

VOORSPELLING LIGGING KUSTLIJN
FRIESE WADDENEILANDEN

Notitie ANW-88.16
juni 1988

Auteur: ing. F. IJnsen

Bijdragen:

Programma's: J.M. v.d. Boogert

Databestand: P. Noordstra en D. van Sijp

Bijlagen: 16

VOORSPELLING LIGGING KUSTLIJN FRIESE WADDENEILANDEN

INHOUDSOPGAVE

	pag.
1. INLEIDING	3
2. HET GEBRUIKTE WAARNEMINGSMATERIAAL	4
2.1 Strandmetingen	
2.2 Onderzochte meetreeksen	
3. ONDERZOEK VAN DE MEETREEKSEN	5
3.1 Algemeen	
3.2 Trendbepaling	
3.3. Tijdreeksanalyse van het restsignaal	
4. EXTRAPOLATIES IN ENKELE KENMERKENDE RAAIEN PER EILAND	10
5. AUTOMATISERING VAN HET ONDERZOEK	12
BIJLAGEN	13

VOORSPELLING LIGGING KUSTLIJN FRIESE WADDENEILANDEN

1 **INLEIDING**

In het kader van het landelijke project "Nota Kustverdediging" moet in opdracht van de Hoofddirectie van de Rijkswaterstaat een beleidsanalytische studie naar de verdediging van de zandige Noordzeekust worden verricht. Op grond van de studie kan het rijksbeleid in deze via een behandeling door de Tweede Kamer en het Kabinet worden vastgesteld. De dienst Getijdewateren (DGW) is belast met de realisering van bedoelde nota en alle kustdirecties moeten hierin een bijdrage leveren, zo ook de directie Friesland.

In deze notitie wordt beknopt ingegaan op de methoden van onderzoek op grond waarvan uit het bestaande waarnemingsmateriaal extrapolaties van het toekomstige gedrag van de Noordzeekusten van de eilanden: Vlieland, Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog (overzicht zie bijlage 1) met de nodige reserve kunnen worden verkregen. Deze "reserve" is gekoppeld aan de onvermijdelijke twijfel, welke inherent is aan welke extrapolatie dan ook, want hoe verder men in de tijd extrapoleert, hoe groter de onzekerheid wordt omtrent de juistheid van de aldus geschatte uitkomsten. Ondanks eerder genoemde statistische bezwaren worden in deze notitie voor de jaren 1990, 1995, 2000, 2010, 2020, 2050 en 2090 de verwachte ligging van hoogwaterlijn (HW-lijn), laagwaterlijn (LW-lijn) en waar mogelijk van de duinvoet (DV-lijn) in enkele kenmerkende raaien van de bovengenoemde eilanden gepresenteerd.

De gevolgde extrapolatiemethodiek wordt hier stapsgewijs toegelicht voor Terschelling aan de hand van tussenresultaten voor enkele kenmerkende raaien.

2 HET GEBRUIKTE WAARNEMINGSMATERIAAL

2.1 Strandmetingen

In de vorige eeuw is men begonnen om de ligging van de gemiddelde HW-, LW- en DV- lijn op systematische basis eenmaal per jaar door opmeting vast te leggen aan het strandraaiensstelsel. De meetraaien lopen in zee-waartse richting en staan loodrecht op een denkbeeldige lijn getrokken langs de RijksStrandPalen. Deze waarnemingen werden verricht in elke KM-raai en daarna ingeschreven in de z.g. "strandmeetregisters". De beginjaren, waarin deze strandmetingen van start gingen zijn voor:

- Vlieland	1859
- Terschelling	1858
- Ameland	1880
- Schiermonnikoog	1880

De traditie van deze jaarlijkse strandmetingen is voortgezet tot en met het jaar 1963. Vanaf dit jaartal werden op uitgebreidere schaal de jaarlijkse kusthoogte- en dieptemetingen uitgevoerd door middel van waterpassingen en lodingen e.d. Deze latere meetgegevens zijn opgenomen in het landelijke databestand "JARKUS". Uit dit bestand konden de bovengenoemde "traditionele" meetreeksen tot en met het jaar 1986 worden aangevuld.

2.2 Onderzochte meetreeksen

Ten behoeve van dit onderzoek was het noodzakelijk om homogene en gevalideerde meetreeksen te verkrijgen. Dit doel is bereikt door diverse correcties op de meetgegevens toe te passen, welke nodig waren als gevolg van veranderingen aan de raaiensstelsels, welke in het verleden zijn uitgevoerd. Vervolgens zijn de aldus gecorrigeerde meetreeksen opgenomen in het databestand van de directie Friesland. Deze reeksen zijn te beschouwen als tijdreeksen en kunnen als zodanig voor elke raai afzonderlijk in de vorm van een grafiek worden gepresenteerd. Zulke grafieken, waarin de jaarlijkse afstanden van HW-, LW- en DV- lijn tot de hoofdmeetlijn (=RSP-lijn) als ordinaten zijn uitgezet tegen de jaartallen als abscissen, worden ook wel "bliksemgrafieken" genoemd, omdat het verloop van de aaneenschakeling van verbindingslijntjes tussen de punten in de grafiek een dergelijke verschijningsvorm suggereert, zie bijlage 2. Het zijn in hoofdzaak deze bliksemgrafieken, welke in de zin van het beoogde doel naar de toekomst moeten worden geëxtrapoleerd. Een dergelijke werkwijze vanuit het bestaande waarnemingsmateriaal vereist een grondige studie van het statistische en fenomenologische karakter van de tijdreeksen. Het zijn dan ook de diverse methoden van tijdreeksanalyse, welke zijn toegepast op de meetreeksen van de KM-raaien van elk eiland.

3 ONDERZOEK VAN DE MEETREEKSEN

3.1 Algemeen

De visuele inspectie van een serie bliksemgrafieken, welke in opeenvolging voor een eilandkust onder elkaar worden opgesteld, levert een beeld waaruit een sterke raai- op raai-persistentie blijkt. Diverse maxima en minima in het verloop van deze grafieken blijken zich min of meer regelmatig in de tijd langs de kust te verplaatsen, bijlage 3 geeft daarvan een voorbeeld. Dalende tendenzen (retrogressie of achteruitgang van de kust) ziet men, gerekend langs de kust en in de tijd, geleidelijk overgaan en stijgende tendenzen (transgressie of vooruitgang van de kust) en omgekeerd. De sterkste en meest kortperiodieke oscillaties in het verloop van de bliksemgrafieken treden op in de raaien, welke zich het dichtst bij de zeegaten bevinden. Deze oscillaties verplaatsen zich onder geleidelijke uitsterfing (verkleining van de amplitude) en deformatie regelmatig langs de kust en in de tijd in de richting van het eiland-midden. Dit verschijnsel wordt aangeduid met het begrip "zandgolven".

Teneinde meer objectieve informatie en inzicht te verkrijgen over en in het karakter van deze verschijnselen, zijn op de meetreeksen de methoden van auto-correlatie en kruis-correlatie toegepast. Met behulp van de eerstgenoemde methode is elke raai afzonderlijke onderzocht. Daaruit is bijvoorbeeld gebleken, dat het globale gedrag van veel reeksen het best kan worden beschreven door een lineaire seculaire trend met daarop gesuperponeerd een relatief lang-periodiek sinus-sigitaal, dat we hier verder "macro-oscillatie" zullen noemen. De bovengenoemde zandgolven zijn daarbij te beschouwen als oscillaties van hogere orden met daarop een hoog-frequente stochastische ruiscomponent. Het is deze ruis, welke het "bliksemachtige" verloop van de grafieken veroorzaakt. Met behulp van de methode van kruis-correlatie kan onder meer een inzicht worden verkregen in de verplaatsing van de zandgolven als functie van plaats en tijd.

Verschillende procedés van lopende middelen zijn vervolgens toegepast om de signalen (tijdreeksen, bliksemgrafieken) te ontdoen van ruis om zodoende in het aldus gefilterde en gladgestreken verloop de maxima, minima, stijgende en dalende takken beter zichtbaar te kunnen maken en naar de tijd te detecteren, zie bijlage 4. Deze aanpak maakt het onder meer mogelijk om in een tweedimensionaal veld de belangrijkste transgressie- en retrogressiegebieden van de HW-, LW- en DV- lijn als functies van plaats en tijd weer te geven.

Bijlage 5a geeft voor de HW-lijn van de kust van Terschelling daarvan een voorbeeld. Op de ene as zijn de raaien 5...29 uitgezet en op de andere de jaartallen 1858... 1986 (plaats en tijd). Uit de gladgestreken bliksemgrafieken zijn per raai de relatieve maxima en minima ontleend en in het diagram weergegeven.

Het verloop van deze extrema omsluit de genoemde gebieden van vooruitgang en achteruitgang. We zien dat de transgressiegebieden zich in hoofdzaak manifesteren in de kustgedeelten, welke onder invloed staan van de zeegaten en uit welke richting de z.g. "zandgolven" zich naar het midden van het eiland verplaatsen.

Het middendeel van het eiland vertoont vanaf ca. 1870 tot heden in de raaien 14...21 een retrograad gedrag; de kust gaat daar dus geleidelijk achteruit (lange-termijn effect).

Bijlage 5b, geplot met behulp van de computer, geeft ongeveer hetzelfde beeld, doch iets gedetailleerder, omdat hierbij een minder sterk gladstrijkfiter is toegepast op de oorspronkelijke signalen. De verplaatsing van de zandgolven komt hier duidelijker tot uiting dan op bijlage 5a, doch de ruis is nog niet geheel weggefilterd. Elk eiland heeft in dit opzicht zijn eigen karakteristiek, waar we in deze notitie om redenen van beknoptheid niet verder op in kunnen gaan.

3.2 Trendbepaling

Wanneer men volgens de regelen der kunst een tijdreeksanalyse wil uitvoeren, dient de te onderzoeken reeks eerst van zijn trends te worden ontdaan. Een veel gebruikte methode daartoe is het transformeren van de oorspronkelijke reeks naar een verschilreeks. De elementen van zo'n nieuwe reeks bestaan uit de onderlinge verschillen tussen de opeenvolgende meetwaarden van de oorspronkelijke reeks. De verschilreeks bestaat dus uit positieve en negatieve afwijkingen voor respectievelijk stijgende en dalende tendenzen.

Het gemiddelde van bovengenoemde afwijkingen is, wanneer dit positief is, een maat voor de helling van de lineaire stijgende trend in de oorspronkelijke reeks en, indien dit gemiddelde negatief is, voor de helling van een lineaire dalende trend. Het niveau van zulke trends is verder bepaald door het gemiddelde van de oorspronkelijke meetreeks. Op de verschilreeks kunnen diverse methoden van tijdreeksanalyse worden toegepast om eventuele periodieke componenten op te sporen en het aandeel van de stochastische ruis te bepalen. Omdat een meetreeks meerdere trends kan bevatten, welke in werkelijkheid niet per se lineair van karakter behoeven te zijn, is in dit onderzoek een andere werkwijze gekozen, waarbij er van uitgegaan is om in eerste instantie een niet-lineaire trend aan een meetreeks aan te passen en naar de toekomst te extrapoleren. In tweede instantie zijn daarop voor raaien, welke daarvoor in aanmerking komen, significante oscillaties van hogere orde(n) gesuperponeerd.

Gelet op de bevindingen, welke voortvloeien uit het in de vorige paragraaf beknopt omschreven oriënterend vóóronderzoek, is voor de algemene trend in de bliksemgrafieken een model geconstrueerd, waarin de parameters uit het waarnemingsmateriaal zelf moeten worden geschat.

- Een lineaire trend is slechts een hulpmiddel.
- Er is geen fysieke eis dat een kernelijk lineair systeem thans, ook in de toekomst lineair blijft.
- Voor korte extrapolatie tijden is een lineaire trend een goed hulpmiddel.
- Voor lange(re) extrapolatie tijden niet noodzakelijkerwijs

M.i. met reedgolven niet noodzakelijkerwijs zandtoevoer gemoeid!

Dit hypothetische model bestaat uit een interactief of intern geassocieerd samenstel van een lineaire seculaire trend en een relatief langperiodieke sinusoïdale macro-oscillatie. De lineaire seculaire trend in dit samenstel is verdedigbaar op grond van de hypothese van voortdurende gelijkmatige kustvoortgang aan de uiteinden van de eilanden en een idem dito achteruitgang in de middenmoot. Volgens deze hypothese bestaat voor de Waddeneilanden de neiging dat de uiteinden zeewaarts uitgroeien en de middenmooten daarentegen retireren. Dit geldt met name voor de relatief lange eilanden Terschelling en Ameland. In dit verband zij nogmaals verwezen naar de bijlagen 5a en 5b.

De aanname van de macro-oscillatie als bestanddeel van het model vindt zijn oorsprong in het holle of bolle verloop van de bliksemgrafieken van een aantal raaien enerzijds (zie als voorbeeld bijlage 2, waarbij er sprake is van een dergelijk gebogen verloop op langere termijn met de bolle zijde landwaarts gekeerd) en in een compensatieneiging ten aanzien van het effect op de kust van de lineaire seculaire trends anderzijds. Wat laatstgenoemd effect betreft, zou men zich voor kunnen stellen, dat de kust van de eilanden in toenemende mate U-vormig zou kunnen worden, wanneer alleen en uitsluitend dit lineaire aandeel van het model werkzaam zou zijn. Op den duur zou een eiland zoals Ameland of Terschelling in twee of meer delen uiteen kunnen vallen. Bij deze eilanden is echter een labiel evenwicht kunstmatig in stand gehouden door menselijke ingrepen in de natuurlijke morfologische processen. Deze ingrepen bestonden in het koppelen door middel van stuifdijken van de veel kortere morfologische eenheden, waaruit die eilanden zijn opgebouwd; daardoor zijn onnatuurlijk lange eilanden ontstaan met thans een zwak U-vormig kustverloop.

Om paal en perk te stellen aan verdere retrogressie zijn zandsuppleties noodzakelijk, zoals op Ameland reeds eenmaal is uitgevoerd. Kennelijk is de zandvoeding van de middenmoot van een eiland door zandgolven onvoldoende om een stabiel evenwicht in stand te houden. In dit verband kunnen de langperiodieke oscillaties worden opgevat als macrozandgolven, welke de retrogressie slechts ten dele kunnen compenseren.

Met behulp van de kleinste kwadratenmethode, toegepast in de vorm van een multiple regressiemodel, is voor elke raai het stelsel lineaire trend met macro-oscillatie aangepast aan het waarnemingsmateriaal. Met behulp van deze regressiemethode kunnen de volgende parameters worden geschat:

- helling van de lineaire seculaire trend
- niveau idem
- amplitude van de macro-oscillatie
- periode idem
- fase idem

Omdat het model zodanig is geconstrueerd, dat alle vijf genoemde parameters onderling geassocieerd zijn (compensatie-beginsel), is aangenomen, dat de meest optimale aanpassing plaatsvindt bij de maximale waarde van de multiple correlatiecoëfficiënt.

Dit betekent dat bij een zeer grote serie perioden, opklimmend van 3 tot b.v. 500 jaar, bijna 500 multiple correlatiecoëfficiënten moeten worden berekend, welke in een diagram tegen de bijbehorende perioden worden uitgezet. Voor de meeste raaien kan daaruit de optimale periode bij de hoogste waarde van de multiple correlatiecoëfficiënt worden gedetecteerd, zoals dat op bijlage 6a wordt gedemonstreerd.

Bij een aantal raaien kan als gevolg van een divergentie-effect de optimale combinatie echter niet worden vastgesteld. In zulke gevallen zijn een zeer groot aantal perioden mogelijk bij een vrijwel horizontaal verloop op het hoogste niveau van de multiple correlatiecoëfficiënt; bijlage 6b geeft daarvan een indruk. De oorzaak van een dergelijk verschijnsel kan waarschijnlijk worden toegeschreven aan de te korte duur van de meetreeks ten opzichte van de te determineren periode van de aan te passen macro-oscillatie (zie ook hoofdstuk 4). Omdat in deze gevallen de computerberekeningen geen uitsluitel kunnen geven, zijn de gevraagde perioden met de hand geïnterpoleerd tussen die, waarvoor dat wel mogelijk is.

*Periode
1/2 x meet-
reeks 'kunnen'
helemaal niet*

Nadat alle overige parameters zijn berekend, wordt het stelsel van seculaire trend met macro-oscillatie aan het waarnemingsmateriaal aangepast en naar de toekomst geëxtrapoleerd en door de computer geplot (voorbeeld: zie bijlage 7)

3.3 Tijdreeksanalyse van het restsignaal

Wordt van een meetreeks het stelsel van lineaire seculaire trend met macro-oscillatie afgetrokken, dan ontstaat een restsignaal, dat verder onderzocht moet worden op periodieke bijdragen van hogere orden dan die van de macro-oscillatie. Dit restsignaal bestaat uit positieve en negatieve afwijkingen voor ieder jaar met verwachting van het gemiddelde = 0. Op deze afwijkingen kunnen verschillende methoden van tijdreeksanalyse worden toegepast. Bijlage 8 geeft enkele voorbeelden van dergelijke restsignalen.

Met behulp van een spectraal-analyse is eerst nagegaan, welke fluctuaties in het restsignaal wel en welke niet als ruis beschouwd kunnen worden. De spectra, voor elke raai één, worden daartoe cumulatief weergegeven en op basis van de toets van KOLMOGOROFF en SMIRNOV worden daarin de 95%-ruisbanden aangebracht.

Wanneer voor een bepaalde raai het cumulatieve spectrum binnen deze ruisband verloopt, kan worden gesteld, dat het spectrum gelijkmatig gevuld is met ruis en dat er geen sprake meer is van deterministische bijdragen; op bijlage 9a zijn enkele dergelijke gevallen afgebeeld.

Wat Terschelling betreft, is daar sprake van bij de raaien welke zijn gelegen in het midden van het eiland. Bij de overige raaien, waarin de invloed van de zeegaten merkbaar is ziet men de cumulatieve spectra "buiten de oevers treden" (buiten het 95%-ruisinterval, zie bijlage 9b). Voor die gevallen is er dus nog sprake van deterministische componenten in de restreeks.

