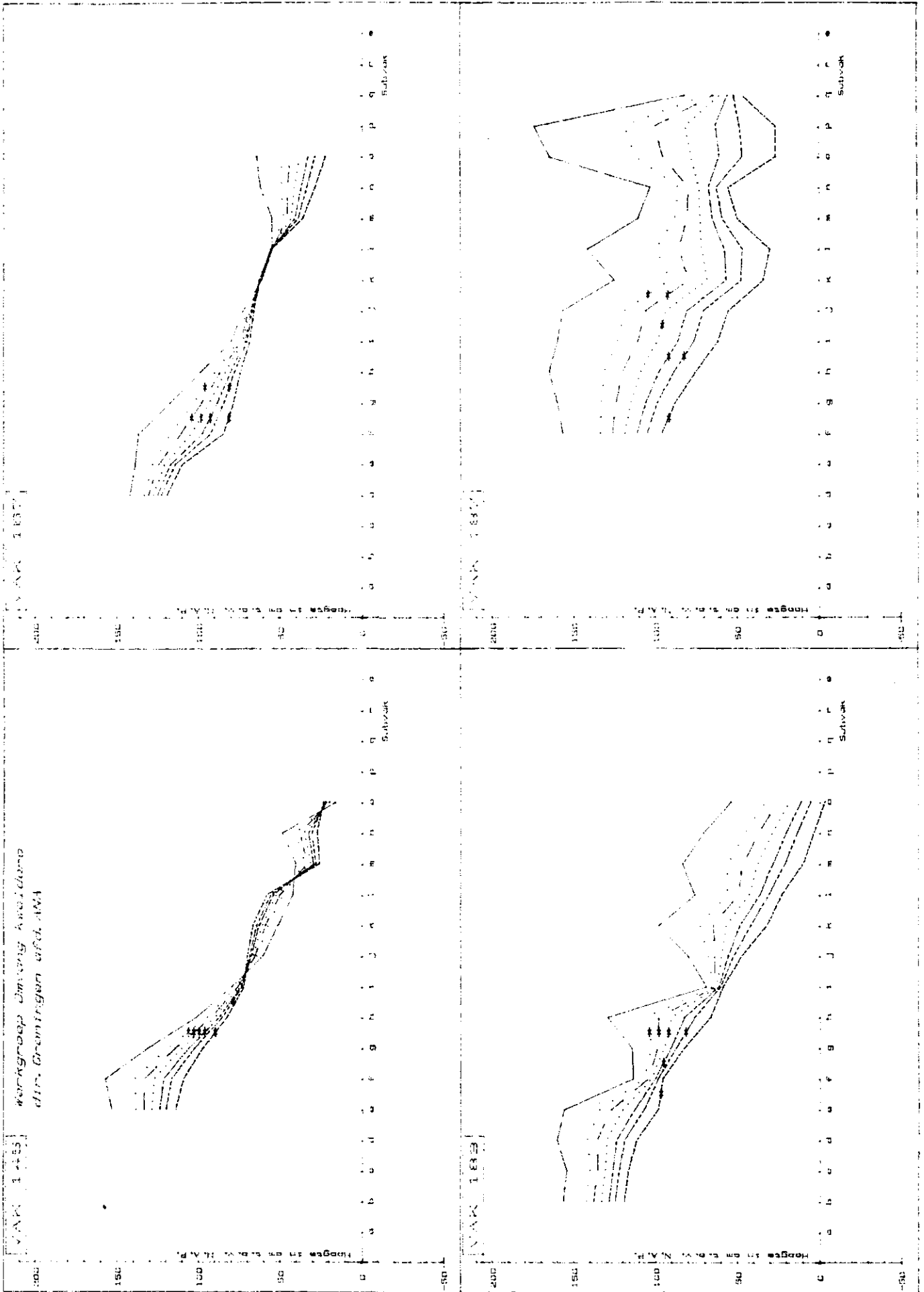
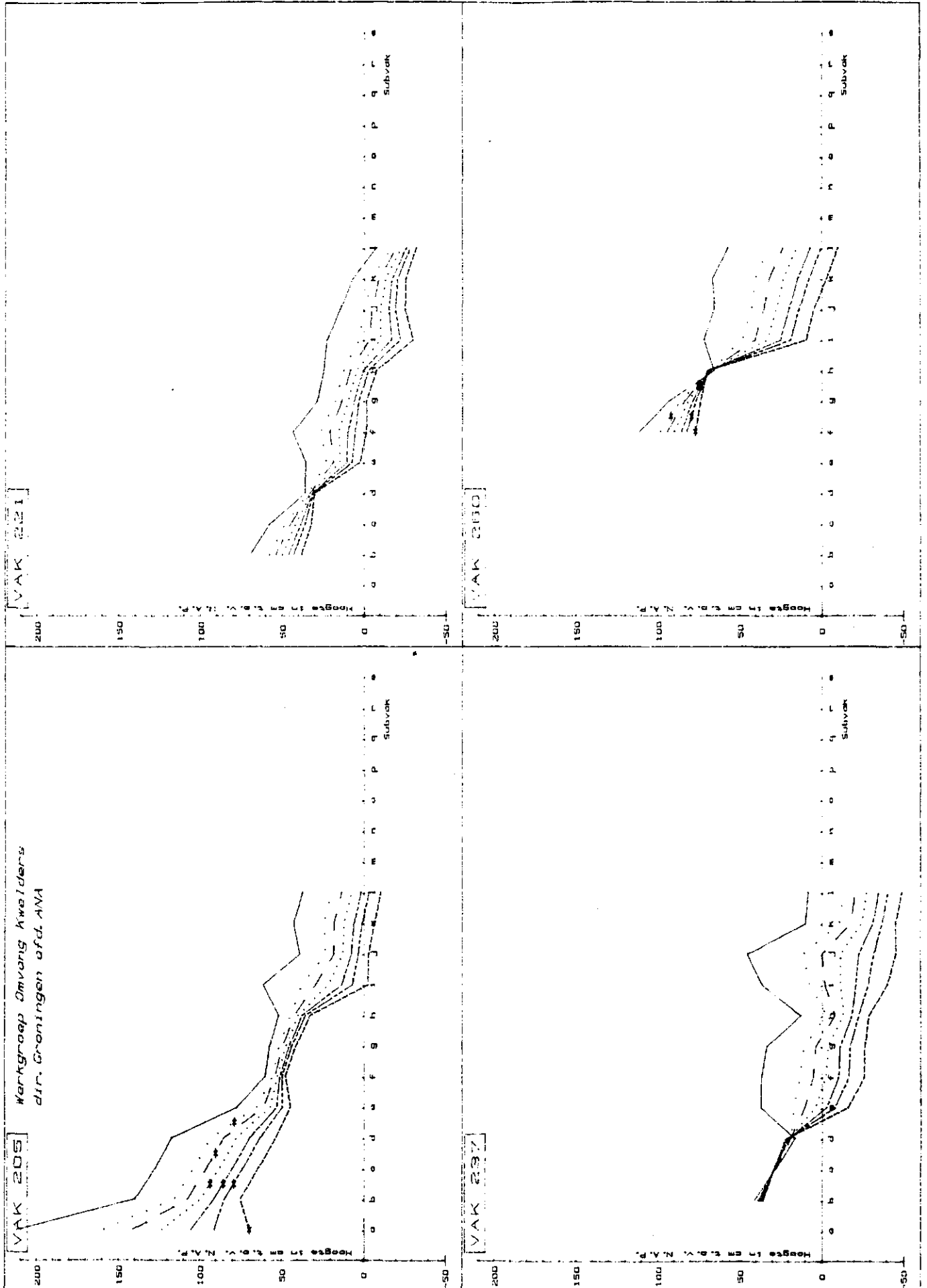


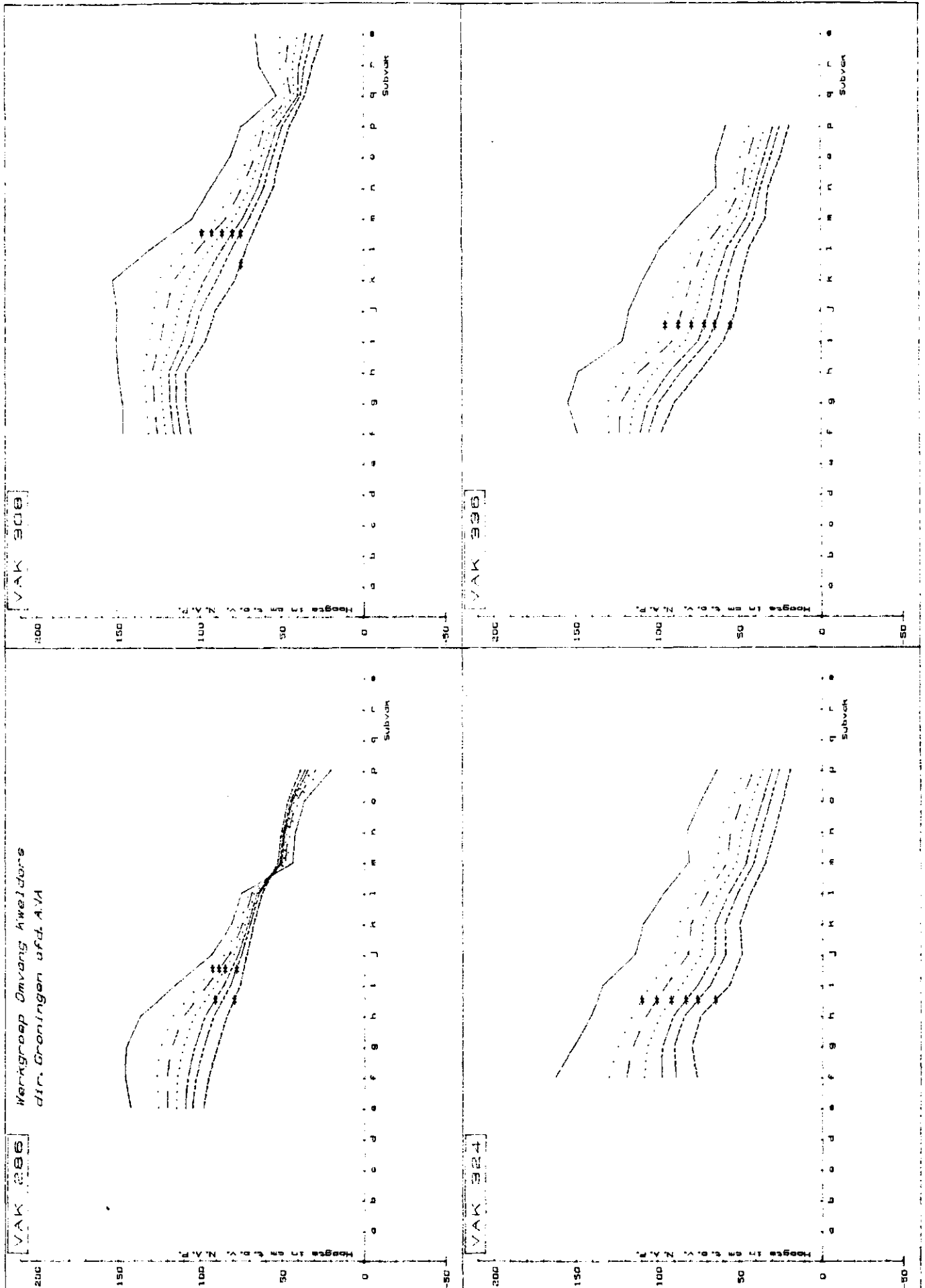
FIGURE 5 c



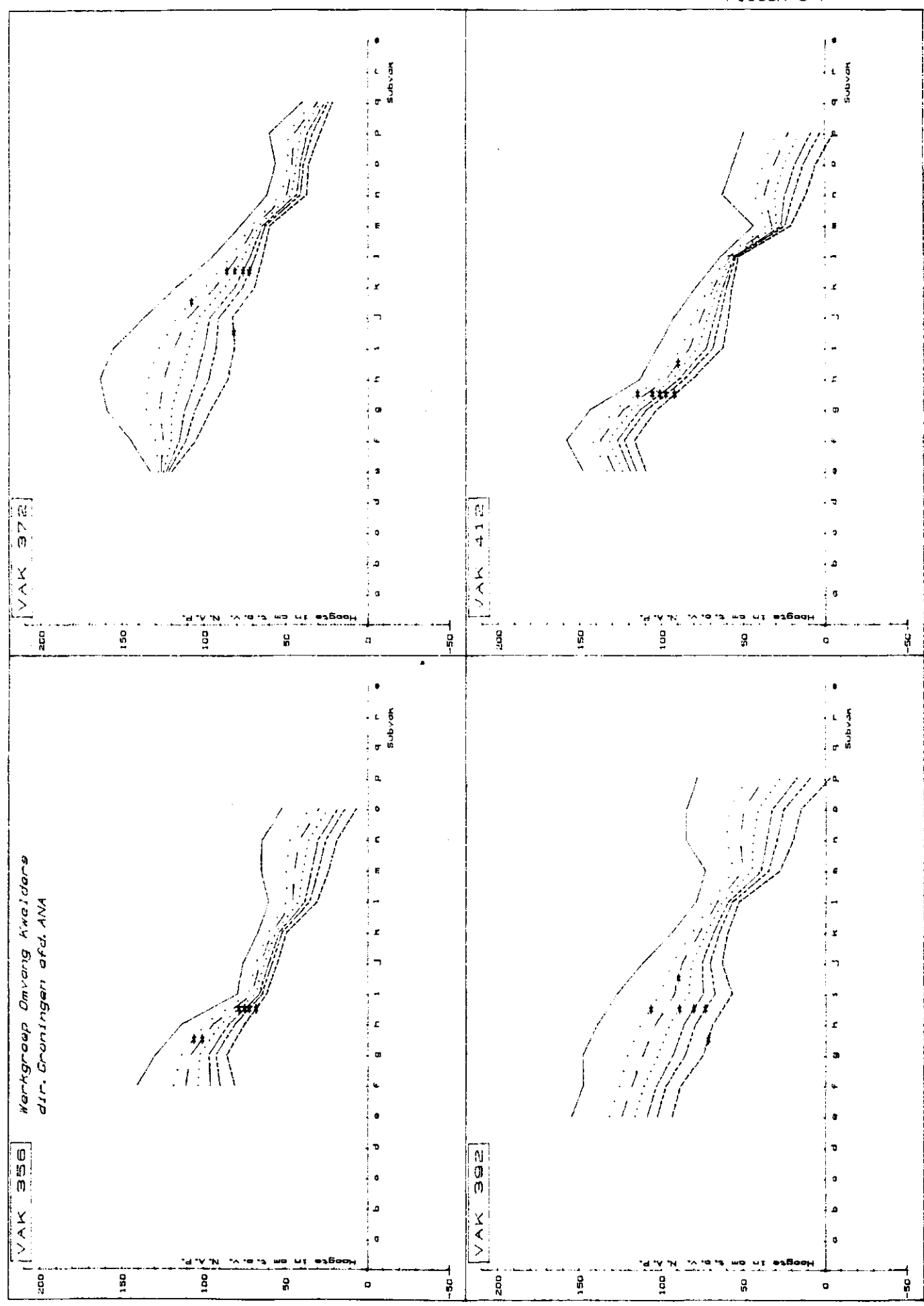
FIGUUR 5 d



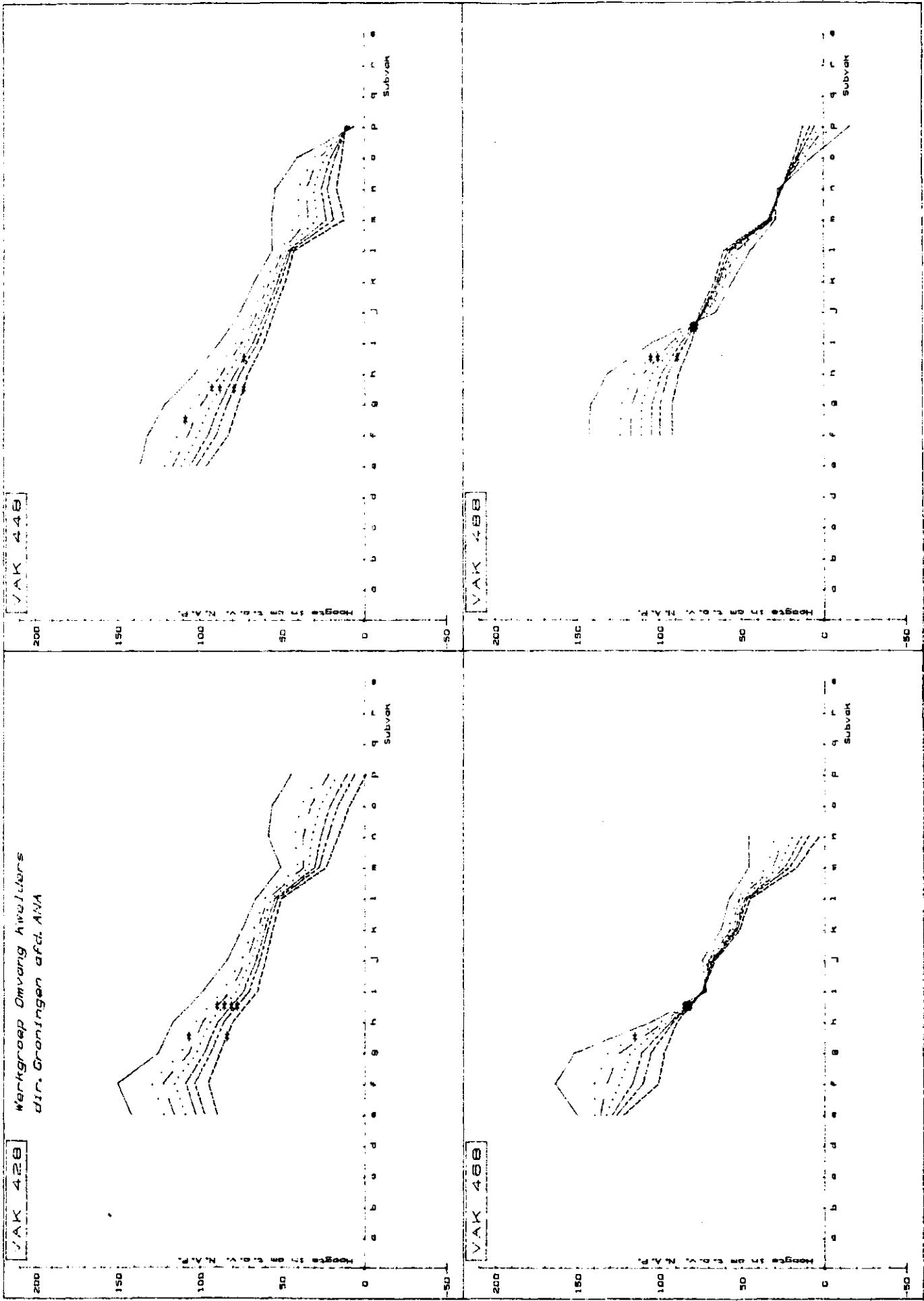
FIGUUR 5 e



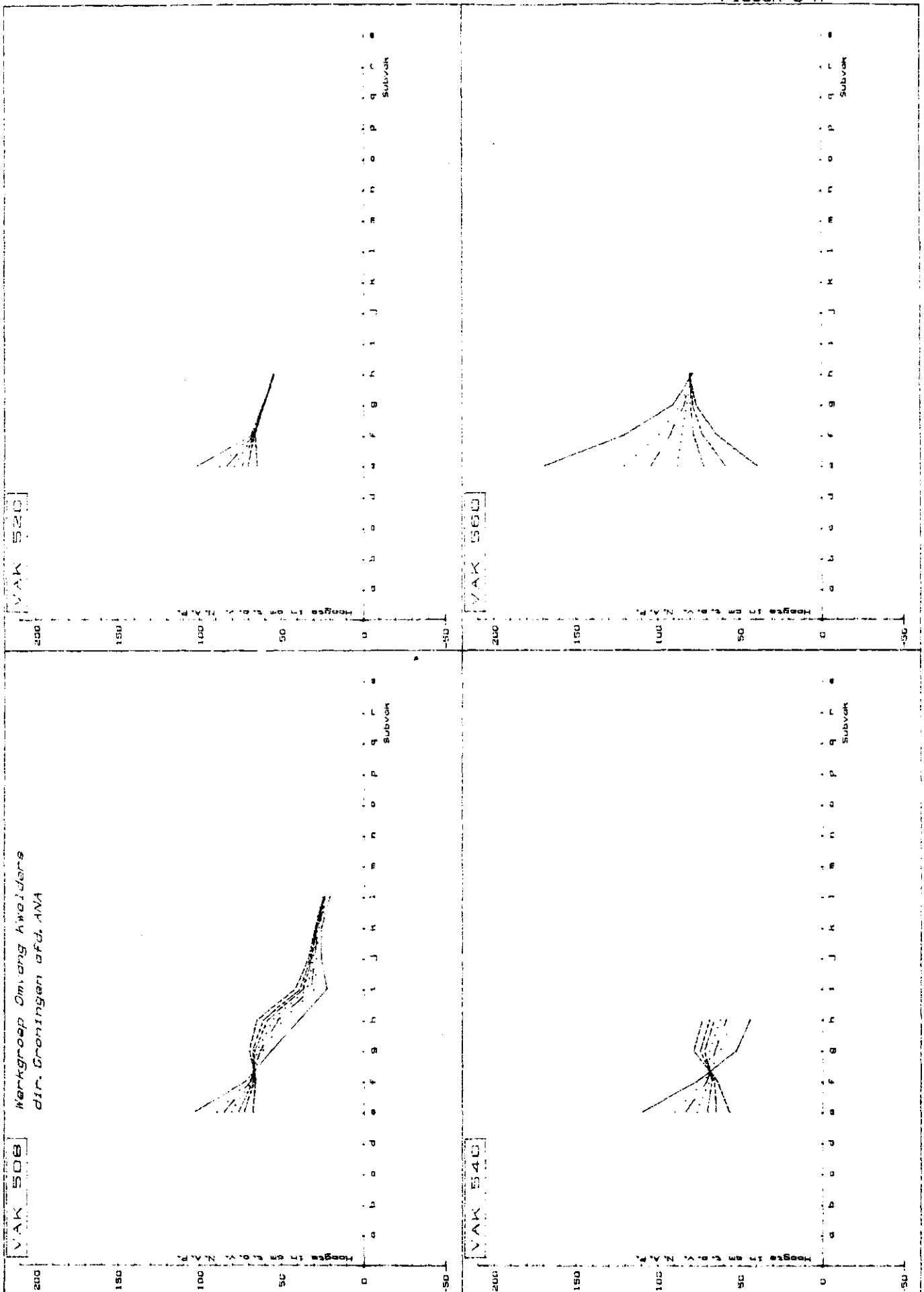
FIGUUR 5 f



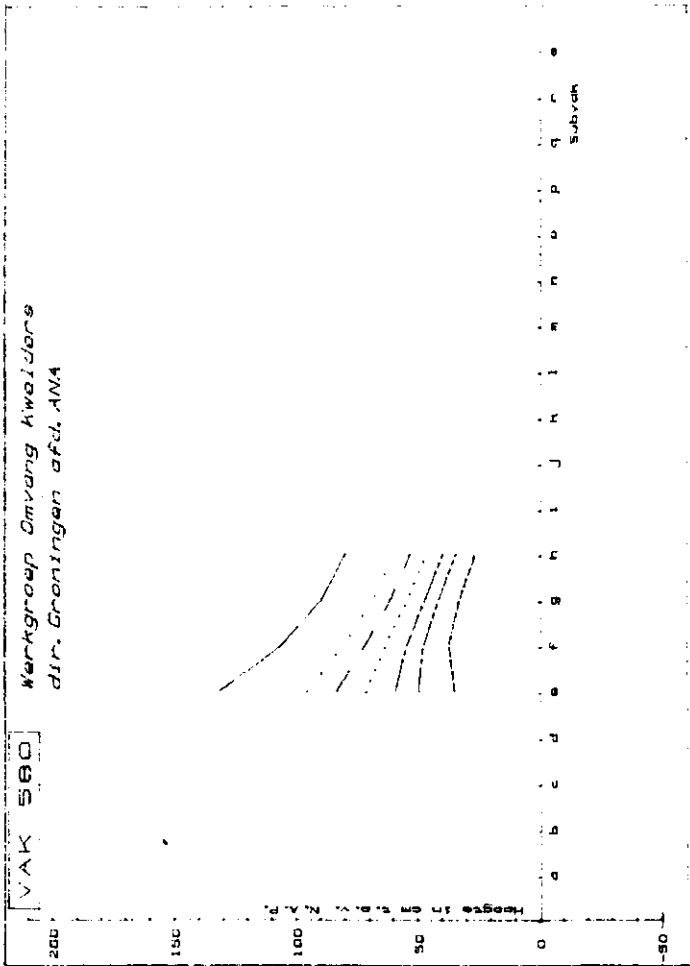
FIGUUR 5 g

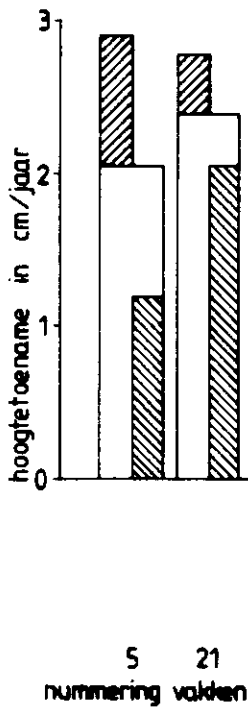


FIGUUR 5 h



FIGUUR 5 i





Figuur 6. Gemiddelde jaarlijkse opslibbing van 1960-1985 in de meetvakken 5 en 21 in Friesland.

-  Gemiddelde hoogtetoeename in de landwaarts gelegen helft van het meetvak.
-  Gemiddelde hoogtetoeename in het gehele meetvak.
-  Gemiddelde hoogtetoeename in de zeewaarts gelegen helft van het meetvak.

Beschrijving groep II

Groep II omvat de meetvakken 41 t/m 183, gelegen langs de Friese kust westelijk van Holwerd. De meetvakken 41 en 53, met opslibbingswaarden van 0,1 cm tot 1,7 cm per jaar, vormen de overgang van de vakken van groep I naar de overige vakken van groep II waar, voornamelijk in de zeewaarts gelegen helft, aanzienlijk minder opslibbing optreedt. In twee meetvakken (101 en 145) treedt in het zeewaarts gelegen gedeelte zelfs erosie op. Deze erosie is in vak 101 het sterkst. Over een afstand van ca. 650 m loodrecht op de kust (van k t/m p) worden waarden van 0,3 cm tot 0,7 cm per jaar berekend. In de overige meetvakken is de erosie kleiner of niet aanwezig. De opslibbing is aan de landzijde van de vakken het sterkst met uitzondering van vak 183, gelegen aan de westkant van de veerdam bij Holwerd, dat de sterkste opslibbing aan de zeezijde vertoont.

In figuur 7 is de jaarlijkse gemiddelde opslibbing op dezelfde wijze weergegeven als in figuur 6. In de landwaarts gelegen helft van de meetvakken is de opslibbing veel sneller gegaan dan in de zeewaarts gelegen helft (daar in twee gevallen zelfs erosie). Daardoor wordt de terreinhelling steiler (figuur 5a, 5b en 5c). De gemiddelde hoogte van groep II is van 1960 tot 1985 gestegen met 15,5 cm van N.A.P. + 0,584 m naar N.A.P. + 0,739 m (gemiddeld 0,6 cm per jaar).

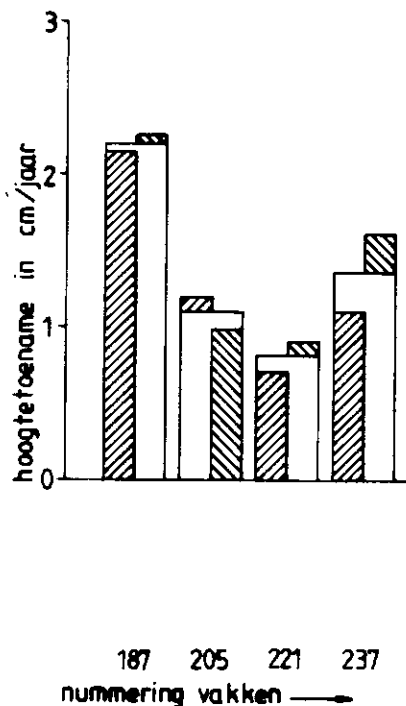


Figuur 7. Gemiddelde jaarlijkse opslibbing van 1960 tot 1985 in de meetvakken 41 t/m 183 in Friesland.