Met behulp van het normale (dus niet-cumulatieve) spectrum en het autocorrelogram worden vervolgens de meest aannemelijke perioden van die oscillaties gedetecteerd. Met de aldus vastgestelde perioden van hogere orde als gegeven, worden met behulp van de kleinste kwadraten methode de best passende sinusoidale oscillaties aangepast, waarbij naast de bekende periode nog de amplitude en fase worden geschat. Ook daarvoor is een model ontwikkeld. Deze bewerking kan zoveel malen worden herhaald, totdat ook de spectra van de betreffende raaien gevuld zijn met alleen ruis. De gevonden significante oscillaties van deze hogere orden worden tenslotte bij die raaien, waar daar sprake van is, gesuperponeerd op de eerder gevonden seculaire trend met macro-oscillatie en naar de toekomst geëxtrapoleerd. Bijlage 10 geeft enkele voorbeelden van een dergelijk samengesteld geval.

In deze notitie kan nog niet worden gerapporteerd over de analyse-methode, welke in de eerste alinea van deze paragraaf is beschreven omdat deze nog niet is uitgevoerd. Het is namelijk niet ondenkbeeldig, dat met behulp van de beschreven methoden van tijdreeksanalyse op het verschil-signaal de hiervoor beschreven periodiciteiten van macro-oscillaties en die van hogere orde(n) mogelijk beter vastgesteld kunnen worden zonder het bezwaar van het divergentie-effect en de daardoor noodzakelijke handmatige ingrepen in het geautomatiseerde analyse-proces. In verband daarmee dragen de extrapolaties, welke in het volgende hoofdstuk worden gegeven, een voorlopig karakter.

4 VOORLOPIGE EXTRAPOLATIES IN ENKELE KENMERKENDE RAAIEN PER EILAND

Teneinde te voldoen aan de opdracht, welke in de inleiding aan de orde is gesteld, worden in dit hoofdstuk volgens de hiervóór beschreven procedures voor enkele kenmerkende raaien per eiland de extrapolaties gegeven van de ligging van HW-, LW-, en DV- lijn.

De raaien zijn als volgt geselecteerd:

- de beide uiterste raaien van de onderzochte kustsegmenten (behalve ter plaatse van de zeegaten);
- een raai in het midden van een kustsegment;
- bij lange kustsegmenten zijn twee raaien verdeeld over de lengte van het segment meegenomen.

Per eiland worden in zo'n zestal raaien de voorspellingen gegeven van de ligging van bovengenoemde lijnen voor de opgegeven voorspelmomenten. Aan deze verwachtingswaarden wordt toegevoegd de breedte van de 95% marge (breedte = 4 x standaardafwijking) als gevolg van het stochastisch ruisaandeel.

Op de bijlagen 11 t/m 13 zijn voor het kustvak Terschelling de voorspelde lijnen van LW, HW en DV getekend in een 8-tal geselecteerde raaien. Als aanvullende informatie is de standaardafwijking van de resterende ruis gegeven, terwijl de 95%-marge als band rond de voorspelde lijnen is getekend.

Op bijlage 14 zijn vervolgens, alle berekeningsresultaten voor de beschouwde Waddeneilanden in een overzichtelijke tabel samengevat.

Op bijlage 15 is de voorspelde ligging van de DV-lijn voor de vier Waddeneilanden getekend voor de voorspelmomenten 2000, 2020 en 2090.

Zoals eerder is opgemerkt, moeten deze verwachtingen met de nodige reserve worden beschouwd omdat de duur van de tijdvakken, waarin de waarnemingen zijn verzameld, eigenlijk te kort zijn om er met voldoende betrouwbaarheid conclusies ten aanzien van de toekomst aan te kunnen verbinden. Dit geldt des te meer voor meetreeksen, die periodieke componenten bevatten, zoals de onderhavige. In een aantal raaien worden namelijk extra polaties verricht met behulp van een model, waarin de periode van de macro-oscillatie aanzienlijk langer blijkt te zijn dan de duur van het tijdvak, waarin de waarnemingen zijn verzameld.

Aan de statistische regel, die zegt, dat het tijdvak, waarover de waarnemingen zich uitstrekken, minstens twee maal zo lang moet zijn ^{als} aan de periode, welke de meetreeks bevat, wordt in veel gevallen bij lange na niet voldaan. Hierdoor wordt het detecteren van de juiste periodiciteit vrijwel onmogelijk gemaakt, nog afgezien van de mogelijkheid, dat er in werkelijkheid sprake kan zijn van quasi-periodieke oscillaties in plaats van reële, zoals die hier zijn verondersteld. Het gevolg kan zijn dat men aperiodieke schommelingen op onjuiste gronden naar de toekomst heeft geëxtrapolleerd.

en dus ook niet zonder meer doen!

ik! of wij!

men!

Het risico zal daarom moeten worden geaccepteerd, dat de kwaliteit van de voorspellingen in overeenstemming is met de aard en het karakter van de vraagstelling. Desondanks bestaat de mening, dat aan de analyse van de meetreeksen beter een objectieve arithmische en mathematisch-statistische ruggegraat kan worden gegeven dan in het geheel geen.

Het stellen van een aantal hypotheses bij de gevolgde extrapolatiemethode was hier onvermijdelijk. Deze kunnen blijven bestaan, totdat het aantal dissonante resultaten in de toekomst een dusdanige omvang heeft gekregen, dat er noodzaak kan ontstaan om die hypotheses te herzien en in een volgend stadium zo mogelijk door betere te vervangen. Dit zou bijvoorbeeld het geval kunnen zijn, wanneer het onderliggende waarnemingsmateriaal zich ver-n-voudigd heeft, met n =minstens 2.

Een andere mogelijkheid tot herziening en bijstelling zou kunnen zijn, dat een beter gefundeerde extrapolatiemethode wordt ontwikkeld en toegepast. In dit verband zou ook kunnen worden gedacht aan een fysisch model, dat na toetsing aan het bestaande waarnemingsmateriaal voor het beoogde doel toegepast kan worden.

Ook kunnen zich in de toekomst ontwikkelingen voordoen, zoals een versnelde zeespiegelrijzing en/of de invloed van een klimaatschommeling, die zich zodanig doen gelden, dat een streep wordt gehaald door de verwachtingen van de ligging van de toekomstige kustlijn. Het is de toekomst, die het zal leren.

Priid praat

zijn gewoon 'fout' bezig.

5 AUTOMATISERING VAN HET ONDERZOEK

Zonder automatisering van de benodigde hulp-, reken- en tekenprogramma's was een onderzoek op een dergelijke analytische basis volstrekt onmogelijk geweest. In deze notitie zijn in beknopte zin globaal de stappen aangegeven over de rechtstreekse weg, die leidt van de meetreeksen naar de extrapolaties. Dat bij dit onderzoek talrijke zich vertakkende doodlopende wegen zijn ingeslagen (experimenten) zij hierbij verder nog vermeld. Voor elke weg, zowel voor het rechtstreekse pad als voor alle andere experimenten met de meetreeksen, zijn door J.M. v.d. Boogert passende computerprogramma's geschreven in FORTRAN 77.

Bijlage 16 geeft een overzicht van alle reken- en tekenprogramma's, welke bij dit onderzoek zijn toegepast en die hij in de vorm van "recepten" ontving van de auteur dezes.

Door D. van Sijp en P. Noordstra zijn de meetreeksen uit de strandmeetregisters na het aanbrengen van de nodige correcties alsmede de relevante gegevens uit het JARKUS-bestand ingevoerd in het voor dit onderzoek opgezette databestand.

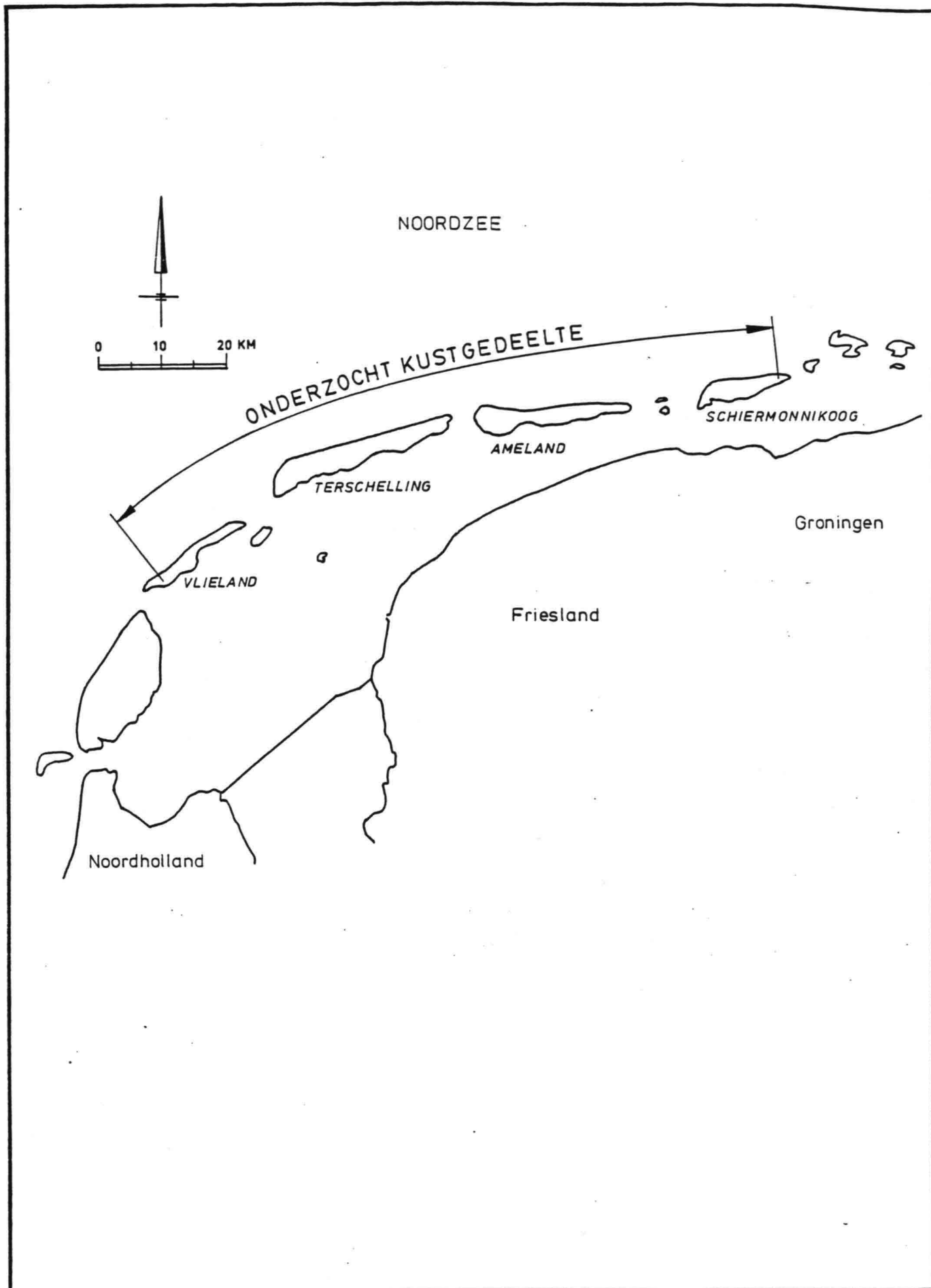
Op bijlage 16 is tevens de gevolgde werkwijze aangegeven in de vorm van een stroomschema.

Bijlagen

- 1 Overzichtssituatie onderzocht kustgedeelte van de Friese Waddeneilanden.
- 2 Bliksemgrafieken voor LW, HW en DV in raai 1000 van het kustvak Terschelling.
- 3 Verplaatsing van maxima en minima in de bliksemgrafieken vanuit het Zee-gat van het Vlie langs de kust van Terschelling.
- 4 Gladgestreken tijdreeksen van LW, HW en DV in de raaien 700, 1100, 2000 en 2900 van het kustvak Terschelling.
- 5a Transgressie en re(tro)gressie van de HW-lijn in de raaien 500 t/m 2900 van het kustvak Terschelling.
- 5b Idem 5a maar met een minder sterk gladstrijkfiter.
- 6a Verloop van de multiple correlatiecoëfficiënt voor de onderlinge relatie tussen de parameters voor seculaire trend en macro-oscillatie in de tijdreeks voor HW met herkenbaar maximum.
- 6b Idem 6a maar met een quasi maximaal verloop.
- 7 Extra polatie van de HW-lijn met behulp van seculaire trend met macro-oscillatie in de raaien 700, 1100, 1500 en 1900 van het kustvak Terschelling.
- 8 Restsignalen van geanalyseerde tijdreeksen HW in de raaien 700, 900, 2700 en 2900 van het kustvak Terschelling.
- 9a Cummulatieve dichtheidsspectra restsignaal geanalyseerde tijdreeks HW met ruis zonder deterministische bijdragen.
- 9b Idem 9a maar welke met deterministische bijdragen van hogere orde compo-nenten.
- 10 Geëxtrapoleerde HW-lijn met behulp van seculaire trend macro-oscillatie en hogere orde oscillaties in de raaien 600, 800, 2600 en 2800 van het kustvak Terschelling.
- 11a + b Voorspelde ligging LW-lijn voor een 8-tal geselecteerde raaien van het kustvak Terschelling.
- 12a + b Voorspelde ligging HW-lijn voor een 8-tal geselecteerde raaien van het kustvak Terschelling.

- 13a + b Voorspelde ligging DV-lijn voor een 8-tal geselecteerde raaien van het kustvak Terschelling.
- 14 Overzicht resultaten voorspelde ligging van LW-, HW- en DV-lijn ten opzichte van de RSP-lijn voor 7 voorspelmomenten.
- 15a t/m 15d Voorspelde ligging DV-lijn voor de vier Friese Waddeneilanden voor de voorspelmomenten 2000, 2020 en 2090.
- 16 Overzicht en stroomschema van ontwikkelde reken- en tekenprogramma's ten behoeve van de extrapolatie van de tijdreeksen van LW, HW en DV tot het jaar 2090.

anw-x-5



OVERZICHTSSITUATIE WADDENEILANDEN

Projectcode: W 88.06 D

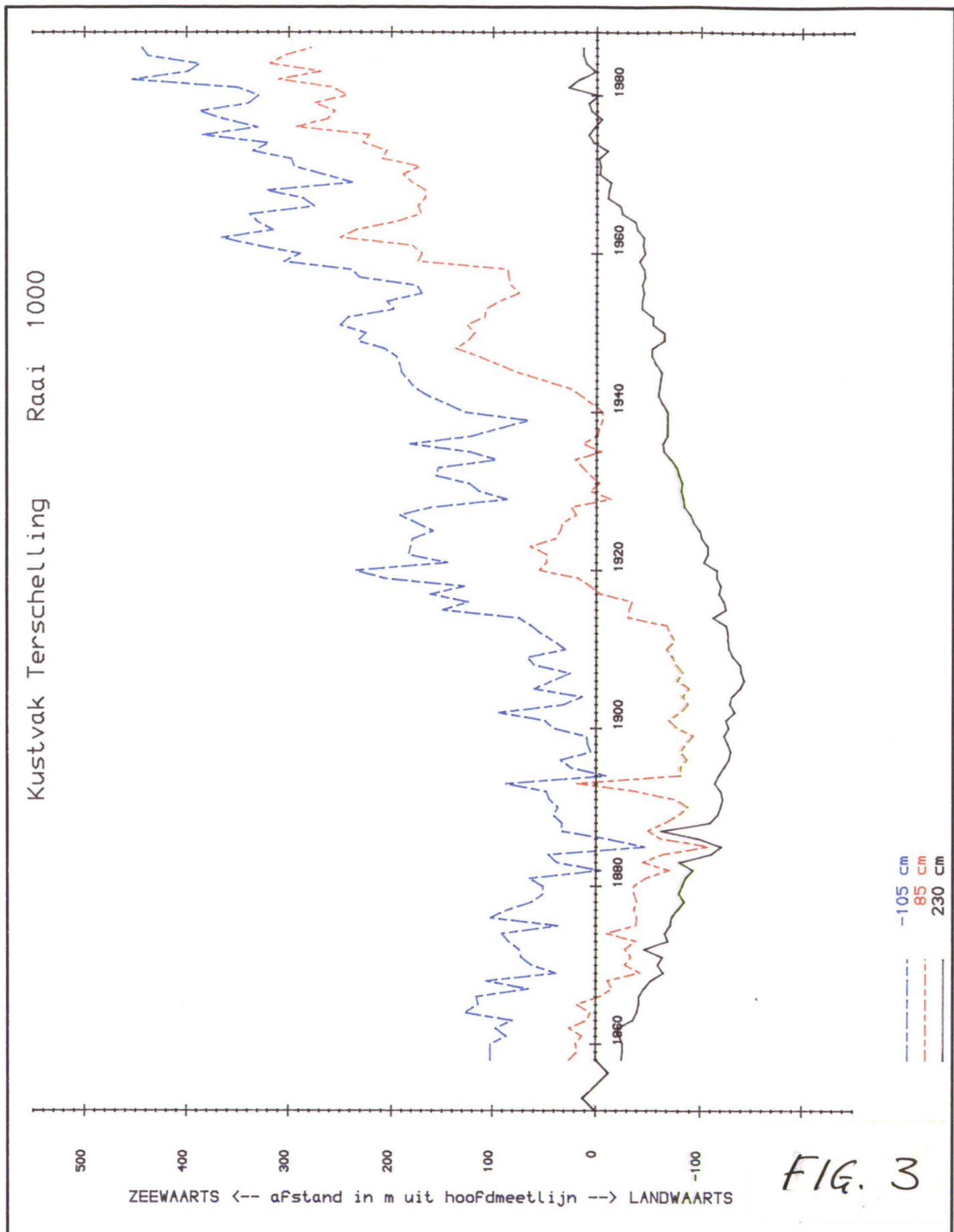
Rapport ANW 88.16

Bijlage 1

Rijkswaterstaat - Directie Friesland afd. ANW

Din A4

Reg. nr.