Beschrijving groep III

Groep III omvat de meetvakken 187 t/m 237 gelegen langs de Friese kust tussen Holwerd en 't Schoor. De landwaarts gelegen helften van de vakken worden gekenmerkt door een afnemende opslibbing in oostelijke richting van ca. 2,5 cm naar 0 cm. De zeewaarts gelegen helften van de vakken vertonen een min of meer regelmatige opslibbing met een enigszins versterkte opslibbing van het meetvak gelegen nabij de veerdam van Holwerd (vak 187) en het oostelijkste meetvak (vak 237).

In figuur 8 is de jaarlijkse gemiddelde opslibbing op dezelfde wijze weergegeven als in figuur 6. De gemiddelde hoogte van de groep is van 1960 tot 1985 gestegen met 33,9 cm van N.A.P. + 0,175 m naar N.A.P. + 0,514 m (gemiddeld 1,4 cm per jaar). Er zijn weinig verschillen in opslibbingssnelheid tussen de landwaarts en zeewaarts gelegen delen van deze meetvakken.

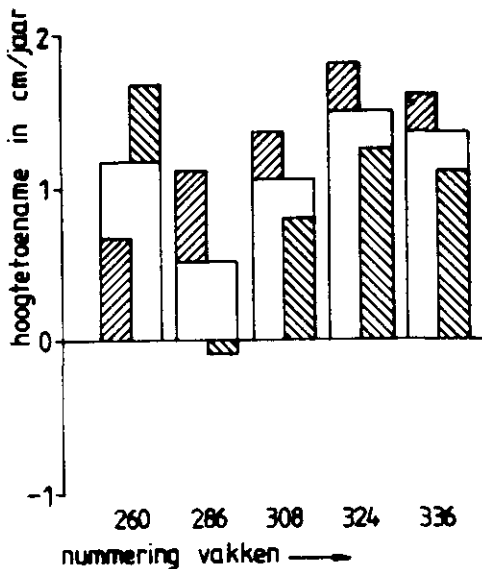


Figuur 8. Gemiddelde jaarlijkse opslibbing van 1960 tot 1985 in de in de meetvakken 187 t/m 237 in Friesland.

Beschrijving groep IV

Groep IV omvat de meetvakken 260 t/m 336 gelegen langs de Groninger kust voor de Westpolder, de Julianapolder en de Negenboerenpolder. De groep vertoont een vrij regelmatig opslibbingsspatroon met waarden die schommelen tussen 0 cm en 2,2 cm per jaar. Meetvak 286 vormt hierop een uitzondering. In de subvakken m, n, o en p treedt erosie op in dit vooruitgeschoven gelegen bezinkveld.

In figuur 9 is de jaarlijkse gemiddelde opslibbing op dezelfde wijze weergegeven als in figuur 6. Landwaarts slibben de meetvakken iets sneller op dan zeewaarts, waardoor de terreinhelling iets toeneemt (figuur 5d en 5e). De gemiddelde hoogte van de groep is van 1960 tot 1985 gestegen met 27,9 cm van N.A.P. + 0,545 m naar N.A.P. + 0,824 m (gemiddeld 1,1 cm per jaar).

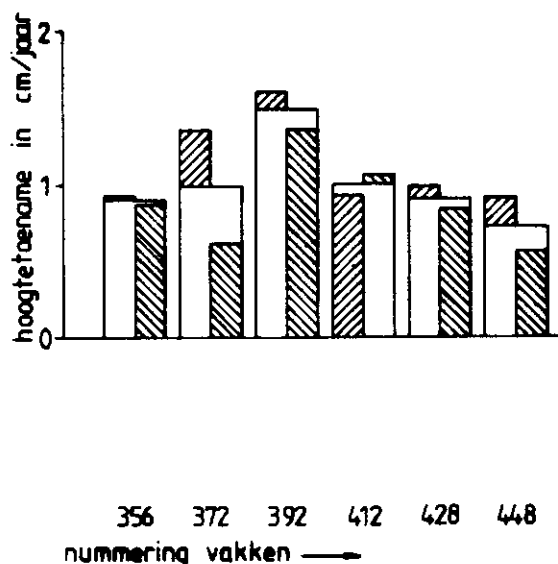


Figuur 9. Gemiddelde jaarlijkse opslibbing van 1960 tot 1985 in de meetvakken 260 t/m 336.

Beschrijving groep V

Groep V omvat de meetvakken 356 t/m 448, gelegen langs de Groninger kust voor de Linthorst Homanpolder en de Noordpolder. De opslibbing in deze groep varieert van 0 cm tot 2,0 cm per jaar. In het algemeen vertonen de landwaartse en zeewaartse delen van de meetvakken een grotere opslibbingssnelheid dan het middengedeelte.

In figuur 10 is de jaarlijkse gemiddelde opslibbing op dezelfde wijze weergegeven als in figuur 6. Alleen in meetvak 372 zijn er aanzienlijke verschillen in de opslibbingssnelheid, waardoor de terreinhelling daar toeneemt (figuur 5f). De gemiddelde hoogte van de groep is van 1960 tot 1985 gestegen met 24,7 cm van N.A.P. + 0,547 m naar N.A.P. + 0,794 m (gemiddeld 1,0 cm per jaar).

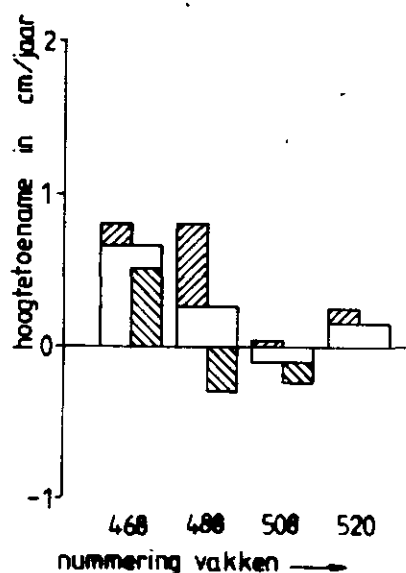


Figuur 10. Gemiddelde jaarlijkse opslibbing van 1960 tot 1985 in de meetvakken 356 t/m 448.

Beschrijving groep VI

Groep VI omvat de meetvakken 468 t/m 520, gelegen voor de Groninger kust ter hoogte van de Lauwerpolder en de Emmapolder. De meetvakken 540, 560 en 580 worden niet in de beschouwing betrokken, omdat onvoldoende meetgegevens beschikbaar zijn, waardoor het verloop van de berekende hoogteprofielen sterk van de werkelijkheid kan afwijken. Met uitzondering van vak 468 worden de meetvakken in de groep gekenmerkt door opslibbing in de landwaarts gelegen helft en door erosie in het zeewaarts gelegen gedeelte. De opslibbing beweegt zich tussen 0 cm en 1,6 cm per jaar, terwijl de erosie maximaal 0,7 cm per jaar bedraagt. Opvallend zijn de tamelijk grillig verlopende opslibbing en erosie. Vak 508 onderscheidt zich door een gemiddelde jaarlijkse hoogteafname van 0,1 cm. Het is daarmee het enige vak in het totaal van de onderzochte meetvakken dat, gemiddeld over alle subvakken, erosie vertoont.

In figuur 11 is de jaarlijkse gemiddelde opslibbing op dezelfde wijze geschetst als in figuur 6. Hier liggen de verschillen in landwaartse en zeewaartse opslibbing in dezelfde orde van grootte als in Friesland, waardoor het verhang steiler wordt (figuur 5g en 5h). De gemiddelde hoogte van de groep is van 1960 tot 1985 gestegen met 6,4 cm van N.A.P. + 0,595 m naar N.A.P. + 0,659 m (gemiddeld 0,3 cm per jaar).



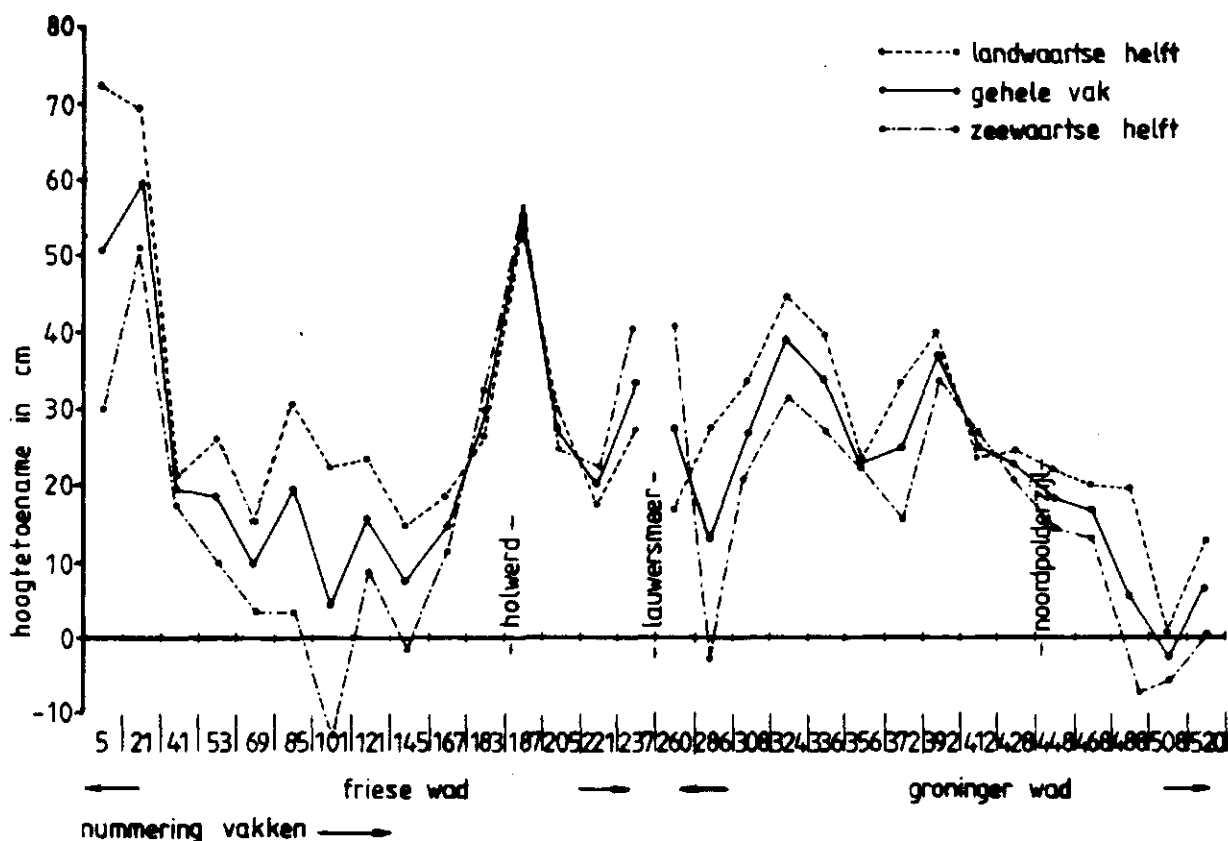
Figuur 11. Gemiddelde jaarlijkse opslibbing van 1960 tot 1985 in de meetvakken 468 t/m 520.

Samenvatting van de ontwikkeling van de hoogte van 1960 tot 1985

De ontwikkeling van de hoogte in de periode van 1960 tot 1985 heeft een wisselend karakter. In figuur 12 is de gemiddelde sedimentatie of erosie per meetvak in het tijdvak 1960-1985 gegeven.

Aan de westkant van het Friese gedeelte heeft in vergelijking met het geheel een tamelijk grote opslibbing plaatsgevonden van ca. 60 cm, die oostwaarts gaand snel afneemt naar ca. 15 cm. Nabij Holwerd bereikt de opslibbing onder invloed van de aldaar gelegen veerdam weer een hoge waarde (55 cm) waarna, oostwaarts gaand tot aan 't Schoor, de opslibbing ca. 28 cm bedraagt. Tussen Zwarte Haan en Holwerd wordt de terreinhelling steiler.

Het Groninger gedeelte laat in hetzelfde tijdvak vanaf het Lauwersmeer tot aan Noordpolderzijl een gemiddelde opslibbing zien van ca. 27 cm. In het gedeelte van Noordpolderzijl tot aan de Eemshaven neemt de opslibbing af van 27 cm tot enkele centimeters, met in één vak zelfs erosie. Waarschijnlijk is deze dalende trend te wijten aan de diepe geul (de Oude Westereems) die het betrokken gebied begrenst, terwijl in 1980 het onderhoud aan de greppels en dammen



Figuur 12. Gemiddelde sedimentatie of erosie per meetvak in het tijdvak 1960-1985.

langs de Emmapolder gestopt is. Over het algemeen neemt de terreinhelling minder toe dan in Friesland, behalve voor de Lauwerpolder. Deze afnemende opslibbingssnelheid naar het oosten is ook aangetoond door De Glopper (1981) voor het kweldergebied tussen N.A.P. + 0,90 m tot + 2,40 m, dat de landaanwinningswerken aan de landzijde begrenst.

Voor Friesland is aangetoond dat de aangrenzende strook op het wad een sedimentatie plaats vindt die vergelijkbaar is met het gemiddelde in de landaanwinningswerken (De Boer & Komen, 1983).

3.2. Verband tussen de opslibbingssnelheid en de hoogte

In figuur 13 a t/m f wordt het verband tussen de opslibbingssnelheid en de hoogte weergegeven. De meetvakken zijn ingedeeld volgens de reeds eerder beschreven groepering. Bij de beoordeling van dit verband moet bedacht worden dat de opslibbingssnelheid en de hoogte bepaald zijn door middel van lineaire regressieberekeningen. Derhalve is er

geen rekening mee gehouden dat de opslibbingssnelheid op zich weer afhankelijk is van de hoogte. Gekozen is voor een berekening voor het jaar 1975, omdat het 95% betrouwbaarheidsinterval voor dit jaar klein is. Achtereenvolgens worden de verbanden per groep aangegeven.

a. groep I.

De grootste opslibbingssnelheid (3 à 3,5 cm per jaar) wordt bij een hoogte van N.A.P. + 1,00 à 1,10 m bereikt. Hoogten boven N.A.P. + 1,10 m vertonen een afnemende trend in de opslibbingssnelheid. Overigens neemt de opslibbingssnelheid ook in de lagere subvakken af en bedraagt bij hoogten van N.A.P. + 0,10 tot 0,40 m ca. 1 cm per jaar.

b. groep II.

Met uitzondering van de meetvakken 101 en 183 zijn twee maxima in de opslibbingssnelheid te onderscheiden, en wel bij hoogten van respectievelijk N.A.P. + 1,20 à 1,40 m, met een waarde van ca. 1,3 cm per jaar, en N.A.P. + 0,20 à 0,30 m met een waarde van 0,6 cm per jaar. De kleinste opslibbingssnelheden, met in een aantal gevallen zelfs erosie, worden aangetroffen op een niveau van N.A.P. + 0,40 à 0,70 m. Bij hoogten boven ca. N.A.P. + 1,20 m en beneden N.A.P. + 0,20 m is een dalende trend in de opslibbingssnelheid waar te nemen.

c. groep III.

Ook in deze groep zijn maxima in de opslibbingssnelheden te onderscheiden in de hoogst en de laagst gelegen subvakken. Bij een niveau van N.A.P. + 0,30 à 0,50 m zijn de opslibbingssnelheden het kleinst.

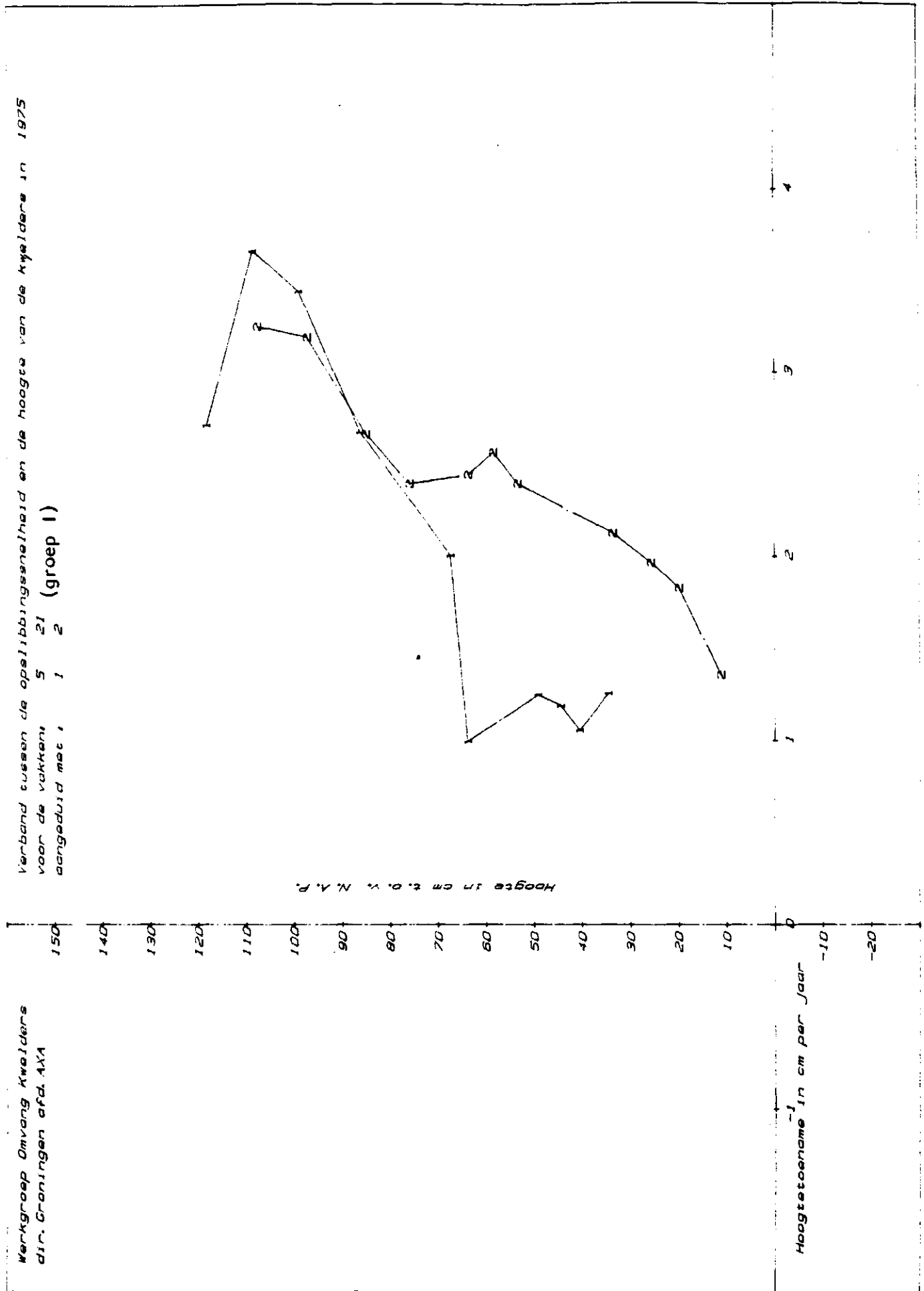
d. groep IV.

Het beeld, zoals dat in de groepen II en III naar voren komt, geldt ook voor groep IV. Omdat op de lagere niveaus weinig subvakken aanwezig zijn, tekent zich hier niet zo duidelijk een maximum in de opslibbingssnelheid af, zoals dat in de groepen II en III het geval is.

e. groep V.

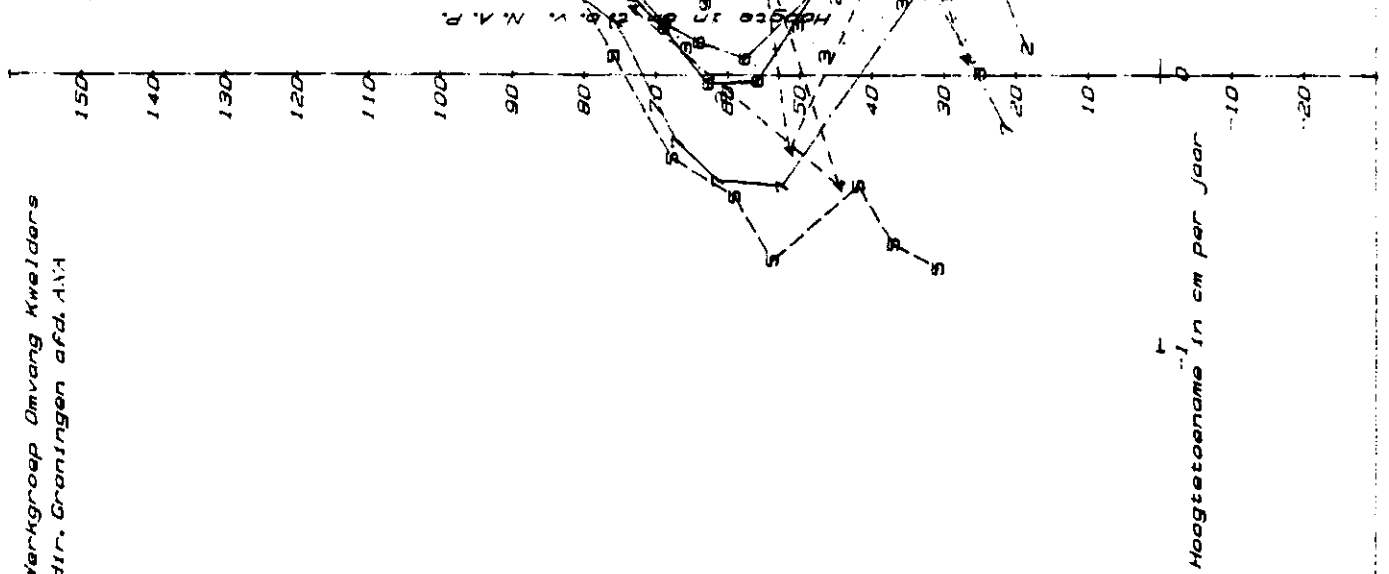
Hoewel minder duidelijk, zet het beeld dat gevormd werd in de groepen II t/m IV zich voort. Met uitzondering van enkele uitschieters vertonen de afzonderlijke meetvakken een tamelijk sterk overeenkomend opslibbingsgedrag.

FIGUUR 13 a



FIGUUR 13 b

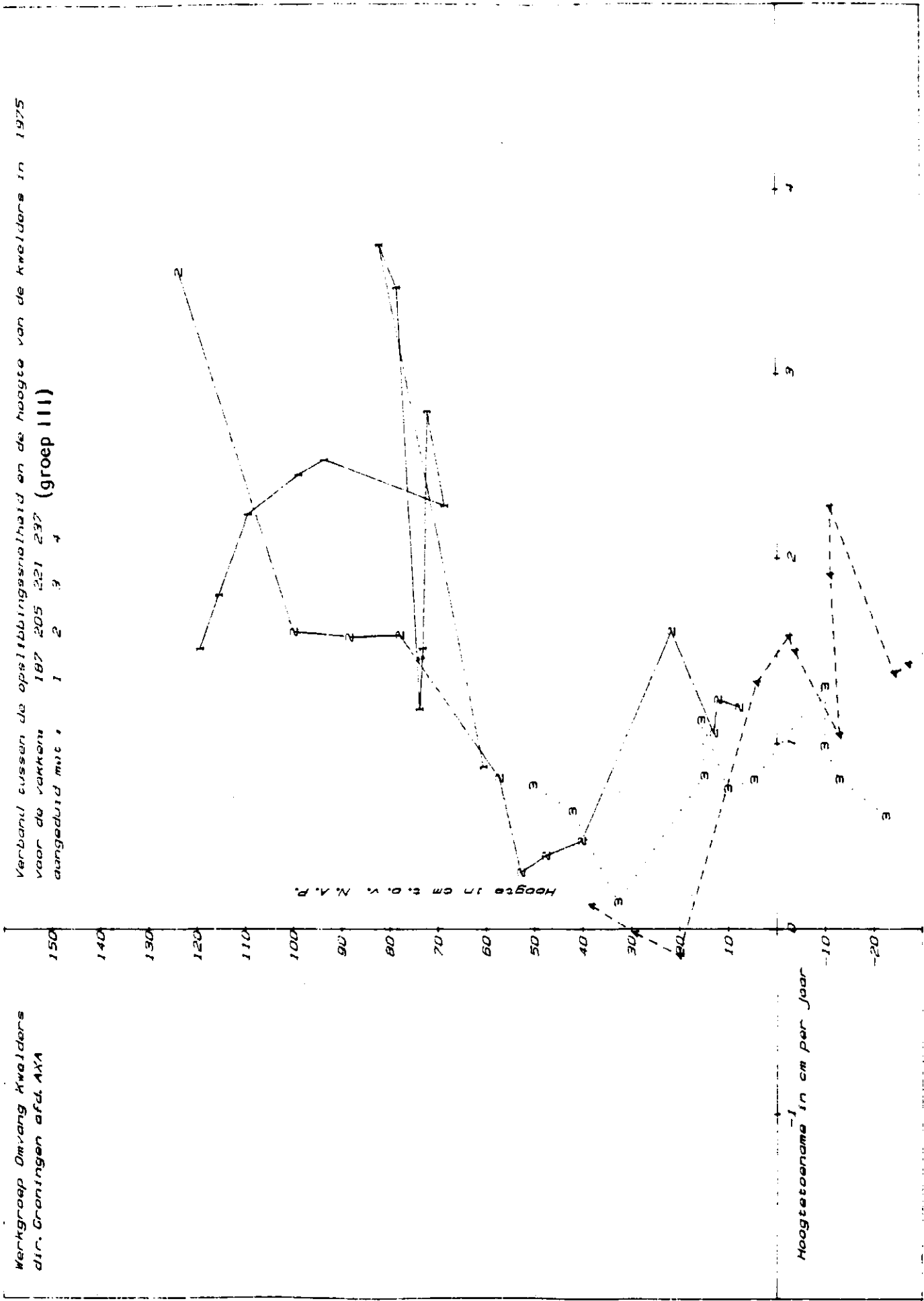
Verband tussen de opslibingsnelheid en de hoogte van de kwelders in 1975
voor de vakken: 41 53 69 85 101 121 145 167 183 (groep II)
aangeduid met: 1 2 3 4 5 6 7 8 9



FIGUUR 13 c

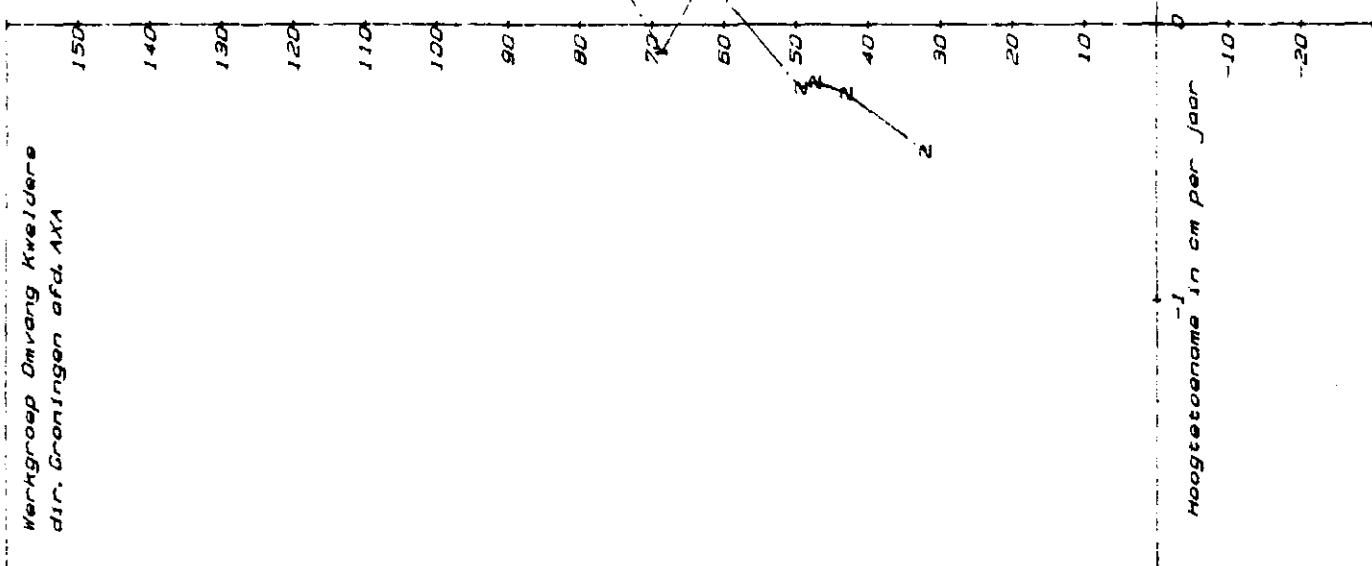
Verband tussen de opslibingsnelheid en de hoogte van de kwelders in 1975
voor de vakkens 187 205 221 237 (groep III)
aangeduid met 1 2 3 4