BLIKSEMGRAFIEKEN
Verloop hoogte- resp. dieptelijnen
tov NAP in de tijd

Projectcode W 8806 D

Rapport ANW-88.16

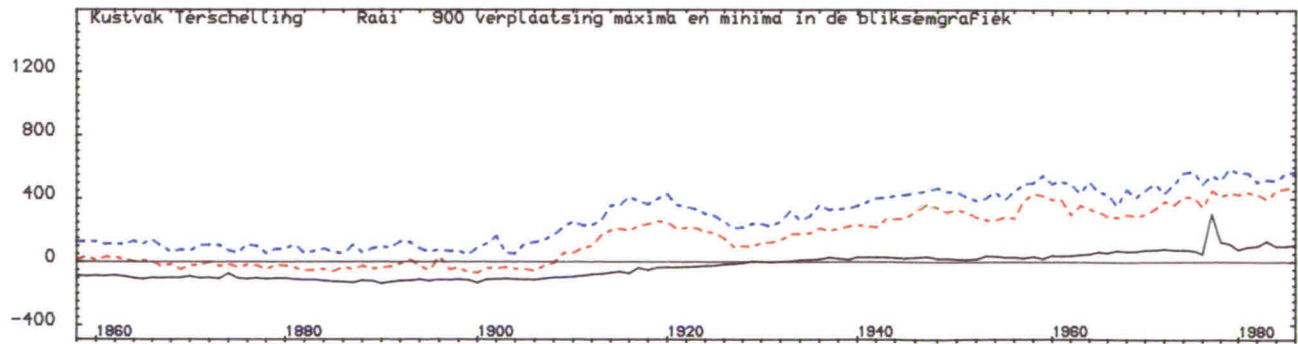
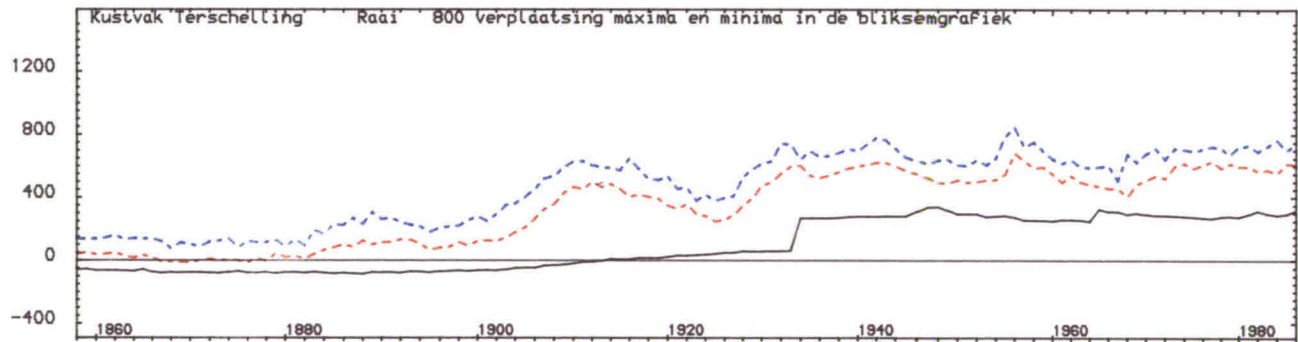
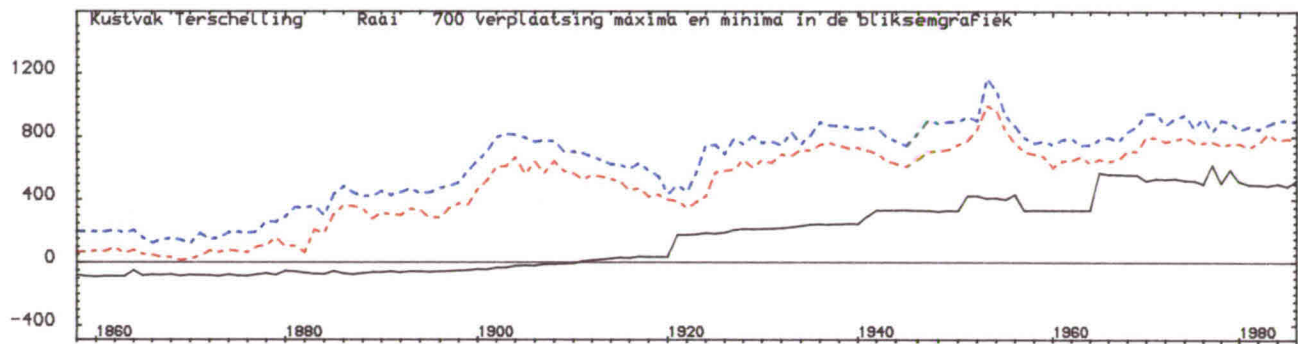
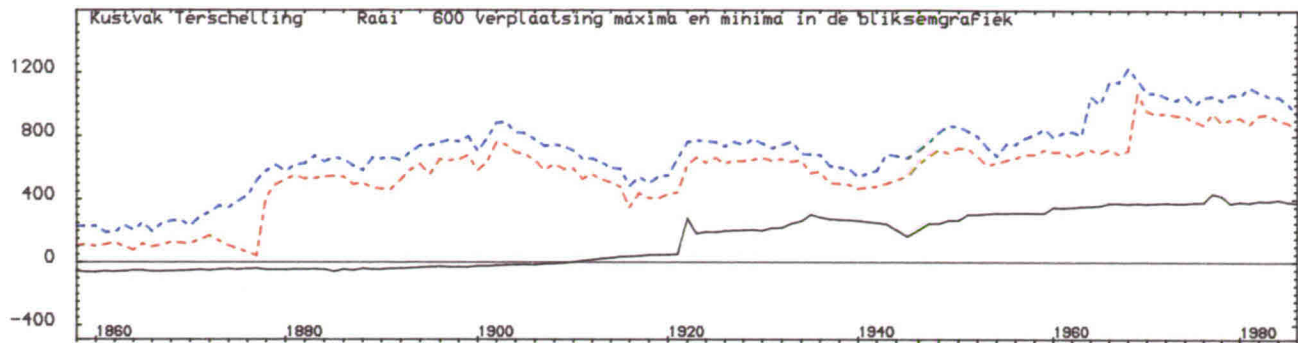
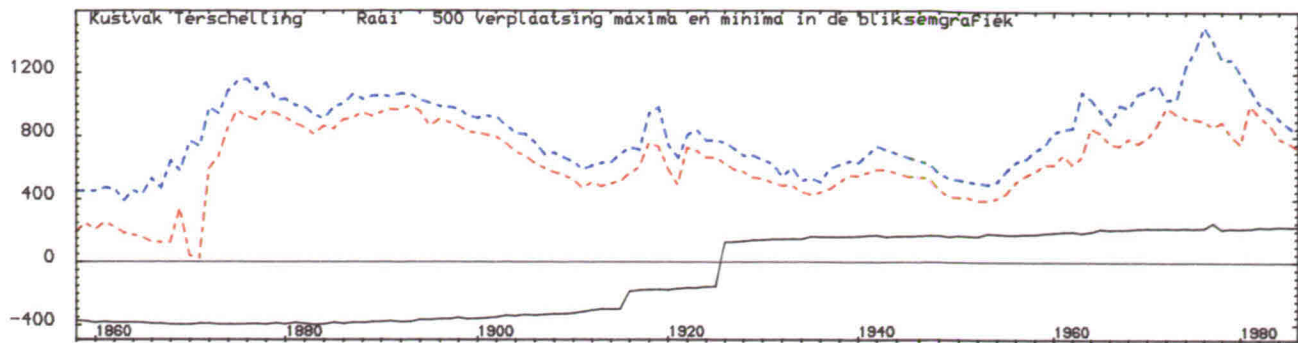
Bijlage 2

Rijkswaterstaat-Directie Friesland afd. A N W

din A4

Reg.nr. ANW.LINREG

LANDWAARTS <-- afstand in m uit hoofdmeetlijn --> ZEEWAARTS



————— 230 cm DV - - - - - 85 cm HW - - - - - -105 cm LW

B L I K S E M G R A F I E K E N
Verloop hoogte- resp. dieptelijnen
tov NAP in de tijd

Projectcode W 8806 D

Rapport ANW-88.16

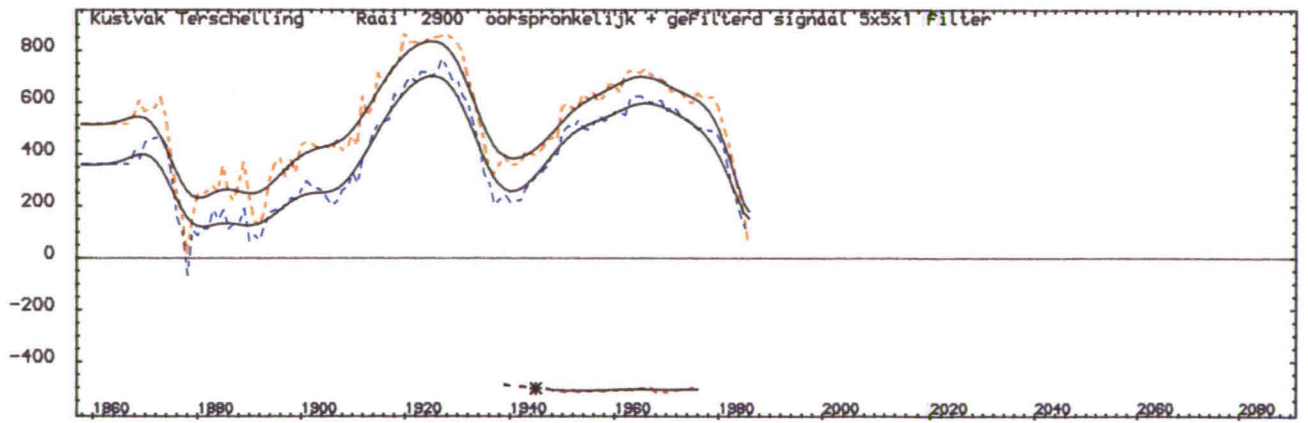
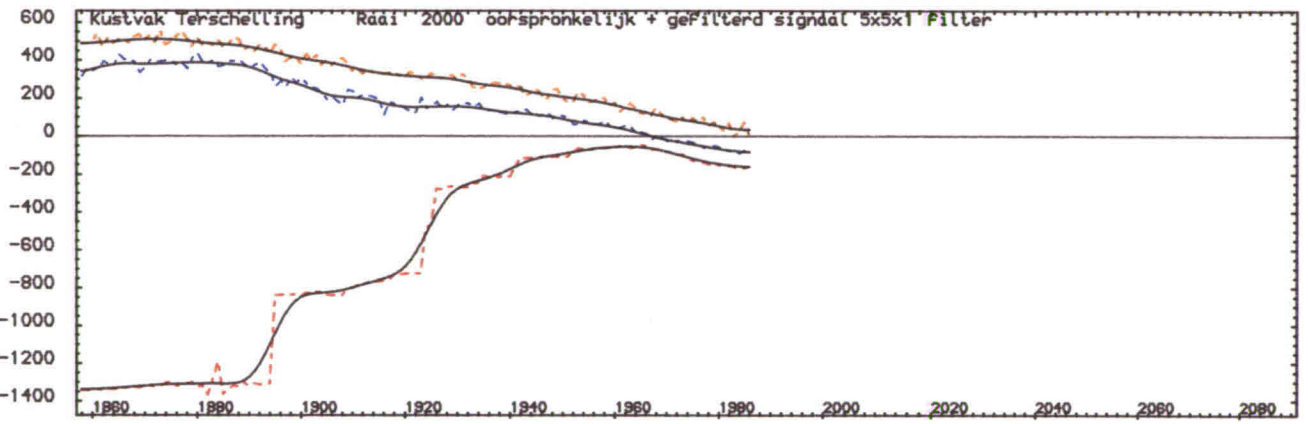
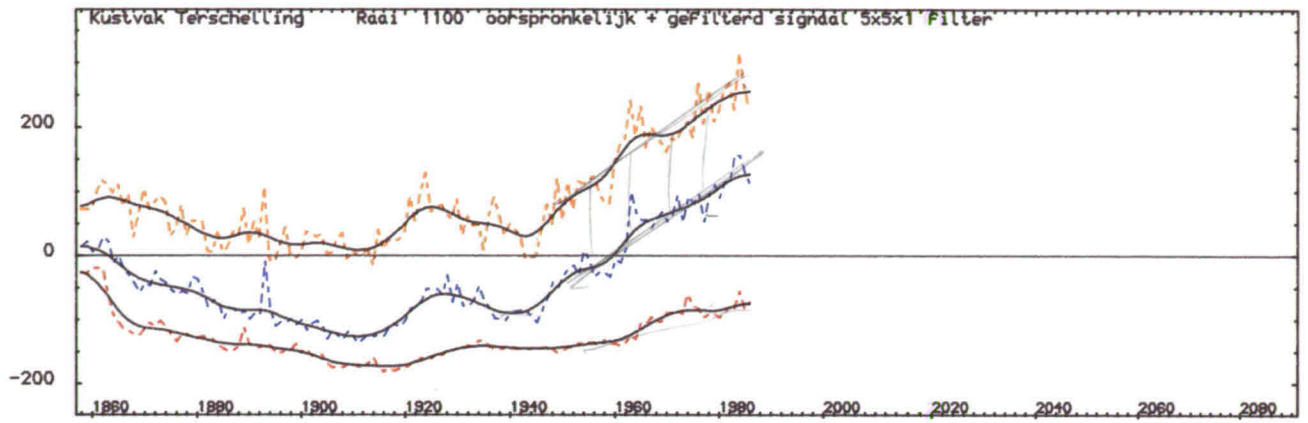
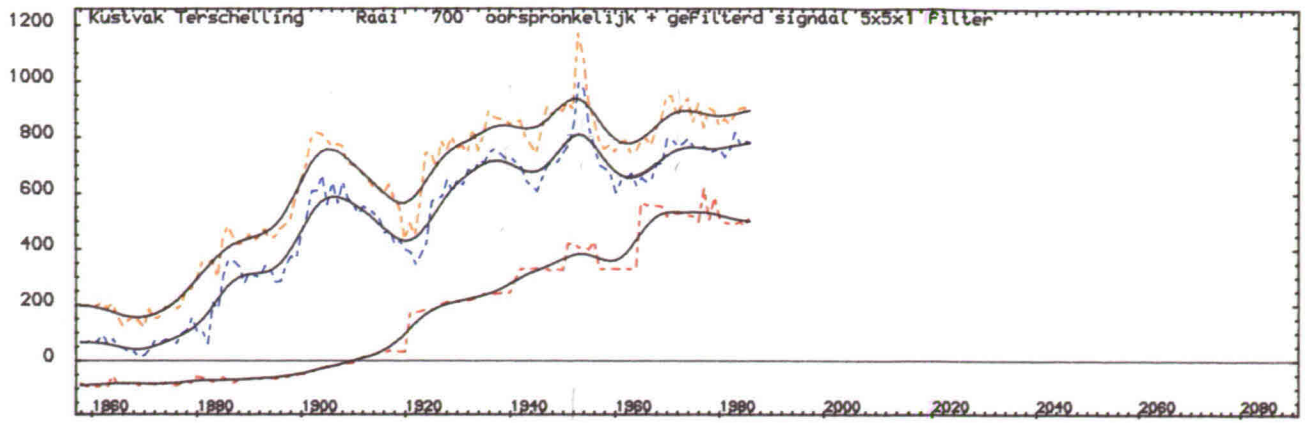
Bijlage 3

Rijkswaterstaat-Directie Friesland afd. A N W

din A4

Reg.nr. ANW.LINREG4

LANDWAARTS <-- afstand in m uit hoofdmeetlijn --> ZEEMWAARTS



---*--- 230 cm DV - - - - 85 cm HW - - - - -105 cm LW

BLIKSEMGRAFIEKEN
Verloop hoogte- resp. dieptelijnen
tov NAP in de tijd

Projectcode W 8806 D

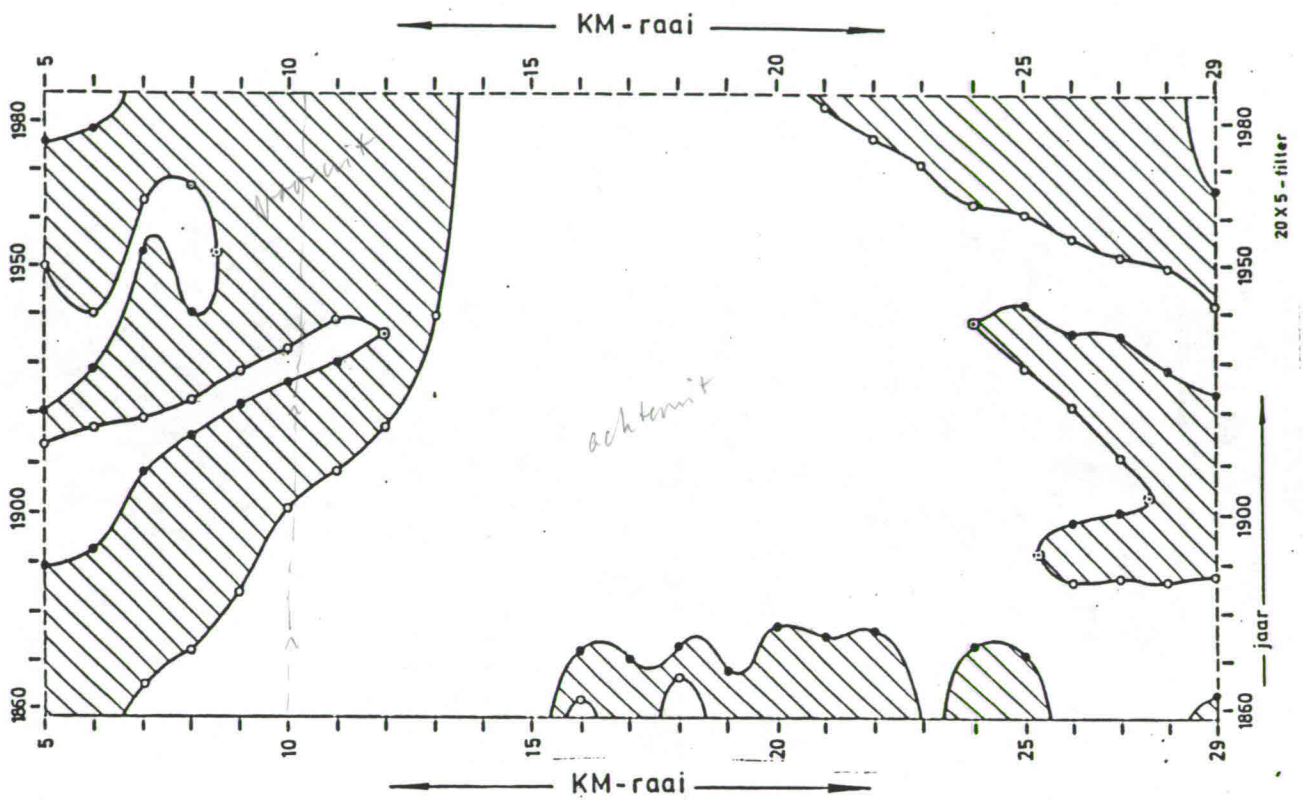
Rapport ANW-88.16

Bijlage 4

Rijkswaterstaat-Directie Friesland afd. A N W

din A4

Reg.nr. ANW.LINREG4A



- Gearceerd = TRANSGRESSIE (zeewaartse verplaatsing of vooruitgang)
 Ongearceerd = RETROGRESSIE (landwaartse verplaatsing of achteruitgang)
 ●—●—●—● = RELATIEVE MAXIMA ⊙ = BUIGPUNT ($\frac{dy}{dt}(\max) = \frac{dy}{dt}(\min) = 0$)
 ○—○—○—○ = RELATIEVE MINIMA ⊙ = idem, hypothetisch

TERSCHELLING, Noordzeekust, KM-raai 5 t.m. 29
 Transgressie en retrogressie van de HW-lijn in
 het tijdvak 1858 t.m. 1986

Projectcode: W 88.06 D

Rapport ANW 88.16

Bijlage 5 A

Rijkswaterstaat - Direktie Friesland afd. ANW

Din A4

Reg. nr.