Werkgroep Omvang Kwelders
dir. Groningen afd. AXA



FIGUUR 13 d

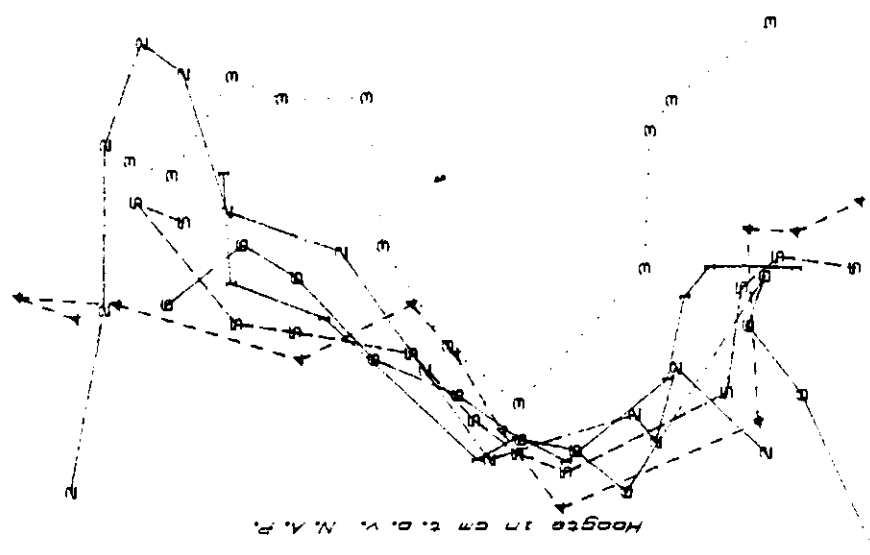
Verband tussen de opslibingsnelheid en de hoogte van de kwelders in 1975
voor de vakken: 250 266 308 324 336
aangeduid met: 1 2 3 4 5



Werkgroep Omvang Kwelders
dir. Groningen afd. AXA

FIGUUR 13 e

Verband tussen de opslibingsnelheid en de hoogte van de kwelders in 1975
voor de vukken 356 372 392 412 428 448 468 (groep V)
aangeduid met 1 2 3 4 5 6



Werkgroep Omvang kwelders
dir. Groningen afd. AXA

Hoogte toename in cm per jaar

f. groep VI.

In deze laatste groep meetvakken valt met enige goede wil een tendens in het opslibbingsgedrag te bespeuren die overeenkomt met die van de eerder beschreven groepen. Behalve meetvak 468 worden de overige meetvakken gekenmerkt door erosie op de lagere niveaus.

Geconcludeerd kan worden dat op een enkele uitzondering na de opslibbingssnelheid verband houdt met de hoogte. Er zijn twee in grootte verschillende maxima in de opslibbingssnelheid te onderscheiden, waarbij het grootste maximum aangetroffen wordt op het niveau van N.A.P. + 1,00 à 1,20 m en het kleinste maximum optreedt op een niveau van N.A.P. à N.A.P. + 0,30 m. Het grootste maximum op N.A.P. + 1,00 à 1,20 m correspondeert met de zone waarin de gesloten vegetatie van de lage kwelder ontstaat. Het kleinste en lager gelegen maximum wordt aangetroffen in de buitenste delen van de bezinkvelden, grenzend aan het wad. Het terrein is onbegroeid en in 1975 al tien jaar niet meer begreppeld. Tussen beide maxima, op een niveau van N.A.P. + 0,40 à 0,70 m worden de kleinste opslibbingssnelheden aangetroffen, waarbij in veel gevallen zelfs sprake is van erosie. Het is de nog juist onbegroeide zone, die in 1975 in de tweede reeks bezinkvelden nog wel en in de derde reeks bezinkvelden niet meer begreppeld wordt. De Boer & Komen (1983) vinden voor de periode 1966-1978 in de Friese landaanwinningsswerken een zelfde patroon in de sedimentatie. In de eerste jaren na aanleg blijkt de grootste opslibbing in de zeewaartse vakken op te treden.

De Glopper (1981) heeft in het hoogtebereik van N.A.P. + 0,90 tot 2,40 m al eerder het verband tussen opslibbingssnelheid en hoogte aangetoond. Zijn waarnemingen beginnen rond N.A.P. + 0,90 m met de hier genoemde maximale opslibbing, waarna deze tot een hoogte van N.A.P. + 1,30 m sterk en rechtlijnig afneemt. Daarboven neemt de opslibbingssnelheid bij verder toenemende hoogte langzaam af.

3.3. Verwachte ontwikkeling van de hoogte tot 2000

De gemiddeld te verwachten hoogte in het jaar 2000 wordt weergegeven in de per meetvak getekende profielen in figuur 5. De getrokken lijn in deze figuren geeft de gemiddeld te verwachten hoogte aan van het

desbetreffende meetvak voor het jaar 2000. Deze prognose geldt slechts onder de voorwaarde dat de trend, berekend met de regressie-analyse, zich voortzet tot aan het jaar 2000.

Van 1985 tot 2000 zullen zich ongetwijfeld omstandigheden voordoen die voor sommige vakken een trendbreuk veroorzaken, waardoor de prognose in bepaalde gevallen een onzekere zaak wordt. Enkele van deze omstandigheden zijn:

- de ontwikkeling van de hoogte is grotendeels een natuurlijk proces;
- wijzigingen in het beheersbeleid en de uitvoering daarvan;
- het groter worden van de terreinhelling;
- aanleg van waterbouwkundige werken;
- bodemdaling door gaswinning.

Bij overschrijding van een bepaalde hoogte neemt de opslibbingssnelheid langzaam af, omdat de overstromingsfrequentie teveel afneemt. Deze factor is voornamelijk van belang aan de landzijde van de vakken. Hoewel in bepaalde gevallen, b.v. meetvak 5, 21, 101, 121, 145 en 205, de hoogte ook boven dit niveau in de tijd globaal genomen nog lineair toeneemt, wordt in die gevallen waar het niveau van ca. N.A.P. + 1,30 m overschreden wordt, de betrouwbaarheid van de prognose kleiner.

Geconcludeerd kan worden dat, met voorbijgaan aan de eerder in deze paragraaf genoemde onzekerheden, in de meeste gevallen de in het tijdvak 1960-1985 waargenomen trend zich zal voortzetten tot aan het jaar 2000, mits het niveau van N.A.P. + 1,30 m niet overschreden wordt. In het laatste geval zal de opslibbingssnelheid geleidelijk afnemen. De gemiddelde hoogtetoeename van het totale landaanwinningsgebied vanaf 1985 tot 2000 kan door extrapolatie op 14 cm worden gesteld, hetgeen ca. 1 cm per jaar betekent.

4. Vegetatie

4.1. Te verwachten verschuiving van de grens met een bedekking van 5% kweldergras op grond van de hoogteontwikkeling

Kwelders zijn begroeid met een vegetatie bestaande uit ongeveer vijftientig zouttolerante plantesoorten. De tolerantie voor overstroming en zout verschilt per soort, waardoor de vegetatie in duidelijk te onderscheiden zones groeit. De frequentie en de duur van overstroming worden bepaald door de hoogteligging. De bodemsaliniteit wordt bepaald door de hoogteligging, de ontwatering (natuurlijk of door greppels), de saliniteit van het overstromingswater en de neerslag en de verdamping. De hoogteligging is dus de sleutelfactor en in publikaties over kwelders wordt daarom ook vaak de overstromingsduur of de overstromingsfrequentie van de verschillende vegetatie-eenheden vermeld (b.v. in Beeftink, 1965). Daarnaast spelen de beweiding en de methode van grondverzet bij begreppelen een rol bij de vraag, welke zouttolerante planten op een bepaalde plek aanwezig zijn. Invloed van de bodemgesteldheid op de samenstelling van de vegetatie is er pas beneden lutumgehalten van ca. 5%. Zulke lage lutumgehalten komen in de begroeide landaanwinningswerken niet voor (De Glopper, mond. med.).

In hoofdstuk 2.3 is aangegeven dat in deze rapportage een bedekking met 5% kweldergras als buitengrens van de kwelder wordt beschouwd. Voor deze grens mag dezelfde afhankelijkheid van de milieufactoren worden verwacht als hierboven omschreven. Von Weihe (1978) toonde aan dat voor kweldergras de tolerantie voor overvloeding de belangrijkste factor is. Dat betekent dat verwacht mag worden, dat de ligging van de 5%-kweldergrasgrens de veranderingen in de hoogteligging zal volgen, mits de overige genoemde factoren ongewijzigd blijven.

Uit de hoogte- en vegetatieprofielen (figuur 5) blijkt dat de 5%-kweldergrasgrens zowel in Groningen als in Friesland globaal op een hoogte van N.A.P. + 1,00 m ligt. Dat is in overeenstemming met de gegevens van Beeftink (1965) en van Dijkema (1983). Er is nu verondersteld dat de 5%-kweldergrasgrens de verschuiving van de lijn van N.A.P. + 1,00 m zal volgen. De verschuiving van dit hoogteniveau is op de X-as van de hoogteprofielen (figuur 5) gemeten en beschouwd als verwachting voor

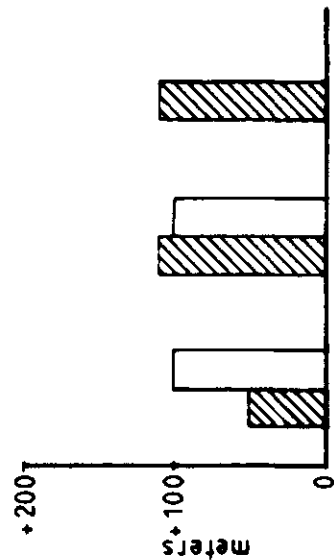
de verschuiving van de 5%-kweldergrasgrens (figuur 14 en tabel 1). In figuur 15 en tabel 2 is de verandering van de oppervlakte aangegeven, gelegen boven N.A.P. + 1,00 m. Dit kan worden beschouwd als verwachting voor de oppervlakte kwelder. De meetvakken zijn gegroepeerd zoals in hoofdstuk 3. De ontwikkeling is gegeven voor drie tijdvakken: 1960-1970, 1970-1985 en een extrapolatie voor 1985-2000.

Uit figuur 14 en tabel 1 blijkt dat op grond van de gegevens van figuur 5 de lijn van N.A.P. + 1,00 m vrij regelmatig opschuift in zee-waartse richting (ca. 8 meter per jaar). Uit de extrapolatie blijkt dat deze ontwikkeling zich in de komende 15 jaar zal voortzetten. In de westelijke meetvakken van Friesland (groep I) is deze groei met 20 meter per jaar het grootst (in het tijdvak 1960-1970 kwam bij groep I de hoogtelijn van N.A.P. + 1,00 m nog niet voor), maar zelfs in de oostelijke meetvakken van Groningen (groep VI) vindt jaarlijks nog enige meters vooruitgang plaats. Wanneer deze zeewaartse verschuiving wordt vermenigvuldigd met de lengte van het kustvak, ontstaat een schatting van de toename van de oppervlakte van het gebied boven N.A.P. + 1,00 m (figuur 15). Deze toename is in Friesland ongeveer 20 ha per jaar geweest en in Groningen 28 ha. Voorspeld wordt dat de groei zich de komende 15 jaar zal voortzetten (tabel 2). Voor Friesland en Groningen samen zou dit voor de periode 1960-1970 een groei van het gebied boven N.A.P. + 1,00 m van ca. 440 ha hebben moeten opleveren en voor de periode 1970-1985 ca. 750 ha, terwijl bij extrapolatie gemiddeld genomen een groei van 500 ha voor de periode 1985-2000 verwacht zou mogen worden. Het mag worden verwacht dat deze getallen de aanwas van de kwelder weergeven. In paragraaf 4.2 zal deze toename van de hoogte met de ligging van de 5%-kweldergrasgrens worden vergeleken.

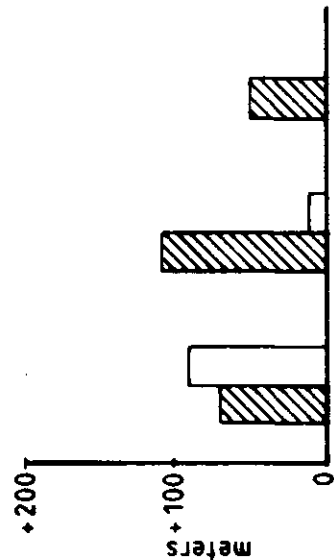
4.2. Waargenomen verschuiving van de grens met een bedekking van 5% kweldergras

Uit de hoogte- en vegetatieprofielen (figuur 5) wordt al duidelijk dat de 5%-kweldergrasgrens niet zo met de hoogteontwikkeling meegaat als verwacht mocht worden. De kweldergrasgrens blijft vaak in hetzelfde subvak hangen, hoewel de hoogtetoeename regelmatig doorgaat. Daarom is in de figuren 14 en 15 de werkelijk waargenomen verschuiving

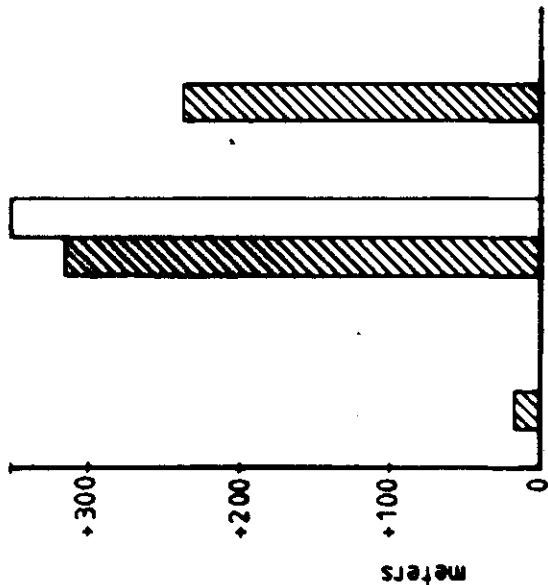
III (friesland 187-237)



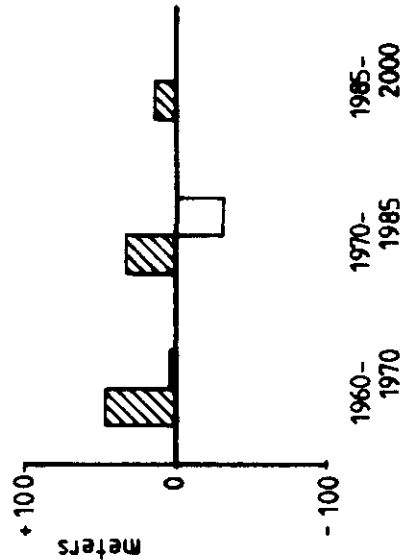
II (friesland 41-183)



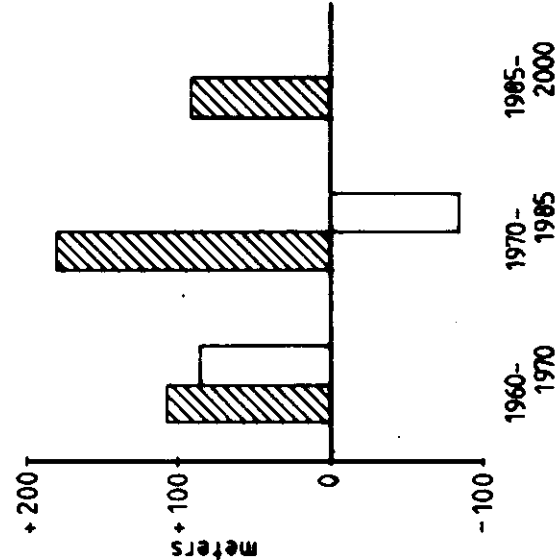
I (friesland 5-21)



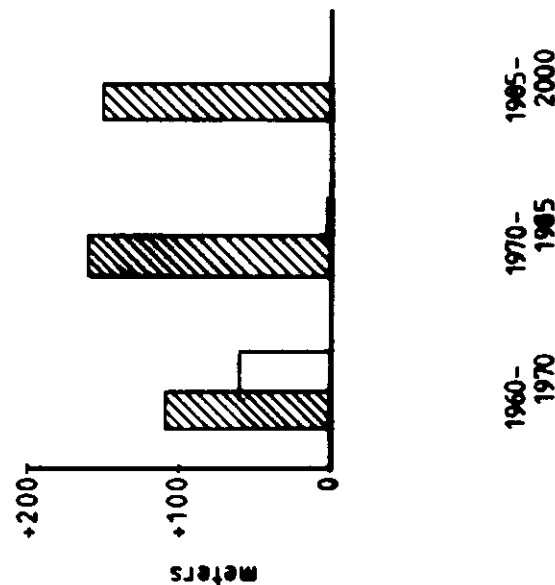
VI (groningen 468-580)



V (groningen 356-448)



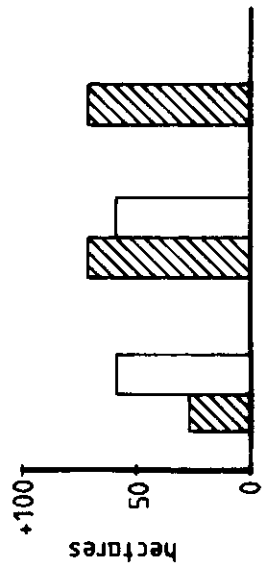
IV (groningen 260-336)



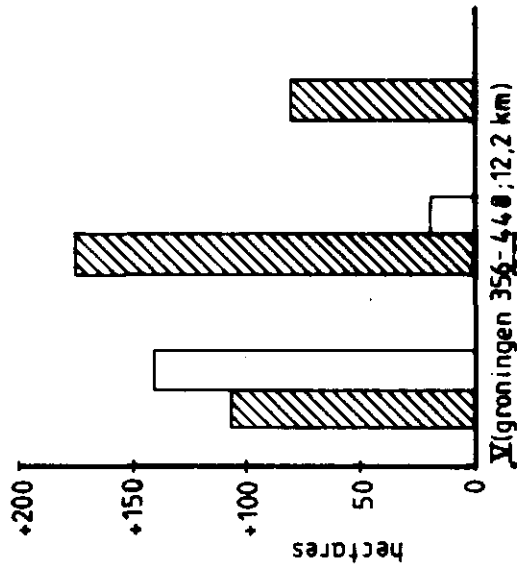
Verschuiving van de 5% kweldergrasgrens
verwachting op grond van hoogteontwikkeling (hoogtelijn N.A.P. +100 cm) waargenomen

figuur 14

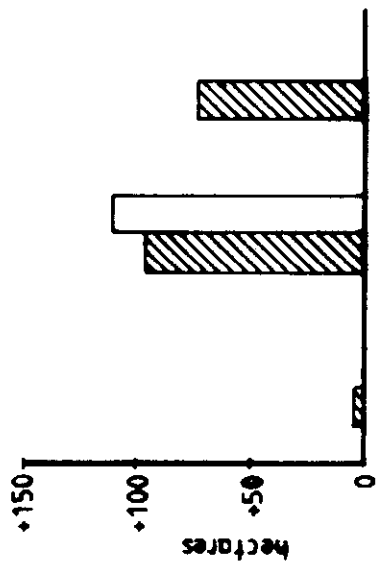
III (friesland 187 - 237 ; 5,9 km)



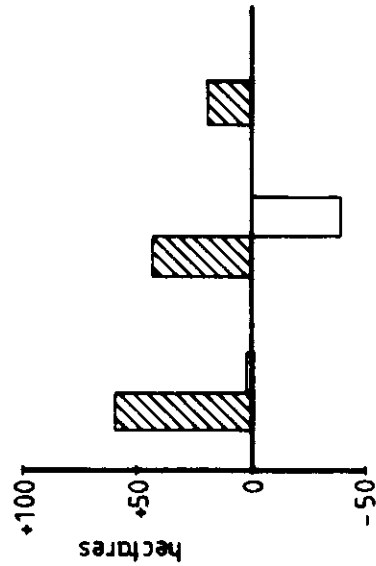
II (friesland 41-183; 15,8 km)



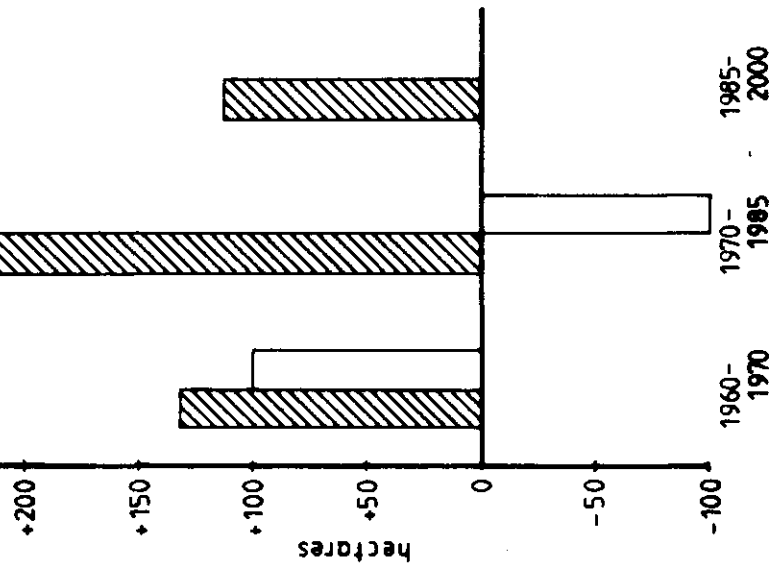
I (friesland 5-21; 3,1 km)



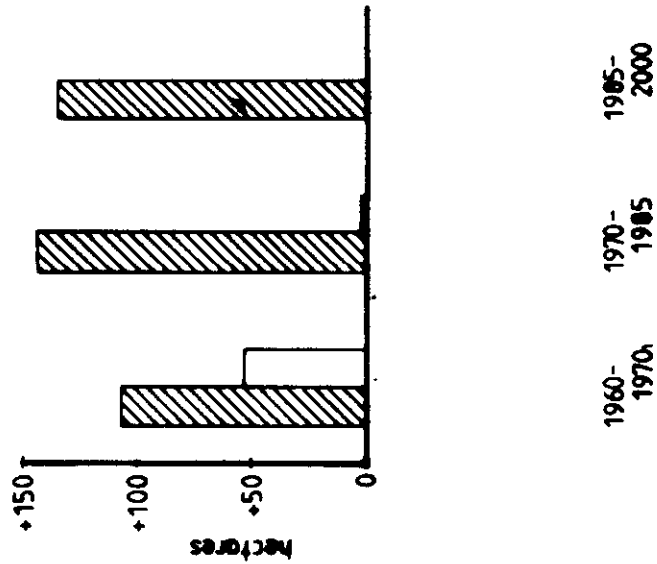
VI (groningen 468 - 580 ; 13,1 km)



V (groningen 356 - 448 ; 12,2 km)



IV (groningen 260 - 336 ; 8,9 km)



Verandering van de oppervlakte kwelder binnen de grens van 5% kweldergras
ZZZ verwachting op grond van hoogteontwikkeling (hoogte lijn N.A.P.+100 cm)
□ waargenomen

van de 5%-kweldergrasgrens naast de verwachting op grond van de hoogte vermeld. Het beeld is verrassend. Voor Friesland is er dank zij de aanwas in de groepen I en III een redelijke overeenkomst, maar in Groningen zijn de ontwikkelingen soms tegengesteld. In de periode 1970-1985 blijft de hoogtelijn van N.A.P. + 1,00 m onverminderd in zee-waartse richting verschuiven, maar de 5%-kweldergrasgrens blijft stabiel (groep IV) of wijkt zelfs 2 tot 5 1/2 m per jaar terug (groepen V en VI). In oppervlak (tabel 2) gaat het in Friesland gemiddeld om ongeveer 17 ha aanwas per jaar, terwijl in Groningen de teruggang in de jaren 1970-1985 ongeveer even groot is als de aanwas tussen 1960 en 1970.

In de tabellen 1 en 2 zijn de totalen voor Friesland en Groningen samengevat. De verwachting op grond van de ontwikkeling van de hoogte en de waargenomen ontwikkeling van de 5%-kweldergrasgrens verschillen vooral in Groningen enorm. Daaruit kan worden geconcludeerd dat naast de hoogteligging één of meer andere milieufactoren moeten zijn gewijzigd. Die wijzigingen hebben ervoor gezorgd dat de relatie tussen de hoogteligging en de aanwezigheid van kweldergras in ongunstige zin is veranderd. Als gevolg daarvan is het nog niet mogelijk op grond van de voorspelling van de hoogtetoeename de kwelderaanwas voor de komende jaren te schatten. Voorlopig zal deze studie zich daarom verder op de verandering in de relatie tussen de hoogte en de aard en de bedekking van de vegetatie moeten richten.

Tabel 1. Zeewaartse verschuiving van de lijn van N.A.P. + 1,00 m en van de grens met een bedekking van 5% kweldergras in de landaanwinningsswerken in Friesland en Groningen; geschat aan de hand van gegevens van de meetvakken.

		verwachting op grond van de hoogtelijn van N.A.P. + 1,00 m		waargenomen aan de vegetatie	
		per jaar	totaal	per jaar	totaal
Friesland	1960-1970	6 m	57 m	8 m	80 m
	1970-1985	9 m	141 m	5 m	80 m
	1985-2000	6 m	95 m		
Groningen	1960-1970	9 m	88 m	3 m	44 m
	1970-1985	8 m	117 m	-3 m	-39 m
	1985-2000	5 m	79 m		

Tabel 2. Toename van de oppervlakte van het gebied boven N.A.P. + 1,00 m en van het gebied landwaarts van de grens van 5% kweldergras in de landaanwinningswerken in Friesland en Groningen; geschat aan de hand van gegevens van de meetvakken.

		verwachting op grond van de hoogtelijn van N.A.P. + 1,00 m		waargenomen aan de vegetatie	
		per jaar	totaal	per jaar	totaal
Friesland	1960-1970	14 ha	140 ha	20 ha	200 ha
	1970-1985	23 ha	350 ha	13 ha	200 ha
	1985-2000	16 ha	235 ha		
Groningen	1960-1970	30 ha	300 ha	15 ha	150 ha
	1970-1985	27 ha	400 ha	-9 ha	-135 ha
	1985-2000	18 ha	270 ha		

Uit de hoogte- en vegetatieprofielen (figuur 5) kan worden afgeleid hoeveel de hoogteligging van de 5%-kweldergrasgrens is veranderd. Dat is voor de periode 1965-1985 gemiddeld. Alleen voor de meetvakken 5 en 21 in Het Bildt in Friesland is deze relatie 5 cm gunstiger geworden. Voor het overige deel van de Friese kust ligt de 5%-kweldergrasgrens nu gemiddeld 16 cm hoger (= ongunstiger) en voor de Groninger kust zelfs 30 cm. Als bedacht wordt dat deze vegetatiezone (de "initiële fase van de kweldergrasgemeenschap") ongeveer 20 cm hoog is, wordt duidelijk dat het hier om een erg grote verschuiving gaat.