Terschelling verplaatsingssnelheid HW-lijn 5x5x1 Filter

—> 0 m
—< 0 m

2020

2000

1980

1960

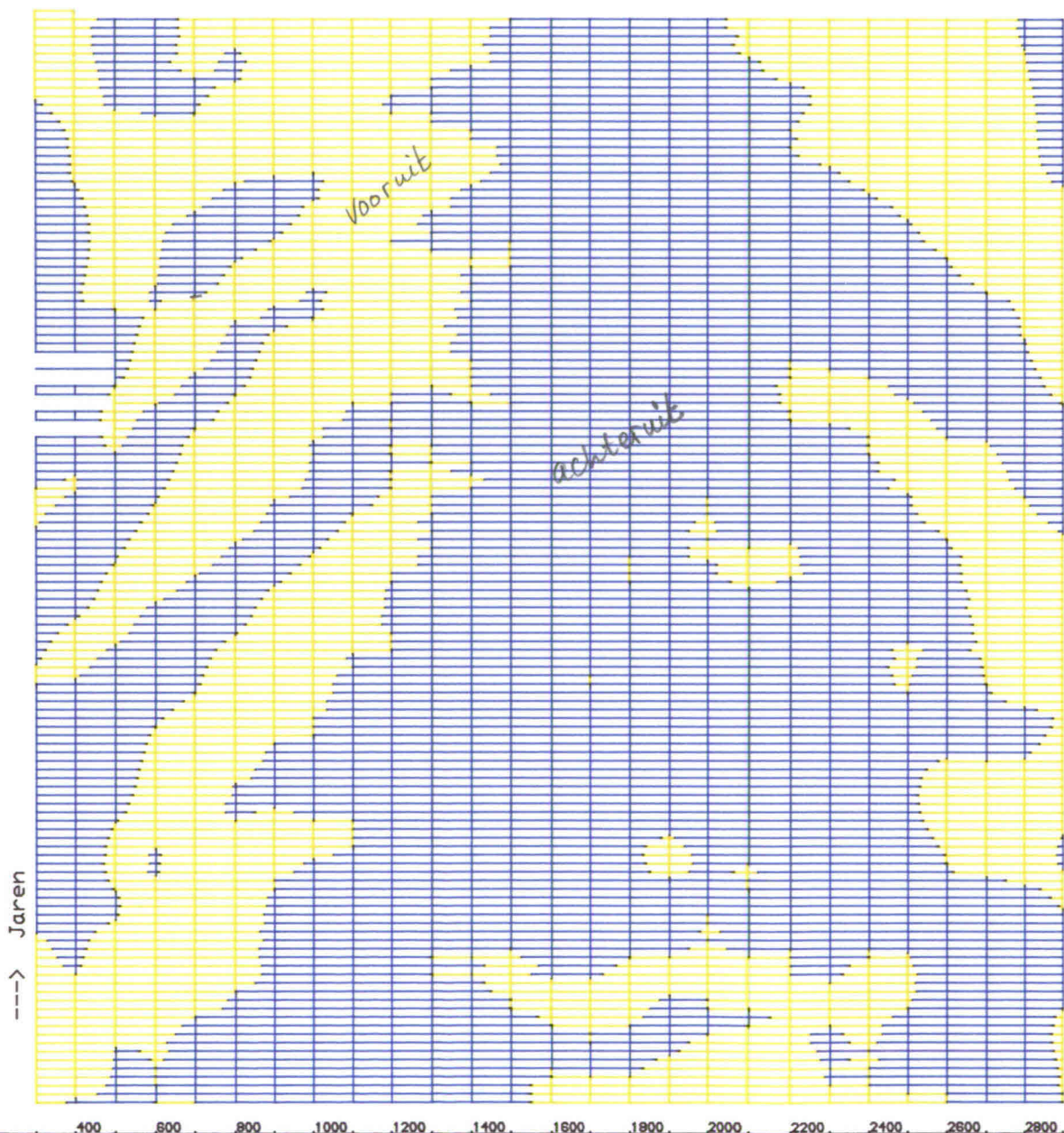
1940

1920

1900

1980

1860



---> Raaien

TRANSGRESSIE en RETROGRESSIE
van een dieptelijn in het
tijdvak van 1858 - 1987

Projectcode W 8806 D

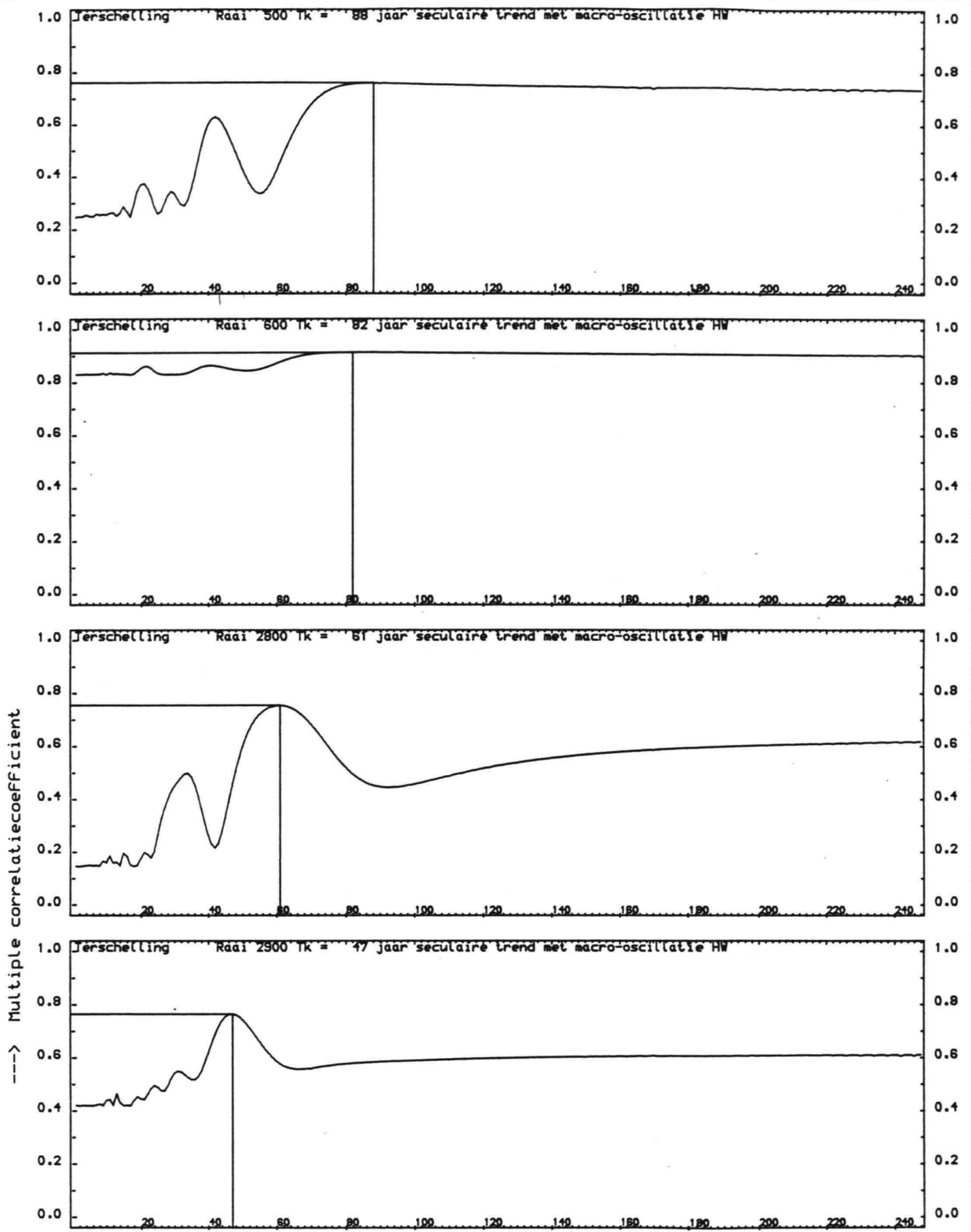
Rapport ANW-88.16

Bijlage 5b

Rijkswaterstaat-Directie Friesland aFd. A N W

din A4

Reg.nr. ANW.VEPLAATS8



VERLOOP van de MULTIPLE CORRELATIE-COEFFICIENT voor de onderlinge relatie tussen de parameters

Projectcode W 8806 D

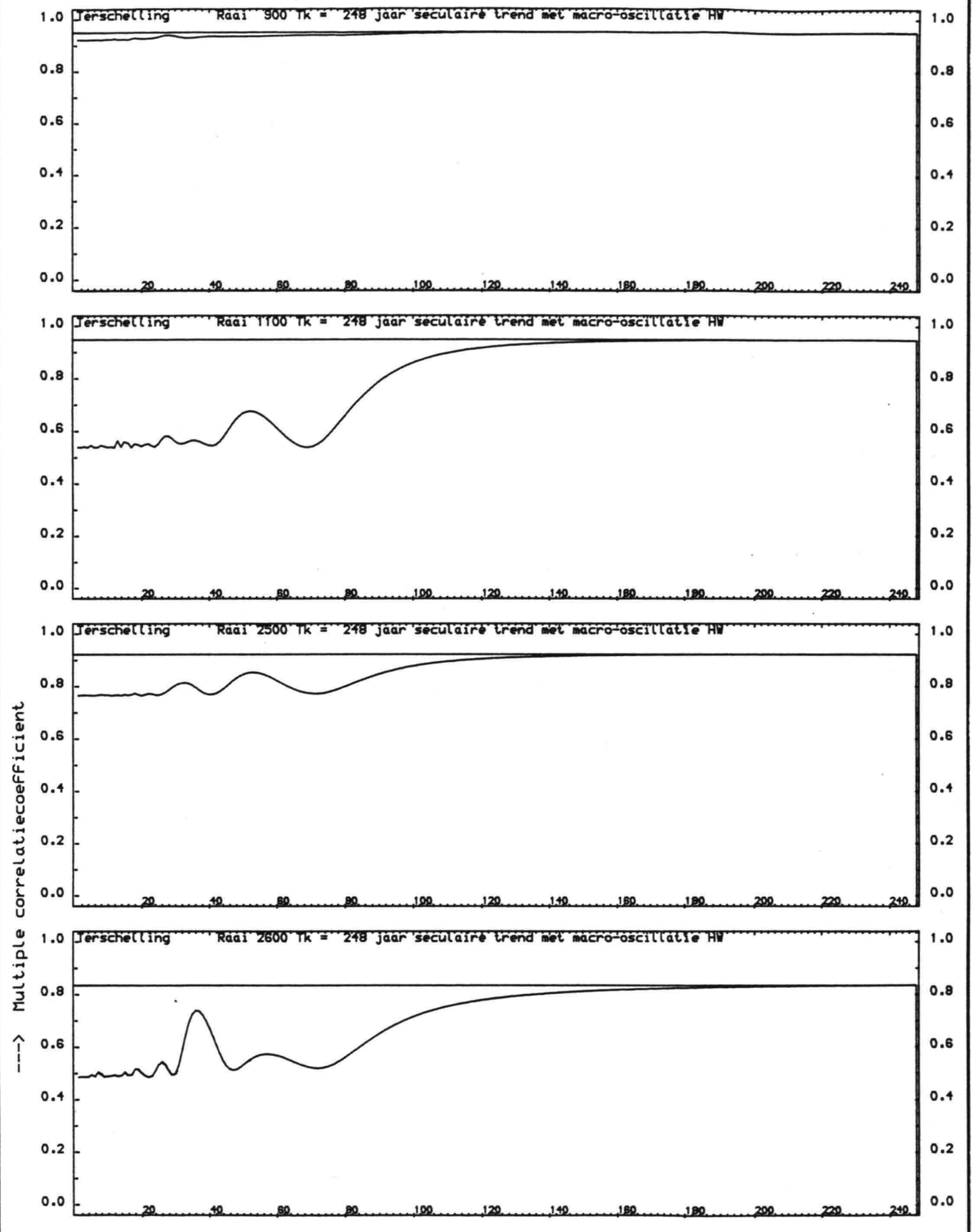
Rapport ANW-88.16

Bijlage 60

Rijkswaterstaat-Directie Friesland afd. A N W

din A4

Reg.nr. ANW.TREND2A



VERLOOP van de MULTIPLE CORRELATIE-COEFFICIENT voor de onderlinge relatie tussen de parameters

Projectcode W 8806 D

Rapport ANW-88.16

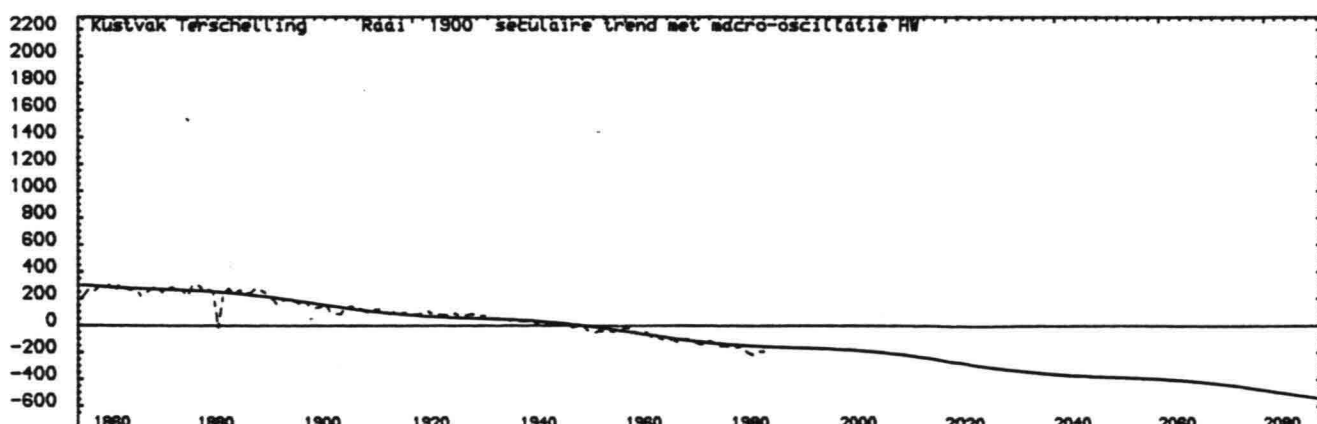
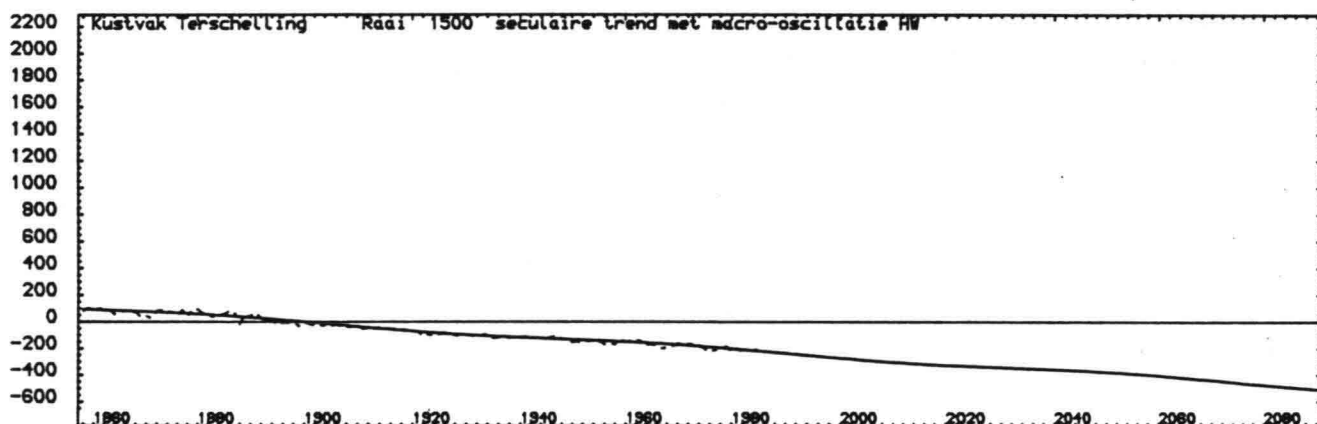
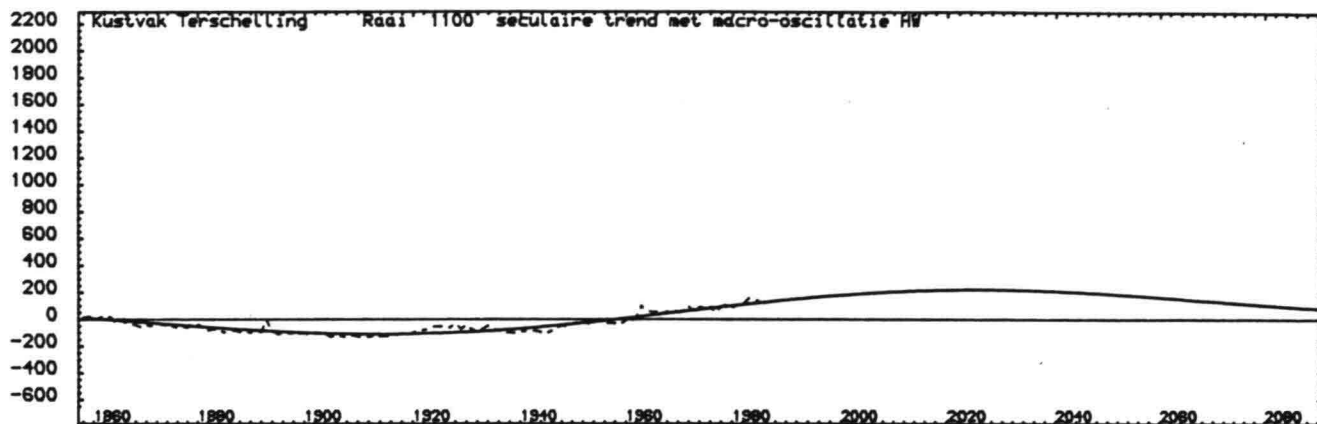
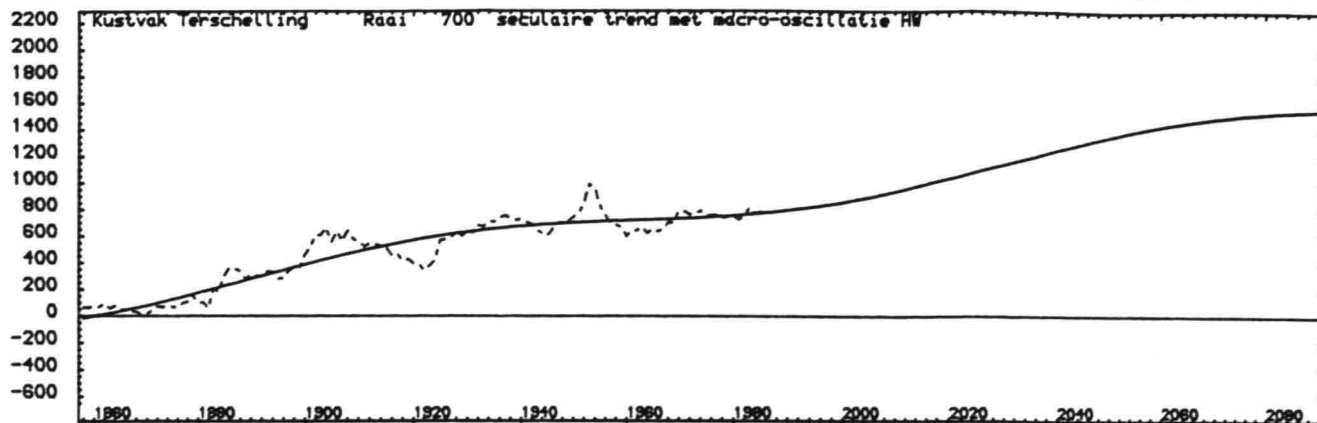
Bijlage 6b