Overigens ligt de 5%-kweldergrasgrens nu overal rond de gemiddelde hoogwaterlijn. Dat is een hoogte waarbij zelfs op natuurlijke kwelders deze initiële fase van de kweldergrasgemeenschap kan groeien (Beeftink, 1965).

In hoofdstuk 5 worden de milieufactoren, die voor deze verandering in het verband tussen hoogte en vegetatie verantwoordelijk zouden kunnen zijn, besproken. Het verdient verder aanbeveling in een vervolgstudie na te gaan of ook voor de andere zouttolerante planten en voor de vegetatietypen als geheel de relatie met de hoogteligging ongunstiger is geworden.

5. Discussie over de ontwikkeling van de hoogte en van de vegetatie

5.1. Hoogwaterrijzing

Vanaf de vroegste bewoning van ons land tot heden hebben de kustbewoners met een voortdurende rijzing van de zeespiegel te maken gehad. Mondiaal werkzame factoren zijn de afsmelting van het poolijs, waardoor de totale watermassa toeneemt en de temperatuurstijging van het oceaanwater, waardoor het watervolume toeneemt. Veenstra (1980) schat deze absolute rijzing van de zeestand in de afgelopen honderd jaar voor de Waddenzee op 10 cm.

In het Waddenzeegebied zijn op plaatselijk niveau nog vier factoren werkzaam die de relatieve zeestand beïnvloeden:

- a. Tectonische bodemdaling als reactie op de rijzing van Scandinavië. Veenstra (1980) schat de daling voor de Waddenzee op 4,5 cm per eeuw.
- b. Bodemdaling door inklinking van de holocene klei- en veenlagen. Veenstra (1980) komt voor de Waddenzee op een theoretisch gemiddelde waarde van 2,5 cm per eeuw.
- c. Bodemdaling onder invloed van gaswinning. Deze dalingen zijn zeer plaatselijk en over een kort tijdsbestek werkzaam; zie verder paragraaf 5.2.
- d. Toename van het getijverschil als gevolg van menselijke activiteiten, zoals het verdiepen van geulen in het Eems-Dollard estuarium en het afsluiten van de Zuiderzee.

Voor de gemeten zeestand zijn de factoren b en c niet relevant, aangezien vanuit vaste punten wordt gemeten. De gemeten verhoging van de zeestand in de Waddenzee kan dan op $10 + 4,5 = 14,5$ cm per eeuw worden geschat. Van Malde (1984) geeft op grond van peilschaalwaarnemingen langs de gehele Nederlandse kust een waarde van 15 à 20 cm per eeuw. Rond het studiegebied zijn voor Delfzijl, Harlingen, West-Terschelling en Den Helder berekeningen op grond van metingen beschikbaar van het totale effect van deze veranderingen voor de gemiddelde zeestand $\bar{Z}$, de gemiddelde hoogwaterstand $\bar{HW}$, de gemiddelde laagwaterstand $\bar{LW}$ en het gemiddelde getijverschil $\bar{TV}$. Tabel 3 geeft de situatie vóór het afsluiten van de Zuiderzee, tabel 4 daarna.

Tabel 3. Rijzing van het gemiddelde zeeniveau en de toename van gemiddeld hoogwater, gemiddeld laagwater en de gemiddelde getijverschillen in cm per eeuw (periode 1886-1932); naar Van Malde (1984).

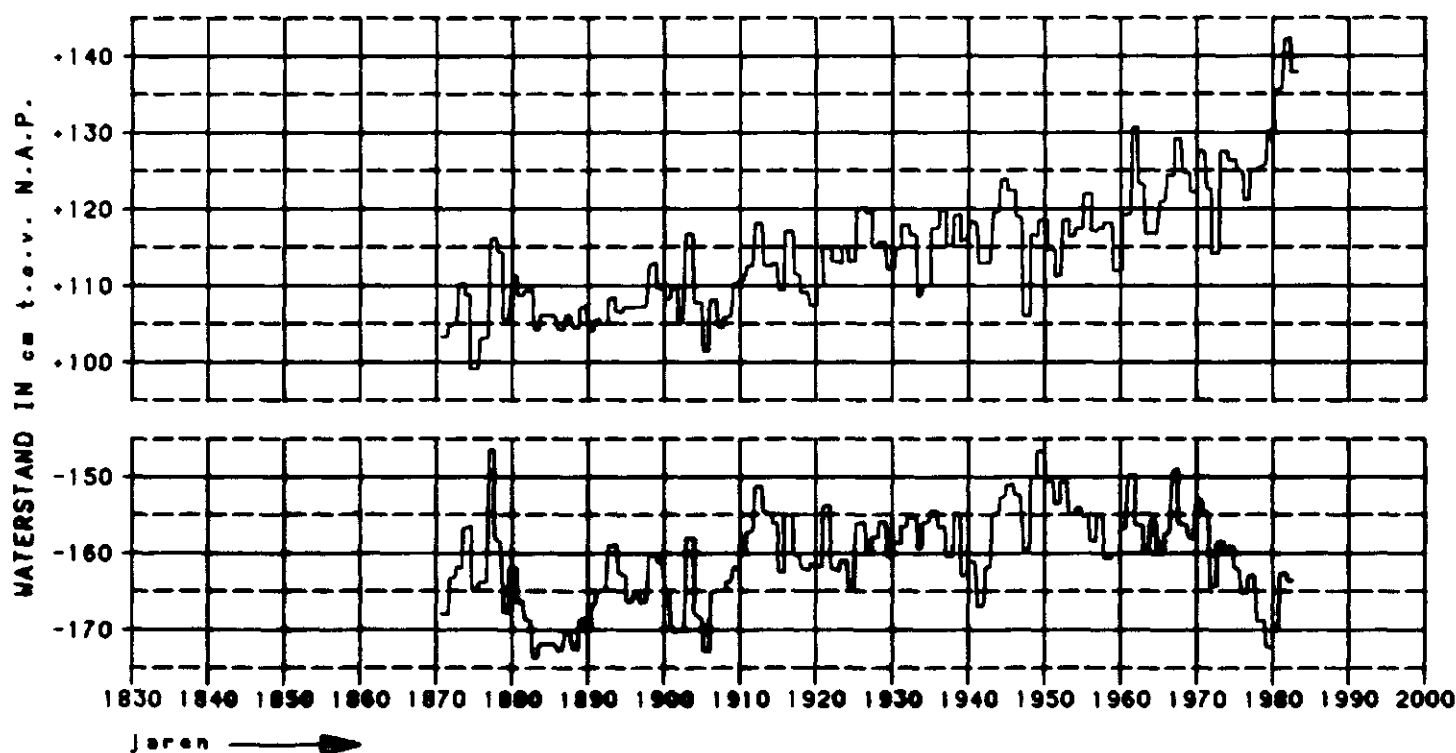
station \ grootheid	$\bar{Z}$	$\bar{HW}$	$\bar{LW}$	$\bar{TV}$
Delfzijl	26	26	26	0
Harlingen	25	31	24	7
(1886-1931)				
Den Helder	17	30	7	23
IJmuiden	17	10	15	-5
Hoek van Holland	31	20	33	-13
Zierikzee	32	36	27	9
Vlissingen	25	33	23	10

Tabel 4. Rijzing van het gemiddelde zeeniveau en de toename van gemiddeld hoogwater, gemiddeld laagwater en de gemiddelde getijverschillen in cm per eeuw (periode 1933-1980); naar Van Malde (1984).

station \ grootheid	$\bar{Z}$	$\bar{HW}$	$\bar{LW}$	$\bar{TV}$
Delfzijl	17			
West-Terschelling	-3	14	-21	35
Harlingen	15	27	10	17
Den Helder	15	15	7	8
IJmuiden	16	26	13	13
Hoek van Holland	19		8	
Zierikzee	20	38	4	34
Vlissingen	15	34	7	27

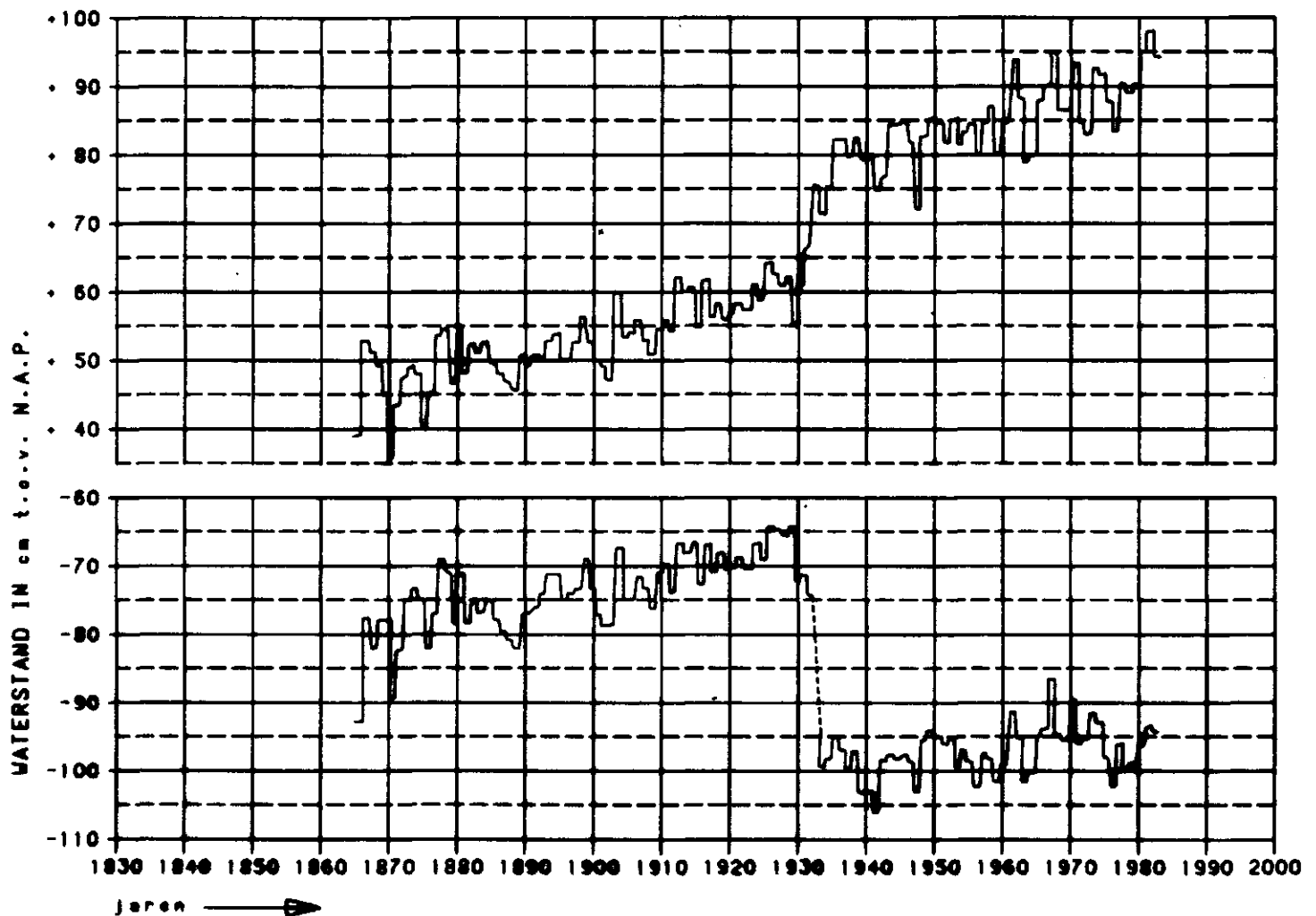
Voor de stations in de Waddenzee geven deze tabellen aanleiding tot de volgende opmerkingen:

- a. De rijzing van de gemiddelde zeestand $\bar{z}$ vertoont in de afgelopen honderd jaar een afnemende tendens. Werd voor de eerste periode nog een gemiddelde waarde van 22 cm per eeuw berekend, voor de tweede periode is deze waarde gedaald tot 11 cm. West-Terschelling vormt een opmerkelijke uitzondering. Terwijl alle stations een rijzing te zien geven, is hier voor de tweede periode een daling van 3 cm berekend. Helaas zijn voor dit station geen gegevens van de periode 1886-1932 vermeld.
- b. Alle stations geven een hoogwaterrijzing te zien met waarden van 26 tot 31 cm per eeuw in de eerste periode en 14 tot 27 cm in de tweede. De laagwaterrijzing varieert van 7 cm tot 26 cm per eeuw in de eerste periode en van - 21 tot 10 cm in de tweede. Wat betreft de laagwaterrijzing is West-Terschelling weer een uitzondering met een daling van 21 cm per eeuw.
- c. Het getijverschil is in de tweede periode meer toegenomen dan in de eerste, behalve voor Den Helder. In de eerste periode liep de toename uiteen van 0 tot 23 cm per eeuw, in de tweede periode van 8 tot 35 cm.



Figuur 16. Verloop gemiddelde hoog- en laagwaterstanden te Delfzijl.

Delfzijl neemt wat de toename van het gemiddelde getijverschil betreft een aparte plaats in. Van Malde (1984) heeft dit gegeven niet vermeld voor de periode 1933-1980, omdat er geen lineair verband in de reeks waarnemingen van die periode is. Het verloop van de gemiddelde hoog- en laagwaterstanden in Delfzijl vanaf 1872 (figuur 16) maakt dit niet-lineaire verband duidelijk. De figuur laat in de laatste decennia een sterk toenemend getijverschil zien. Berekend over de gehele periode is de toename van het getijverschil ca. 20 cm per eeuw en berekend over de periode van 1960 tot 1980 ca. 50 cm per eeuw. Dit moet worden toegeschreven aan het verdiepen van de geulen ten behoeve van de scheepvaart. In figuur 17 is duidelijk het effect van de afsluiting van de Zuiderzee in 1932 op de waterstanden bij Harlingen waarneembaar.



Figuur 17. Verloop gemiddelde hoog- en laagwaterstanden te Harlingen.

Voor de zoutplantenvegetatie zijn vooral de veranderingen in het hoogwaterniveau van belang. Verwacht mag worden dat de vegetatiezones deze veranderingen zullen volgen. De gegevens van tabel 4 sluiten voor wat de onderzoekperiode betreft het meest bij de hoogtemetingen in de landaanwinningswerken aan. De stations Delfzijl en Harlingen geven het beste de getijomstandigheden in de landaanwinningswerken weer. Weliswaar is het station Holwerd, wat de geografische ligging en het ontbreken van grote waterbouwkundige ingrepen betreft een betere keus, maar voor dit station is slechts een korte meetreeks (1969-1982) beschikbaar. Een vergelijking van het verloop van de jaargemiddelden van hoogwater in de overeenkomstige periode met die van Harlingen en Delfzijl doet vermoeden dat de trends in het waterstandsverloop van Harlingen en Delfzijl zich ook in Holwerd voordoen.

Voor de stations Delfzijl en Harlingen is in de periode 1933-1980 de gemiddelde zeestand met 15 tot 17 cm per eeuw gestegen (tabel 4). De verandering van de gemiddelde hoogwaterstand van Delfzijl wordt echter niet gegeven, terwijl in $\overline{HW}$ Harlingen het lange-termijneffect van de afsluiting van de Zuiderzee is verwerkt. Op grond van een toename van de getijverschillen bij alle omringende stations (inclusief een schatting van 20 cm per eeuw voor Delfzijl) is een hoogwaterrijzing die groter is dan de rijzing van de gemiddelde zeestand, aannemelijk. Aangenomen wordt dat dit voor de landaanwinningswerken 5 tot 15 cm per eeuw zou kunnen zijn. De totale hoogwaterrijzing wordt hiermee op 20 tot 30 cm per eeuw geschat. Dat betekent voor de periode 1960-1985 een hoogwaterrijzing van 5 tot 8 cm, terwijl daar tot 2000 nog 3 tot 5 cm bij zou kunnen komen. Dat kan dus voor een deel de geconstateerde verschuiving van kweldergras naar boven verklaren: in Friesland in de orde van 1/3 en in Groningen in de orde van 1/6 deel.

Overigens betekent dit dat de opslibbingscijfers uit hoofdstuk 3 met deze waarden voor de hoogwaterrijzing verminderd zouden moeten worden om het nettoresultaat van de hoogtewinst ten opzichte van gemiddeld hoogwater te krijgen. Voor de groepen I t/m V is de hoogwaterrijzing ongeveer 1/5 deel van de opslibbing. Gecorrigeerd blijft er gemiddeld nog 1 cm opslibbing per jaar over. Voor groep VI (Lauwerpolder en Emmapolder in Groningen) is de hoogwaterrijzing in de periode 1960-1985 echter even groot geweest als de gemiddelde opslibbing, voor de meetvakken 488 t/m 520 uit groep VI zelfs groter. De voorspelling voor de

periode 1985-2000 van de groei van het gebied boven de 5%-kweldergrasgrens zal duidelijk minder zijn. Om de gedachten te bepalen in de orde van 400 ha in plaats van 500 ha (geschat volgens de methode in 4.1 bij een hoogwaterrijzing van 4 cm).

5.2. Bodemdaling door gaswinning

De buitendijkse gronden, gelegen tussen de meetvakken 468 en 520 (groep VI), zijn in de periode 1964-1985 ten gevolge van de bodemdaling door gaswinning circa 1 tot 6 cm gezakt (figuur 18). De grootste zakking heeft plaatsgevonden nabij meetvak 520 en de geringste zakking nabij meetvak 468. Voor groep VI was een gemiddelde opslibbing over de periode 1960-1985 berekend van 6,4 cm. Omdat de hoogtemetingen worden uitgevoerd vanuit vaste punten die niet meezakken, is er dus 1 tot 6 cm meer opgeslibd. Ook dan is de opslibbing nog geringer dan voor de overige groepen. Aangenomen dat er geen positieve invloed van de komvormige zakking op de sedimentatie is (dat is niet bekend), zou zonder deze bodemdaling de kweldergrasgrens hier minder ver zijn teruggeweken. Overigens komt kweldergras in groep VI alleen in het gebied met de geringste zakking voor, waardoor de invloed tot nu toe gering is geweest.

Op grond van de huidige prognoses zal de uiteindelijke zakking in het jaar 2025 nabij vak 468 circa 5 cm bedragen en nabij vak 520 circa 25 cm.

5.3. Veranderingen in de wijze van begreppeling

In de uitvoering van de landaanwinningswerken door het Rijk hebben verschillende doelen voorop gestaan:

1. Vorming van beweidbare kwelders die later zouden kunnen worden bedijkt (1935-1950);
2. Vorming van een bodemprofiel geschikt voor bedijking (1950-1970);
3. Handhaving van de status quo, onder andere uit oogpunt van kustverdediging (1970-1981);
4. Behoud of herstel van de natuurwaarden (1981-heden).

Tijdens deze vier fasen zijn de principes van landaanwinning niet veranderd, alleen de intensiteit van het menselijk ingrijpen is aan de doelstellingen aangepast.

613000

5 GEMETEN IN 1985
25 PROGNOSE TOT 2025
MATEN IN CM

W.A.D.
Lauwers

W.A.D.

603000
Noordpolder
Warffum
Den Andel
Baflo

Noordpolder

Warffum

Usquert

Den Andel

Baflo

Kantens

235000

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

70

75

80

85

90

95

100

105

110

115

120

125

130

135

140

145

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

613000

De ingenieur:
[Signature]

Get.	Gew.	Gec.	Gez.
14/5-86			
<i>[Signature]</i>			

RIJKSWATERSTAAT		DIRECTIE	GRONINGEN
FIGUUR 18		DIENTSTKRING	BAFLO
GRONINGER WADDEN			
BODEMDALING IN CM		SCHAAL 1:100000	
t.g.v. GASWINNING			
GEMETEN EN PROGNOSE		AI	86015

Tijdens de eerste twee fasen is de gewijzigde Sleeswijk-Holsteinse methode ontwikkeld. Daarbij werden vanaf 1956 jaarlijks forse greppels opengehouden in alle bezinkvelden. Gemeend werd dat de ophoging vooral door het mechanische grondverzet plaats zal vinden; de greppels zorgen tevens voor drooglegging en daarmee stabilisatie van het terrein. Bestudering van de hoogtegegevens heeft de Werkgroep Natuurbeheer Rijkslandaanwinningswerken aanwijzingen gegeven dat de rol van het grondverzet veel geringer is dan men toen dacht. De rol van de vegetatie werd in die eerste twee fasen secundair geacht in vergelijking met de vroegere methoden van landaanwinning (de boerenmethode en de oorspronkelijke Sleeswijk-Holsteinse methode; Kamps 1962). De betekenis van de vegetatie voor de ophoging wordt door de genoemde Werkgroep juist veel hoger gewaardeerd.

Vanaf 1970 (3^e fase) wordt gestreefd naar de handhaving van de bereikte toestand. De onderhoudsfrequentie van de greppels wordt tweejaarlijks. Het greppelonderhoud in de buitenste (derde) bezinkvelden is dan al vanaf 1965 gestopt. Vanaf 1981 (4^e fase) wordt ook het greppelonderhoud in het onbegroeide deel van de tweede bezinkvelden gestopt. Het graafwerk, dat tot dan is uitgevoerd door graafmachines op pontons, wordt dan grotendeels overgenomen door op rupsbanden rijdende machines. Daarbij is de inhoud van de greppels opgevoerd van 0,3 m³ per meter greppel naar minimaal 0,4 m³ per meter. De belangrijkste ommekeer in het onderhoud van de landaanwinningswerken ligt dus in de periode 1965 tot 1970: de drooglegging van het terrein vermindert.

Wat betekent het onderhoud van de greppels voor de groeiomstandigheden van het kweldergras? Na de begreppeling is de oorspronkelijke begroeiing ter plaatse van de ruggen verstikt. Maar wel ligt er in de overgangszone naar de kwelder dan een goed ontwaterd terrein met ruggen van voldoende hoogte voor de vestiging van een pionierbegroeiing en uiteindelijk het meerjarige kweldergras. Door de kunstmatige ontwatering groeien de zouttolerante planten op een lager niveau dan onder natuurlijke omstandigheden mogelijk is. Het daaropvolgende jaar zijn de greppels echter meestal volgeslibd en zijn de ruggen deels door erosie verdwenen. Daardoor neemt het watergehalte van de grond toe en de aëratie en daarmee de gunstiger groeiomstandigheden voor de planten af. In het derde jaar wordt opnieuw begreppeld. Omdat de inhoud van

twee greppels op één tussenliggende akker wordt gebracht, wordt dan op de andere helft van de akkers de nog resterende vegetatie verstikt onder het opgeworpen greppelslik. Ook daar moet dan de vestiging van planten opnieuw beginnen. De eenjarige pionierplanten zijn aan die situatie aangepast, maar om zich uit te kunnen breiden heeft het meerjarige kweldergras stabielere omstandigheden nodig. Kamps (1962) heeft al geconstateerd dat de uitbreiding van kweldergras wordt belemmerd als er veel greppelslik op de akkers wordt gebracht.

Een mogelijke verklaring voor de ongunstige verschuiving van het kweldergras in de overgangszone naar de kwelder is dat de groeiomstandigheden onstabiel zijn geworden. Dat zou kunnen zijn veroorzaakt door de combinatie van:

- ophoging door grondverzet;
- een verlaagde onderhoudsfrequentie na 1970;
- de vergroting van de greppelinhoud na 1980.

De vegetatie wordt dus minder drooggelegd en meer verstikt. Als het beheer ten gunste van de vegetatie kan worden aangepast, zal de kwelderaanwas weer gelijke tred met de hoogteontwikkeling moeten gaan houden. Mits deze aanpassing van het beheer geen nadelige invloed op de hoogteontwikkeling heeft, zou dan tot het jaar 2000 wellicht een aanwas in de orde van 400 ha kunnen plaatsvinden (tabel 2, gecorrigeerd voor de relatieve hoogwaterrijzing).

Om deze stellingen te toetsen verdient het aanbeveling in de overgangszone een experiment op te zetten met greppelmethode gericht op het kiezen van stabielere omstandigheden voor de plantengroei. Die methoden zijn te vinden bij de boerenmethode en de oorspronkelijke Sleeswijk-Holsteinse methode van landaanwinning. Daarbij zijn de greppels uitsluitend gericht op ontwatering en daarmee verbetering van de groeiomstandigheden van de planten en is het grondverzet minimaal. De opslibbing moet bij een dergelijke methode vooral door de vegetatie worden gerealiseerd. Een dergelijk experiment kan worden uitgevoerd door de RWS-RIN-RIJP werkgroep "Experiment Natuurbeheer Rijkslandaanwinningswerken".

5.4. Veranderingen in beweiding

Een van de overwegingen om voor kweldergras de grens van 5%-bedekking te kiezen is geweest dat op een dergelijk laag niveau beweiding nog

geen rol speelt voor de ontwikkeling van de vegetatie. Indirect is er echter wel een invloed van de beweiding op de ligging van de 5%-kwelder-grasgrens denkbaar. Kweldergras verspreidt zich voornamelijk vegetatief. Losse stengeldelen blijven in de pionierbegroeiing hangen en kunnen zich dan vestigen (Kamps, 1962). Door beweiding komen veel losse stengeldelen beschikbaar. Hervestiging van kweldergras na grondwerk zou daardoor bevorderd kunnen worden. In Friesland is de beweiding onverminderd intensief gebleven. In Groningen is de beweiding sterk afgenomen. Aangezien de teruggang van kweldergras t.o.v. de hoogteligging in Groningen groter is dan in Friesland, kan de invloed van de afname van de beweiding niet uitgesloten worden. Enig verkennend onderzoek is op zijn plaats. Zo zouden in vergelijkbare gebiedjes in Friesland en Groningen periodiek de losse vegetatieve delen van kweldergras geteld kunnen worden.

Literatuur

- Beeftink, W.G., 1965. De zoutvegetatie van Z.W.-Nederland, beschouwd in Europees verband. Med. Landbouwhogeschool Wageningen 65 (1) : 167 p.
- Boer, M. de & M.A.J. Komen, 1983. Erosie en sedimentatie in de landaanwinningswerken op het Friese wad 1966-1978. Rijkswaterstaat Adviesdienst Hoorn. Nota WWKZ-82.HOO3: 22 p.
- Dijkema, K.S., 1983. The salt-marsh vegetation of the mainland coast, estuaries and Halligen. In: K.S. Dijkema & W.J. Wolff (eds.). Flora and vegetation of the Wadden Sea islands and coastal areas. Balkema, Rotterdam: p. 185-220.
- Dijkema, K.S., N. Dankers & W.J. Wolff, 1985. Cumulatie van ecologische effecten in de Waddenzee. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Texel. RIN-rapport 85/13: 105 p.
- Glopper, R.J. de, 1981. De snelheid van opslibbing en van de terugschrijdende erosie op de kwelders langs de noordkust van Friesland en Groningen. In: 50 jaar onderzoek. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad: p. 43-51.
- Kamps, L.F., 1962. Mud distribution and land reclamation in the eastern wadden shallows. Rijkswaterstaat comm. 4, Den Haag: 73 p.
- Kool, G., 1980. Erosie/sedimentatie Vlake van Oosterbierum-'t Abt. Rijkswaterstaat, Adviesdienst Hoorn. Notitie 80.H 253: 17 p.
- Malde, J. van, 1984. Voorlopige uitkomsten van voortgezet onderzoek naar de gemiddelde zeeniveaus in de Nederlandse kustwateren. Rijkswaterstaat, directie Waterhuishouding en Waterbeweging. Nota WW-WH 84.08: 20 p.

Veenstra, H.J., 1980. Introduction to the geomorphology of the Wadden Sea area. In: K.S. Dijkema et al. (eds.). Geomorphology of the Wadden Sea area. Balkema, Rotterdam: p. 8-19.

Weihe, K von, 1978. Untersuchungen zur Oekologie von *Puccinellia maritima* (Huds.) Parl. (Temperatur und Meeressalzwirkung). Beitr. Biol. Pfl. 54: p. 145-163.