Rijkswaterstaat-Directie Friesland afd. A N W

din A4

Reg.nr. ANW.TREND2A

LANDWAARTS <-- afstand in m uit hoofdmeetlijn --> ZEEWAARTS



85 cm

BLIKSEMGRAFIEKEN
Verloop hoogte- resp. dieptelijnen
tov NAP in de tijd

Projectcode W 8806 D

Rapport ANW-88.16

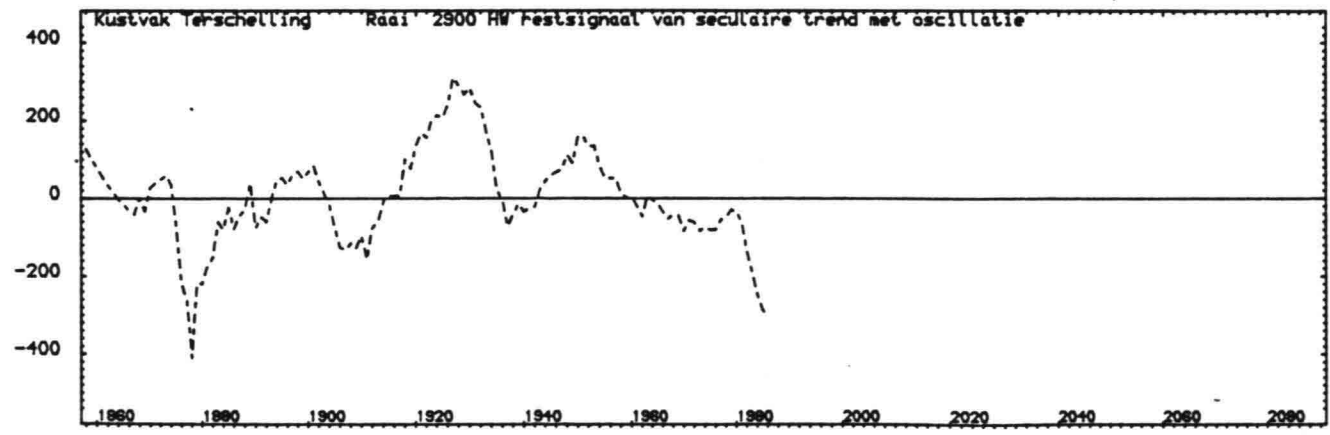
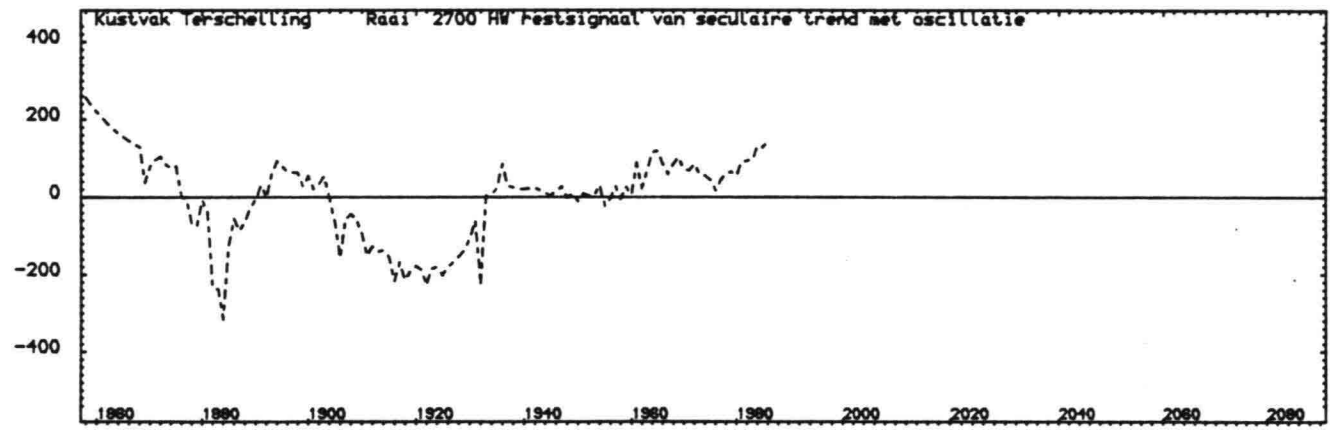
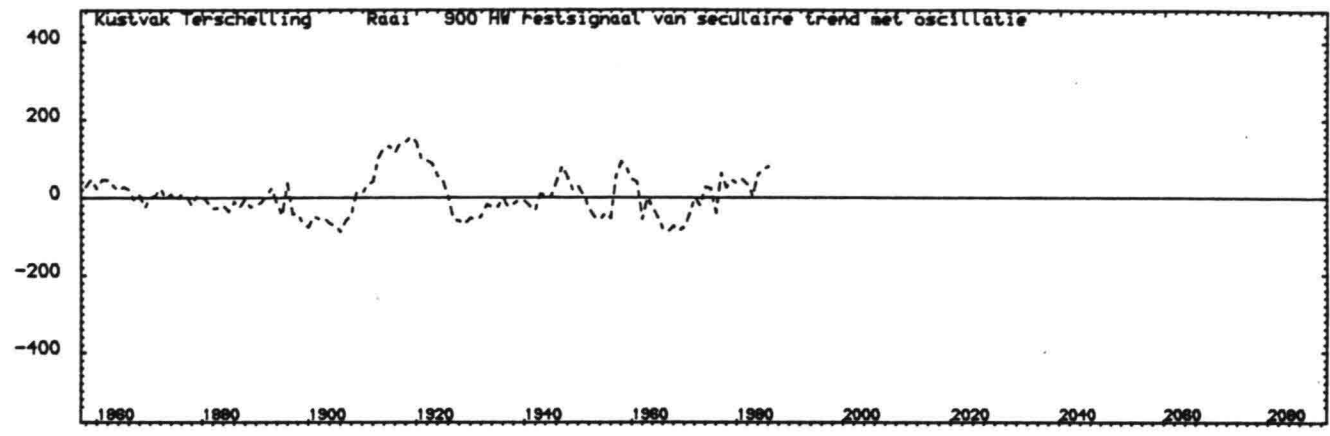
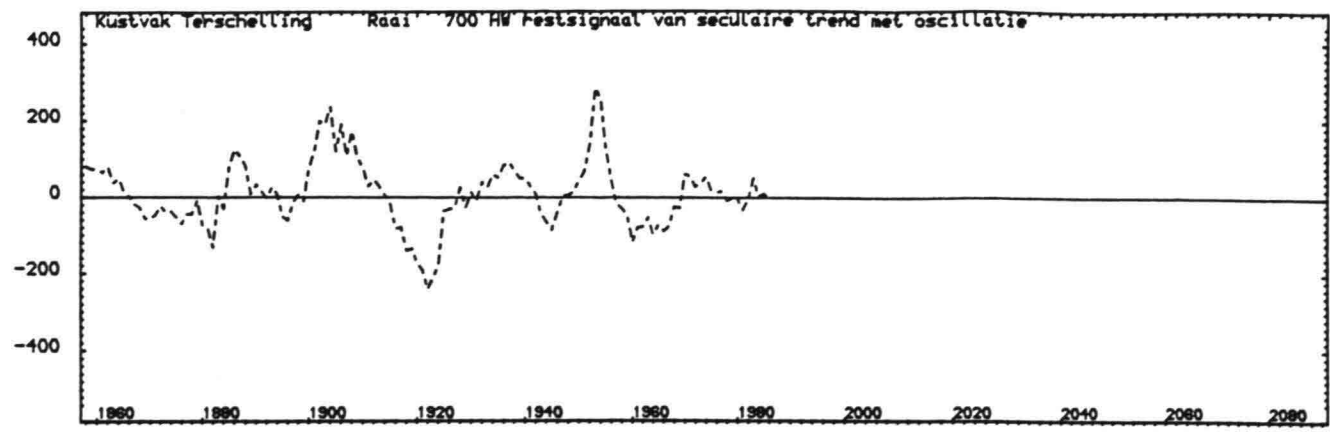
Bijlage 7

Rijkswaterstaat-Directie Friesland afd. A N W

din A4

Reg.nr. ANW.LINREG4D

---> Restsignaal van geanalyseerde tijdreeks in m



B L I K S E M G R A F I E K E N
 Verloop hoogte- resp. dieptelijnen
 tov NAP in de tijd

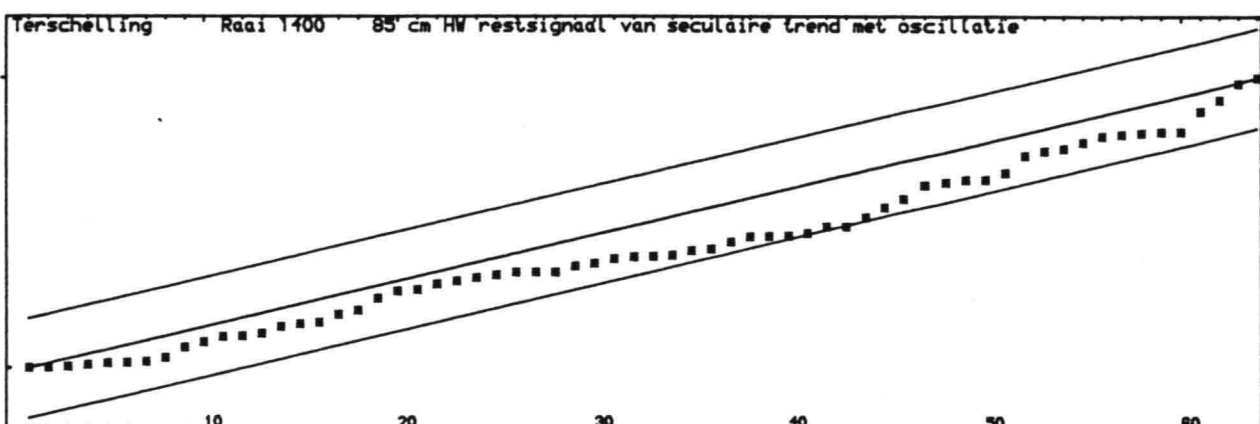
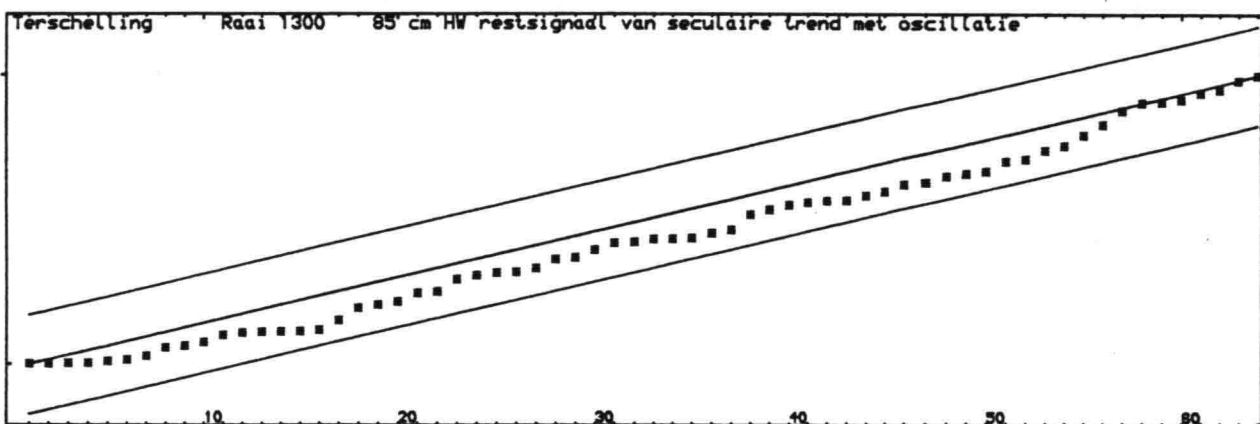
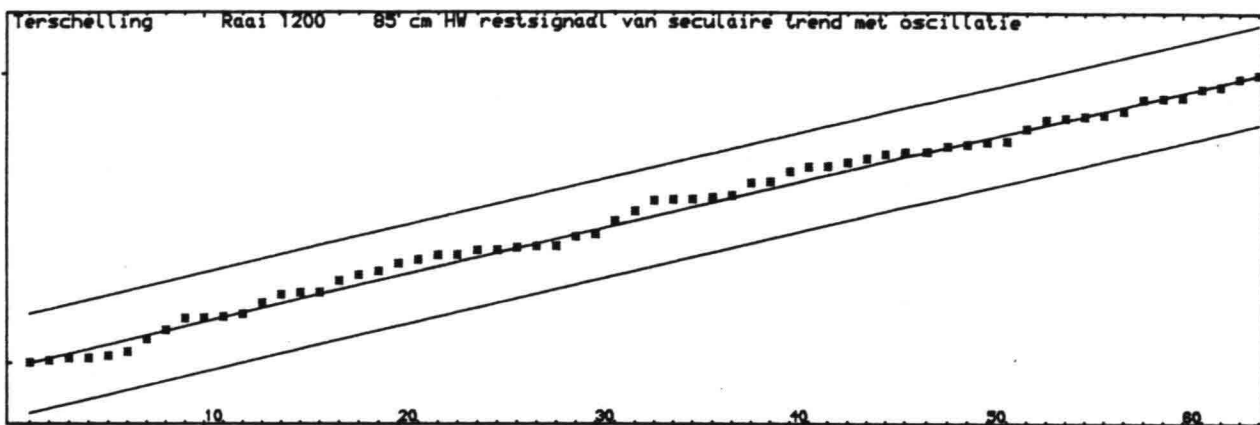
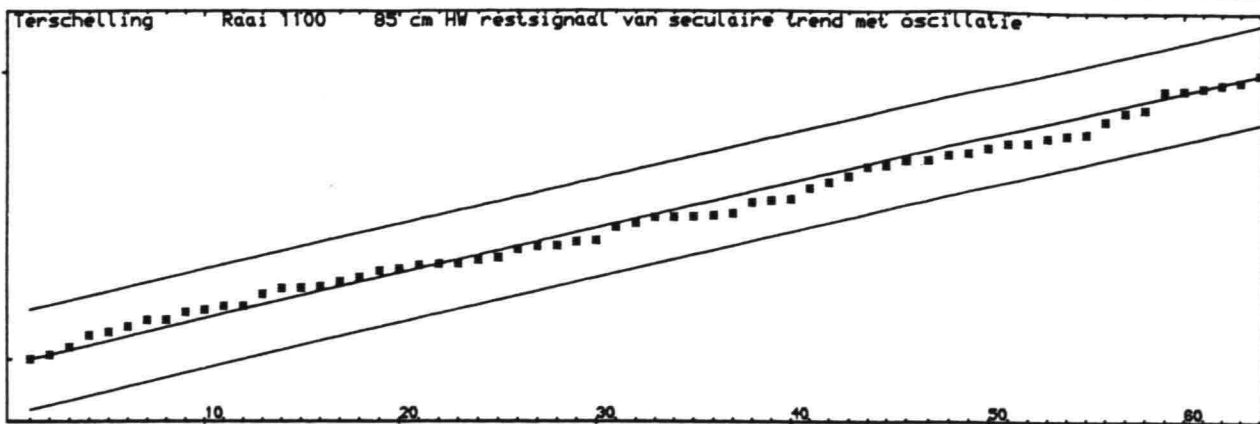
Projectcode W 8806 D

Rapport ANW-88.16 Bijlage 8

Rijkswaterstaat-Directie Friesland afd. A N W

din A4

Reg.nr. ANW.LINREGREST



----> Cumulatief dichtheidsspectrum

CUMULATIEF DICHTHEIDSSPECTRUM
van het restsignaal van de
geanalyseerde tijdreeks

Projectcode W 8806 D

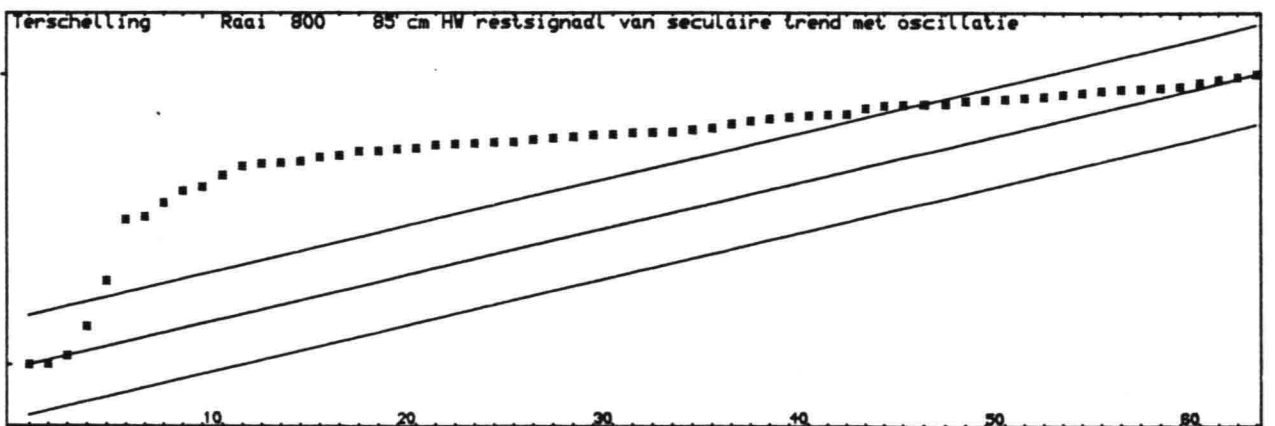
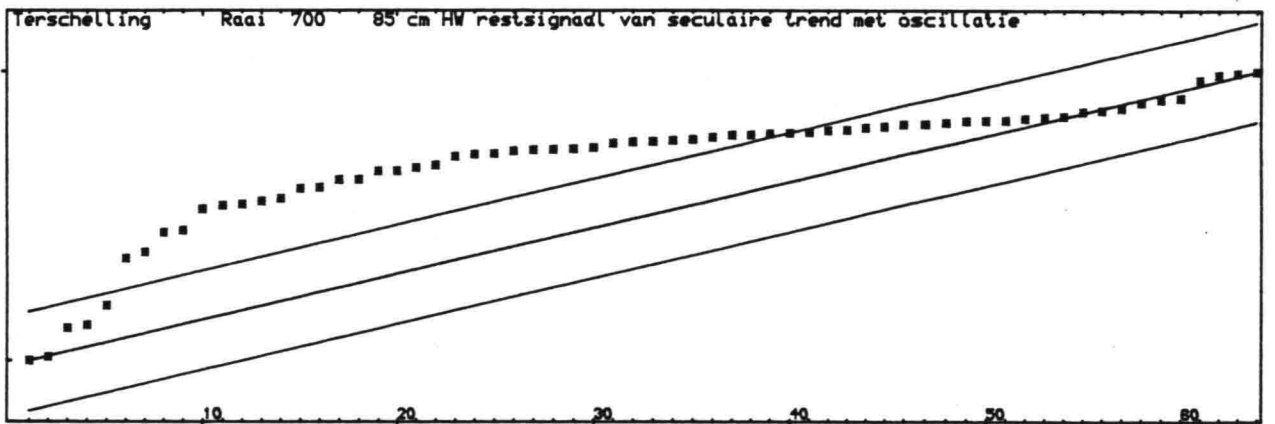
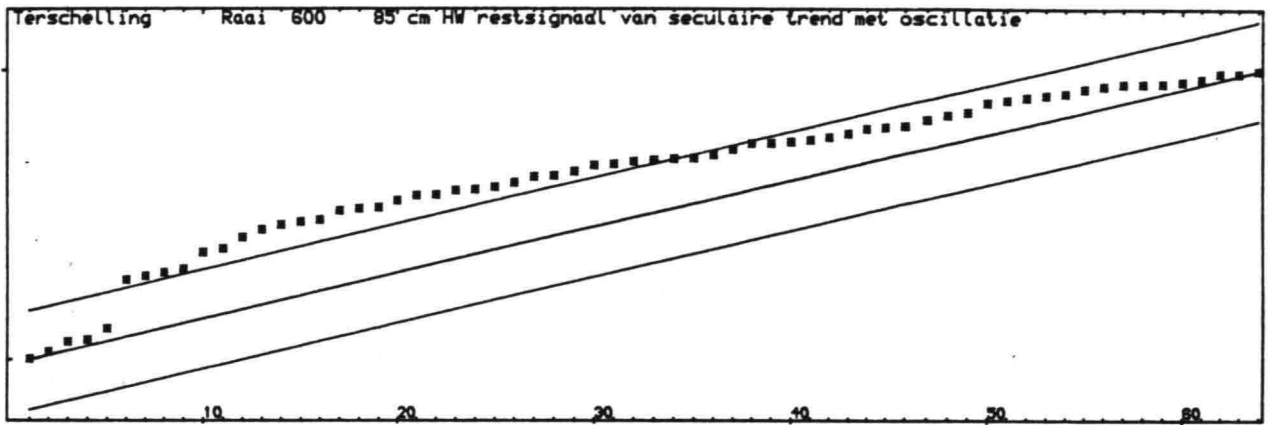
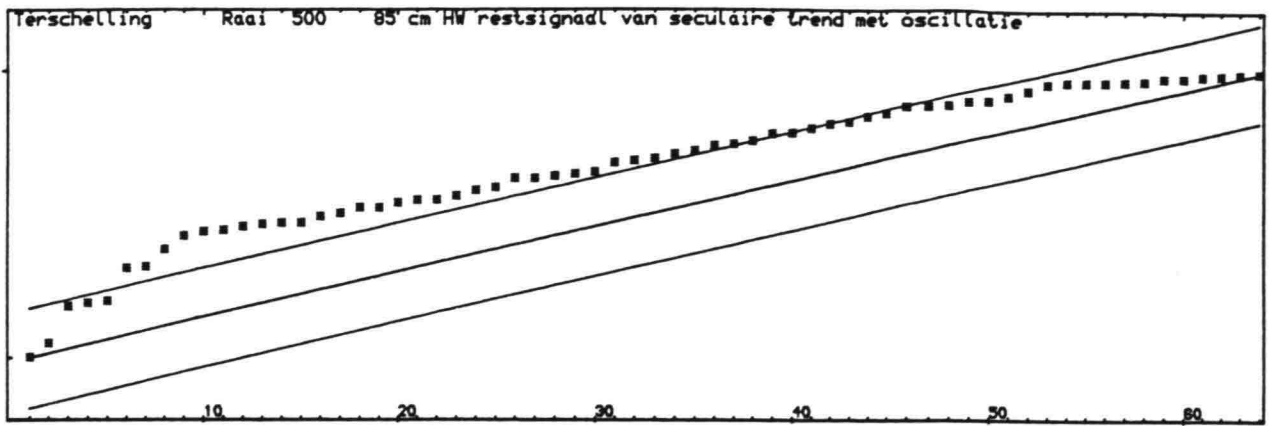
Rapport ANW-88.16

Bijlage 9 a

Rijkswaterstaat-Directie Friesland afd. A N W

din A4

Reg.nr. ANW.SPECTRUM1



CUMULATIEF DICHTHEIDSSPECTRUM
van het restsignaal van de
geanalyseerde tijdreeks

Projectcode W 8806 D

Rapport ANW-88.16

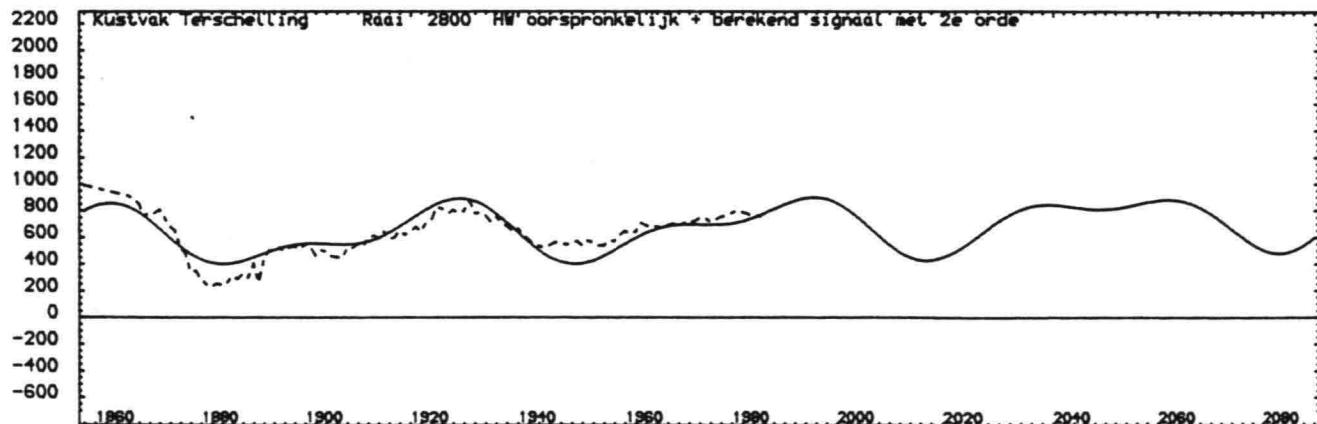
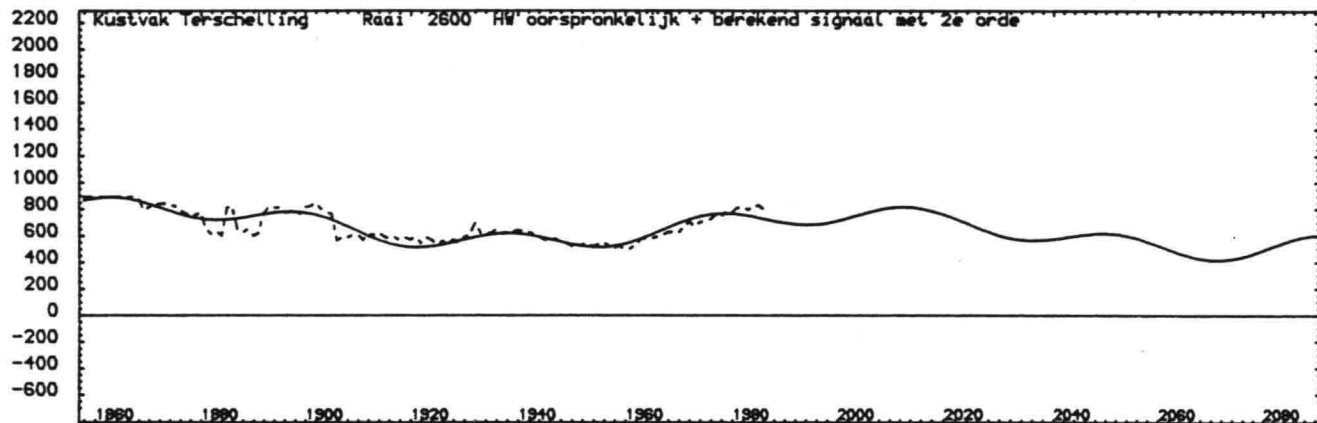
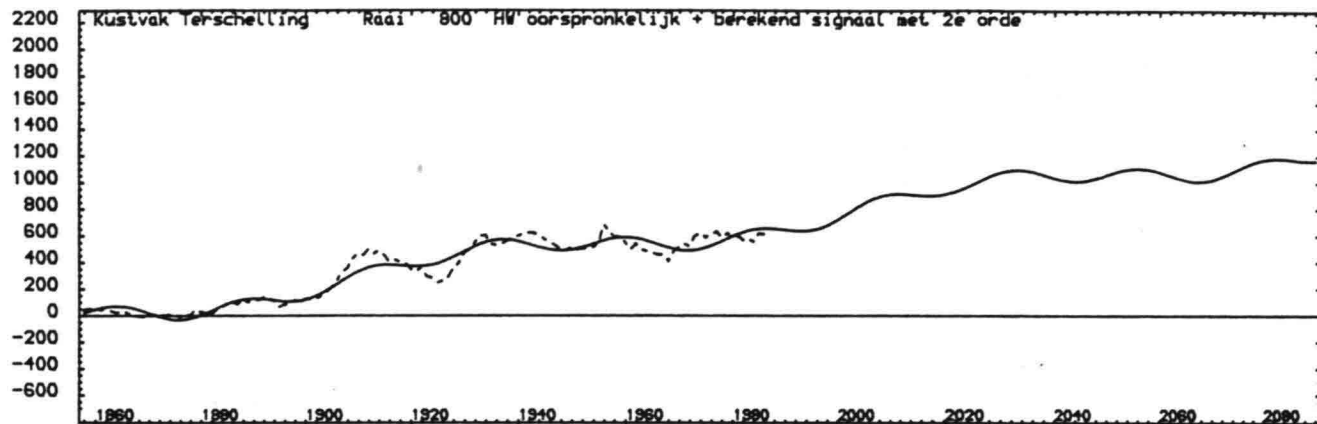
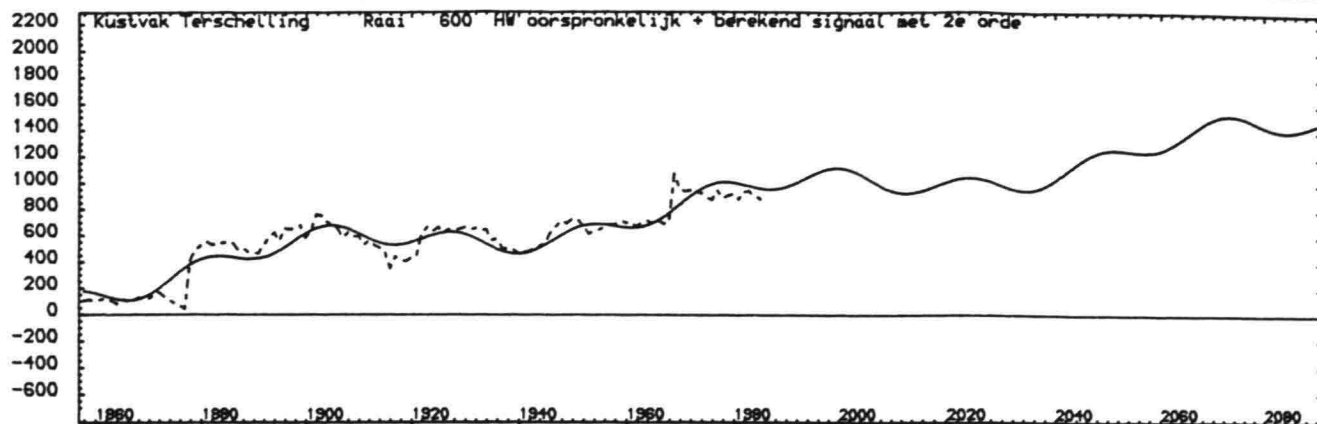
Bijlage 9b

Rijkswaterstaat-Directie Friesland afd. A N W

din A4

Reg.nr. ANW.SPECTRUM1

LANDWAARTS <-- afstand in m uit hoofdmeetlijn --> ZEEWAARTS



85 cm

EXTRAPOLATIE van een dieptelijn
met seculaire trend, macro-oscillatie
en hogere orde oscillatie

Projectcode W 8806 D

Rapport ANW-88.16

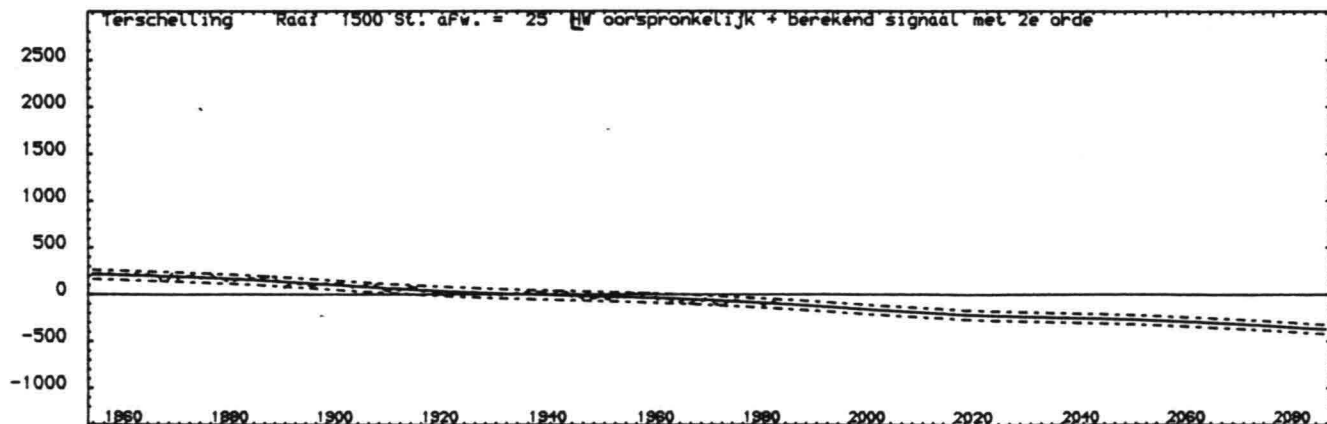
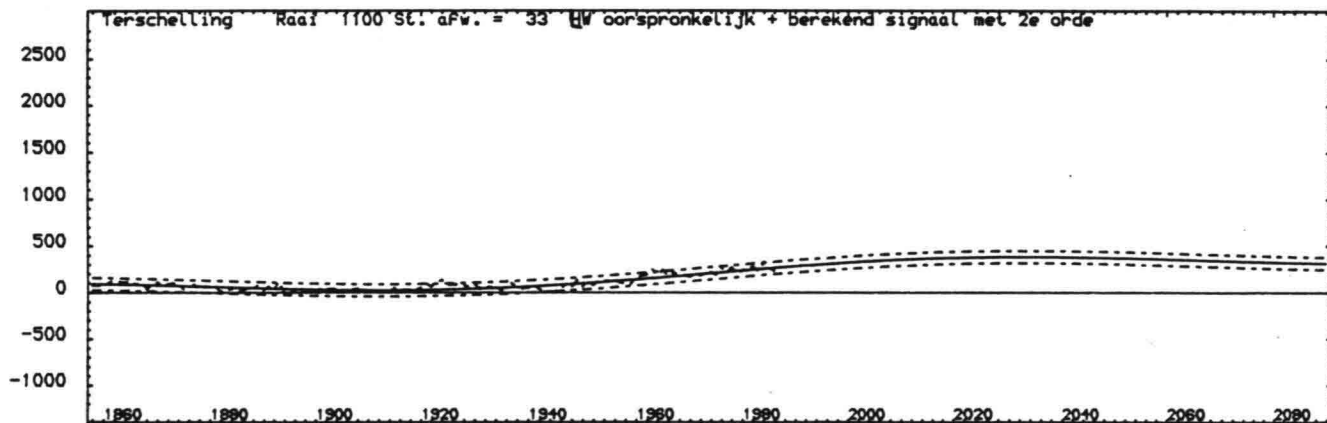
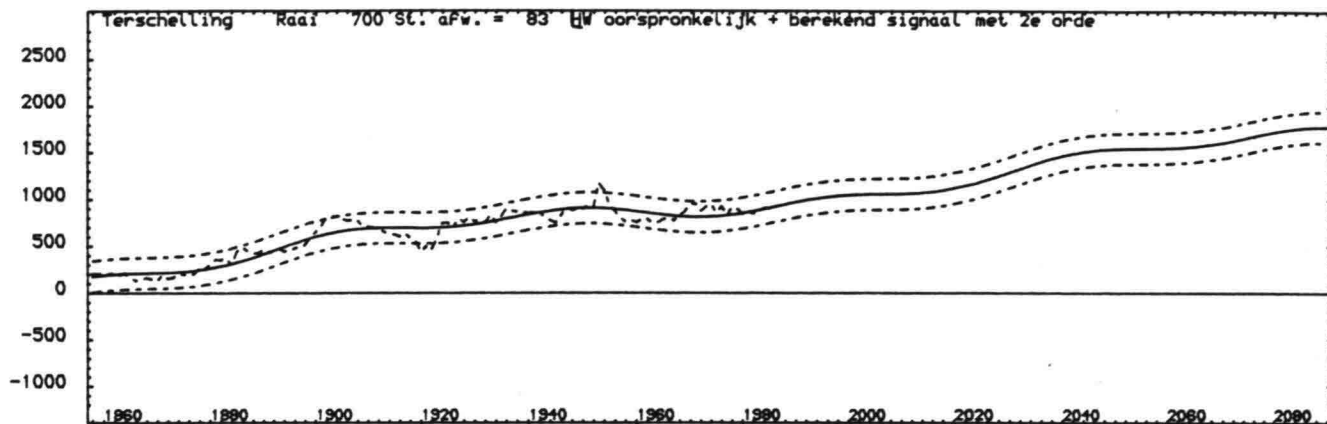
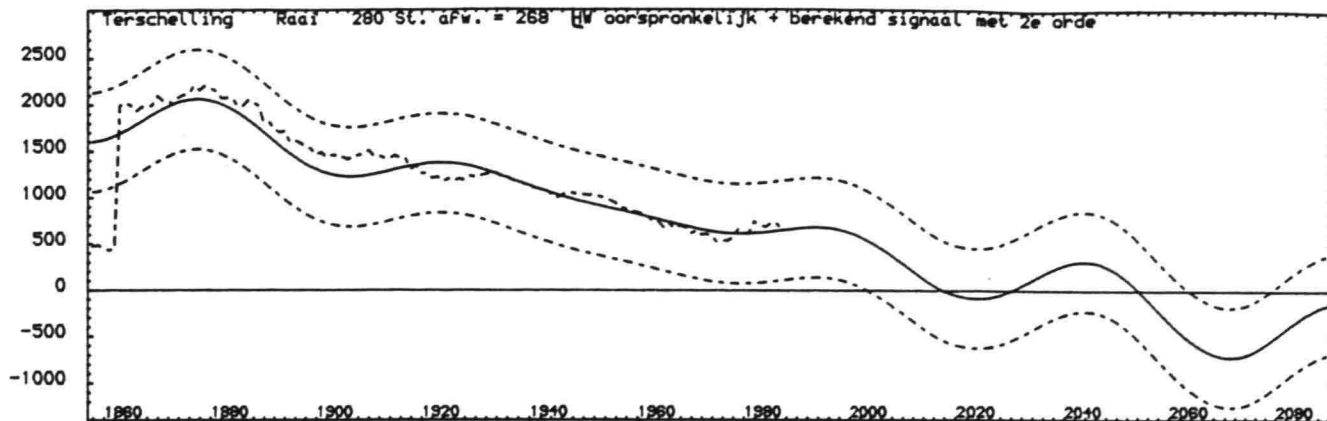
Bijlage 10

Rijkswaterstaat-Directie Friesland afd. A N W

din A4

Reg.nr. ANW.LINREG4D

LANDWAARTS <-- afstand in m uit hoofdmeetlijn met 95% betrouwbaarheidsband --> ZEEWAARTS



-105 cm LW

EXTRAPOLATIE van een dieptelijn
met macro-oscillatie en hogere
orde oscillatie

Projectcode W 8806 D

Rapport ANW-88.16

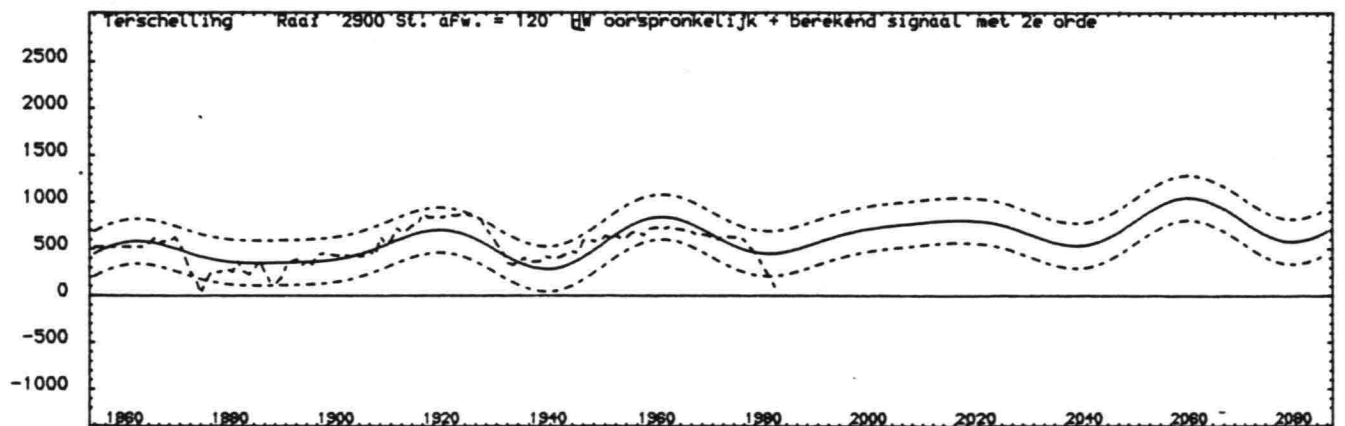
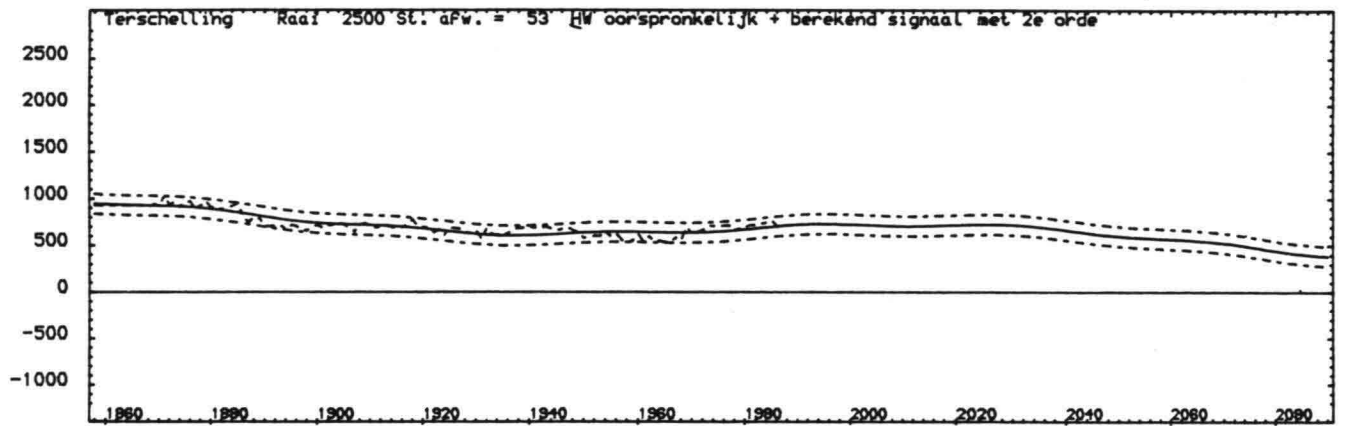
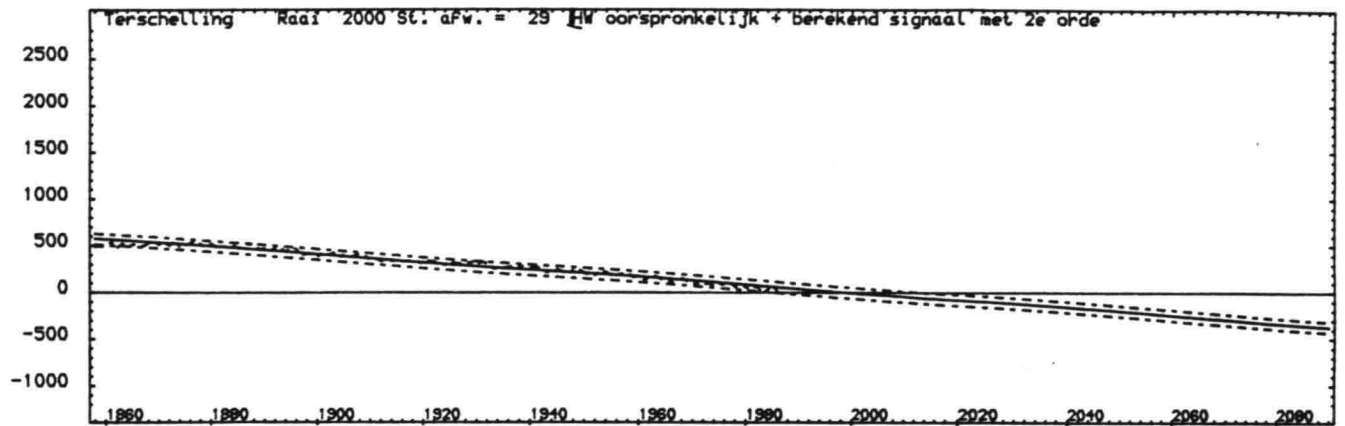
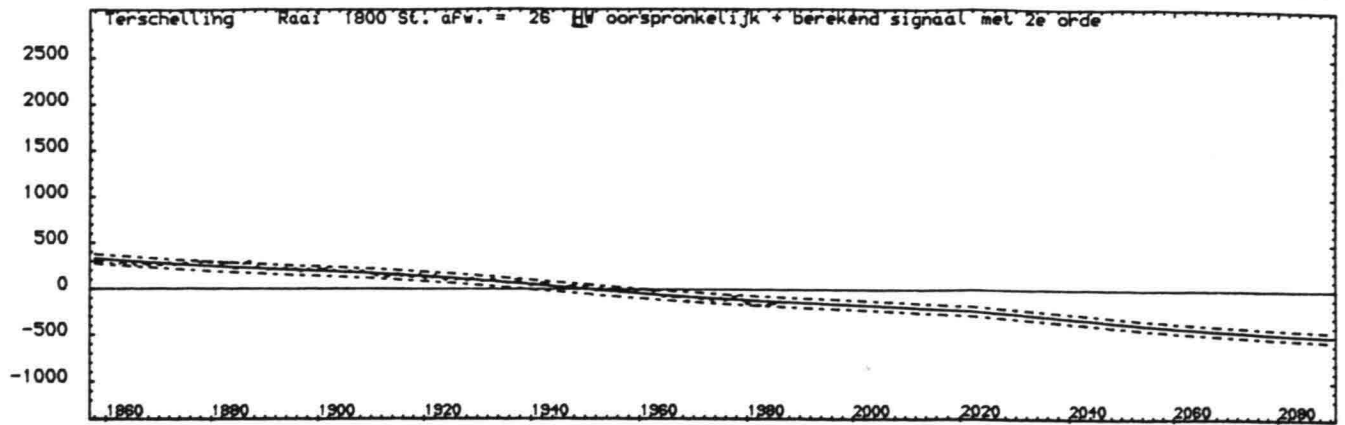
Bijlage 11^a

Rijkswaterstaat-Directie Friesland afd. A N W

din A4

Reg.nr. ANW.LINREG4E

LANDWAARTS ← afstand in m uit hoofdmeetlijn met 95% betrouwbaarheidsband → ZEEWAARTS



-105 cm LV

EXTRAPOLATIE van een dieptelijn
met macro-oscillatie en hogere
orde oscillatie

Projectcode W 8806 D

Rapport ANW-88.16

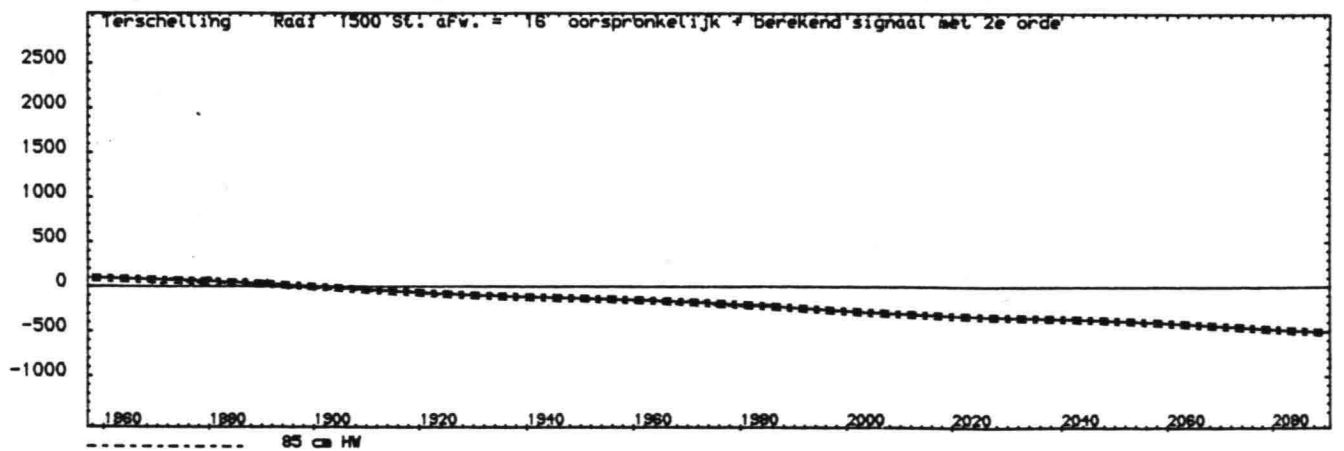
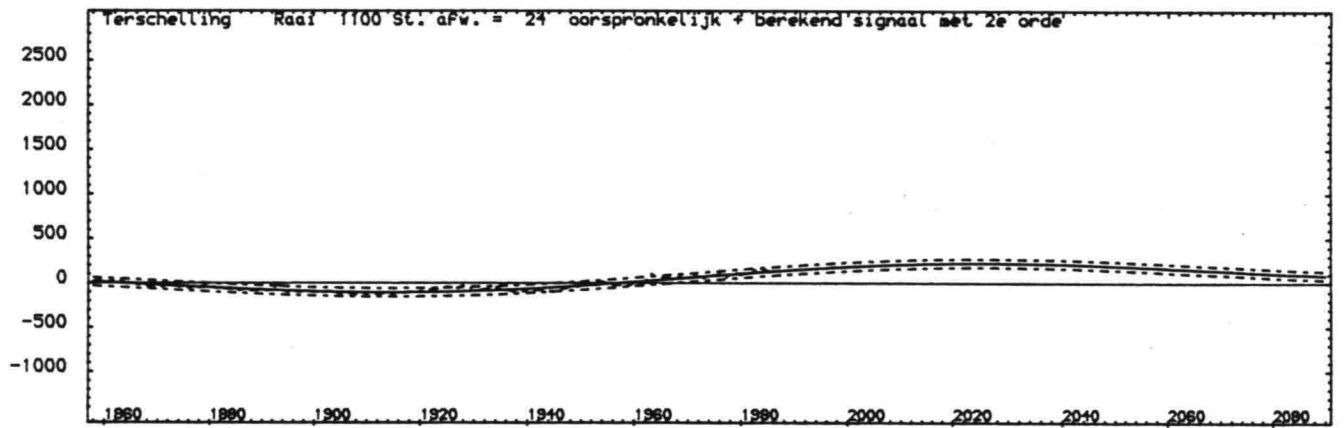
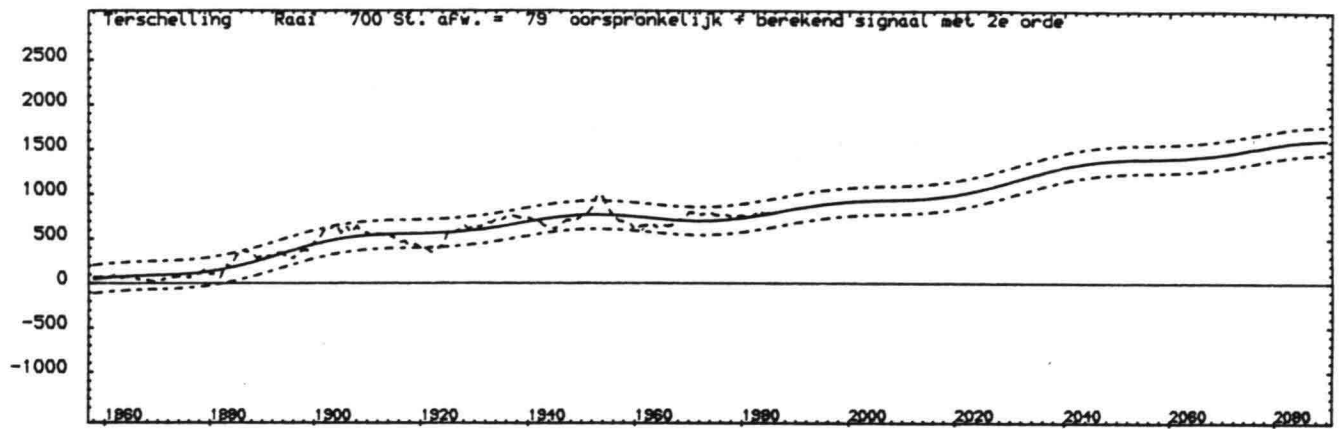
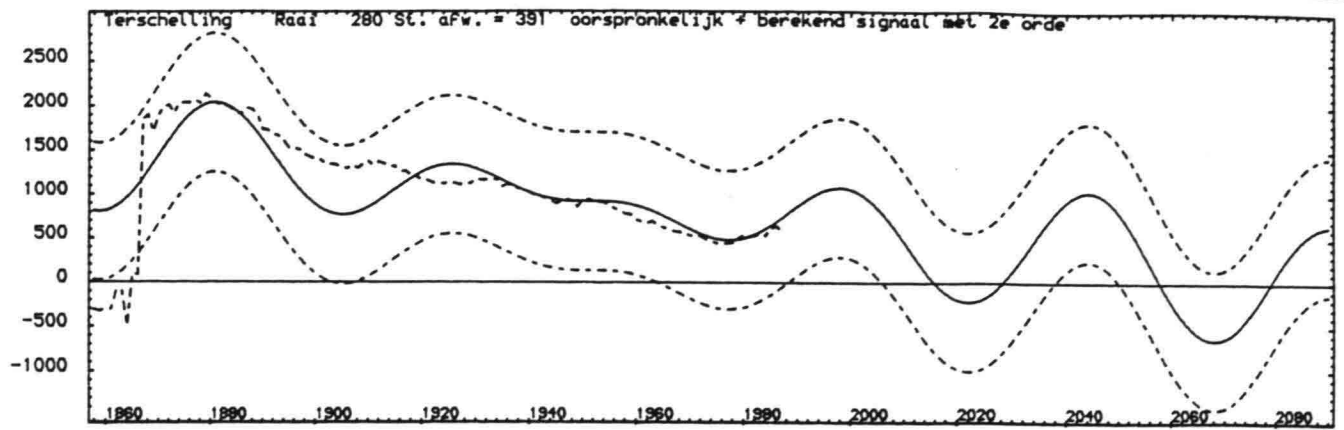
Bijlage 11^b

Rijkswaterstaat-Directie Friesland aFd. A N W

din A4

Reg.nr. ANW.LINREG4E

LANDWAARTS <--- afstand in m uit hoofdmeeteilijn met 95% betrouwbaarheidsband --> ZEEWAARTS



EXTRAPOLATIE van een dieptelijn
met macro-oscillatie en hogere
orde oscillatie

Projectcode W 8806 D

Rapport ANW-88.16

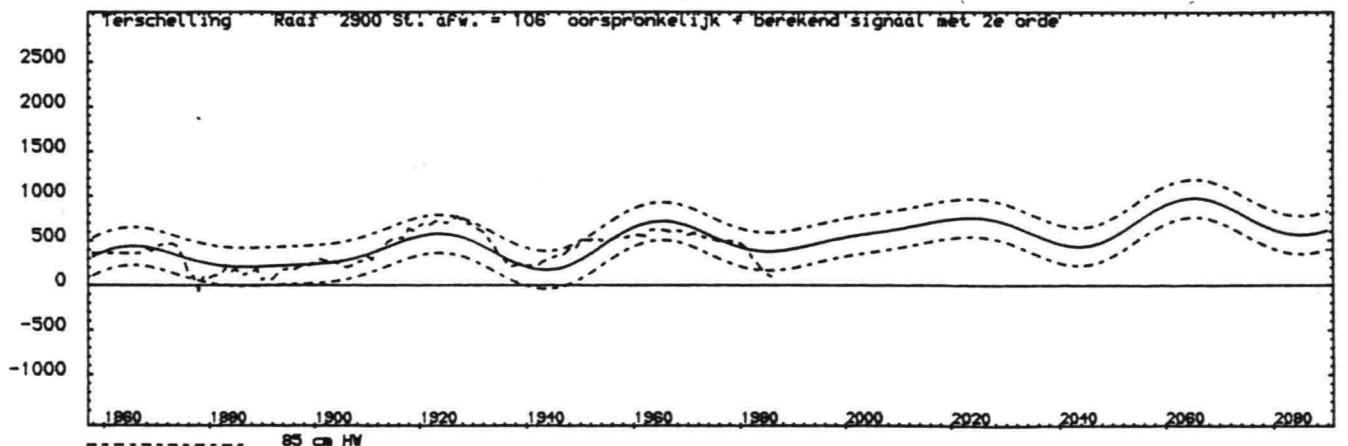
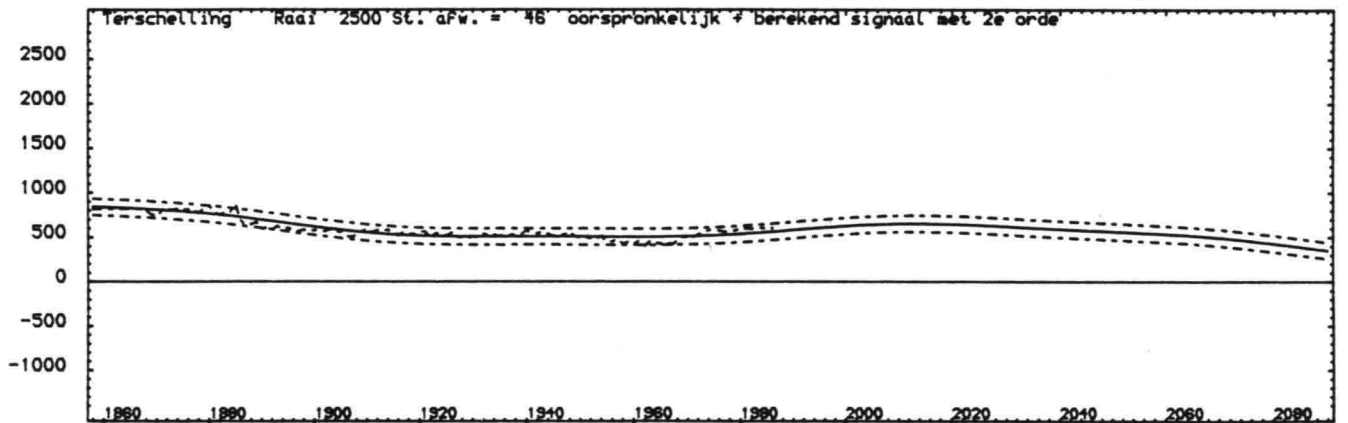
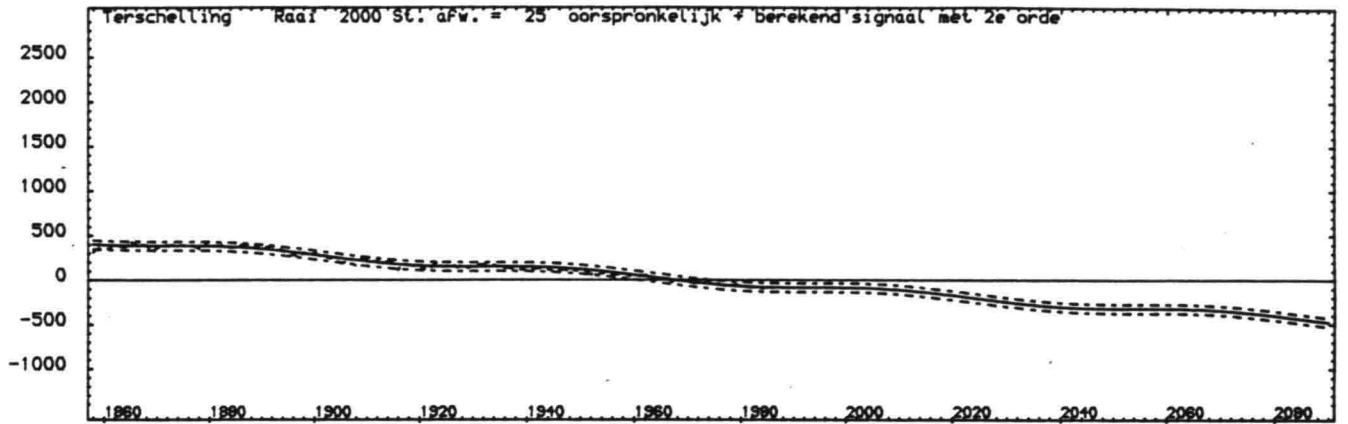
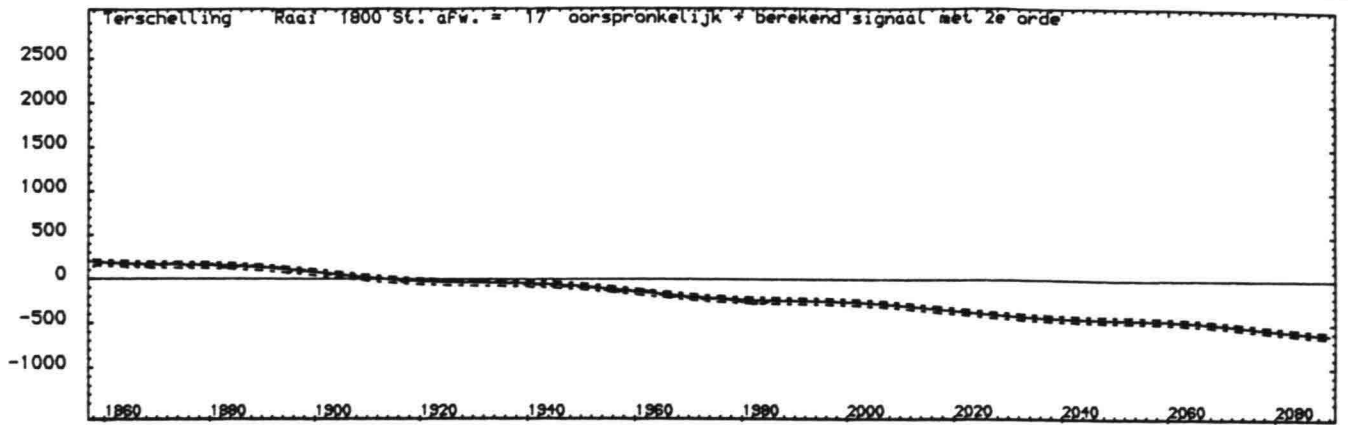
Bijlage 12^a

Rijkswaterstaat-Directie Friesland afd. A N W

din A4

Reg.nr. ANW.LINREG4E

LANDWAARTS <--- afstand in m uit hoofdmeetlijn met 95% betrouwbaarheidsband --> ZEEWAARTS



EXTRAPOLATIE van een dieptelijn
met macro-oscillatie en hogere
orde oscillatie

Projectcode W 8806 D

Rapport ANW-88.16

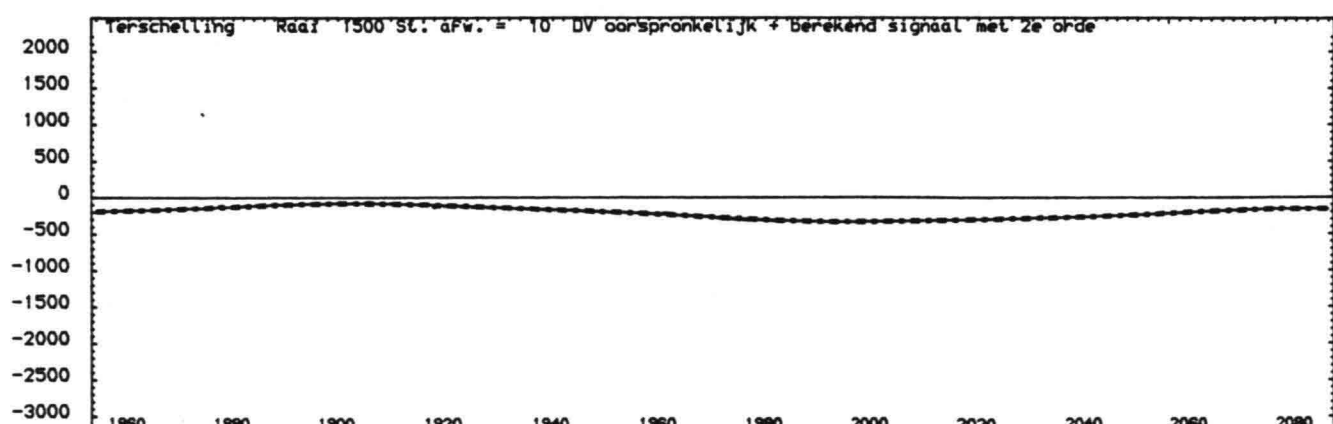
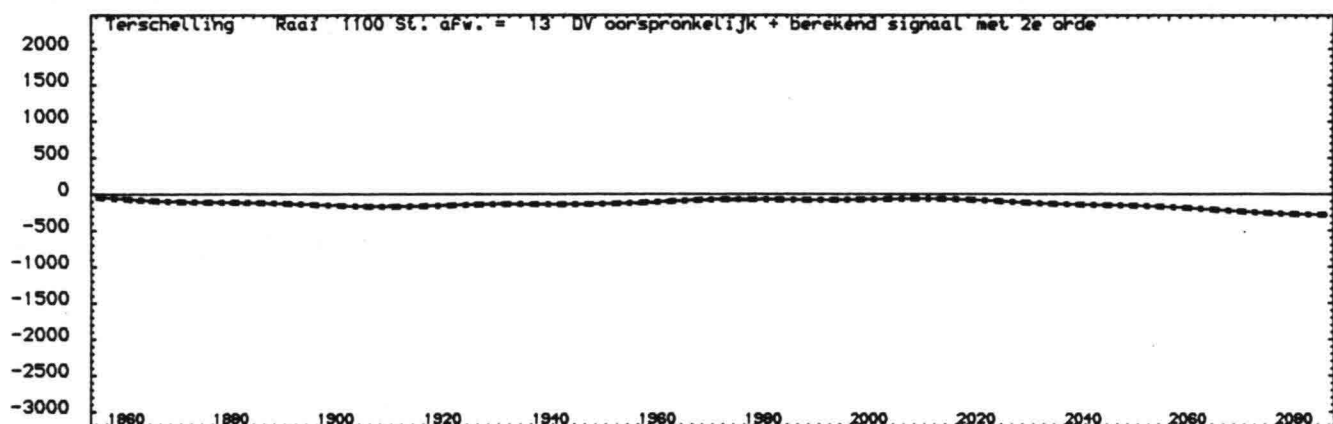
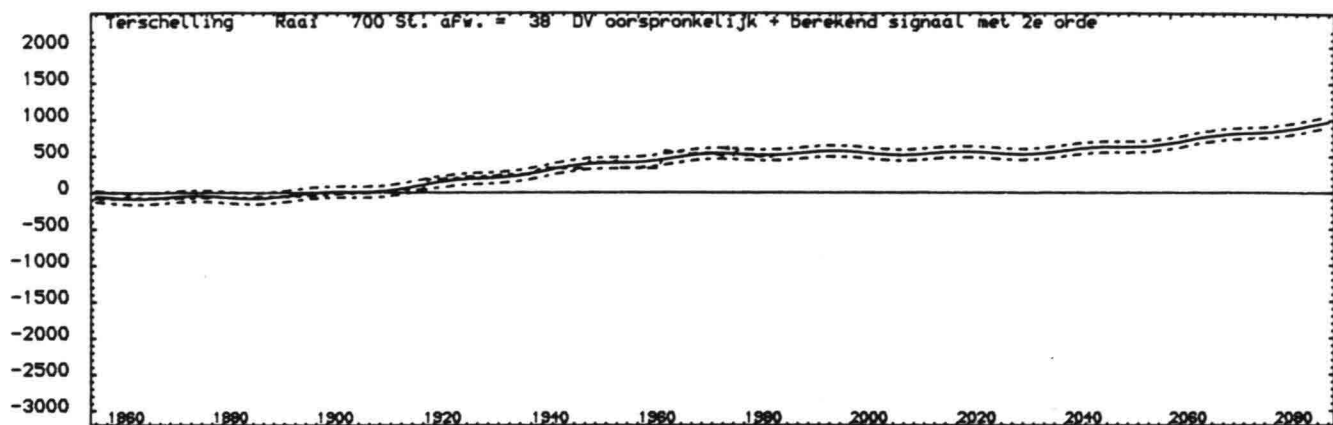
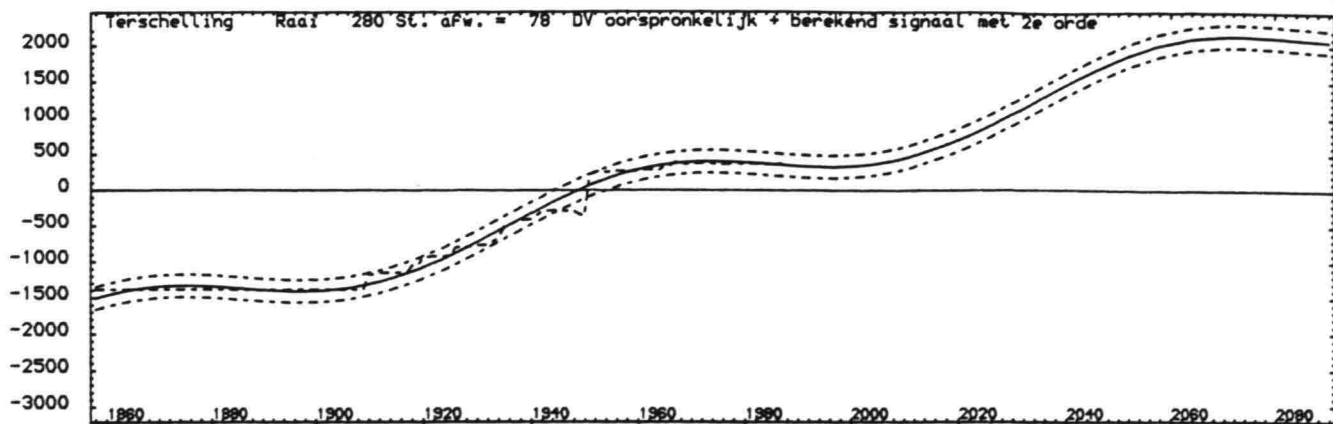
Bijlage 12^b

Rijkswaterstaat-Directie Friesland afd. A N W

din A4

Reg.nr. ANW.LINREG4E

LANDWAARTS <-- afstand in m uit hoofdmeetlijn met 95% betrouwbaarheidsband --> ZEEWAARTS



230 □ DV

EXTRAPOLATIE van een dieptelijn
met macro-oscillatie en hogere
orde oscillatie

Projectcode W 8806 D

Rapport ANW-88.16

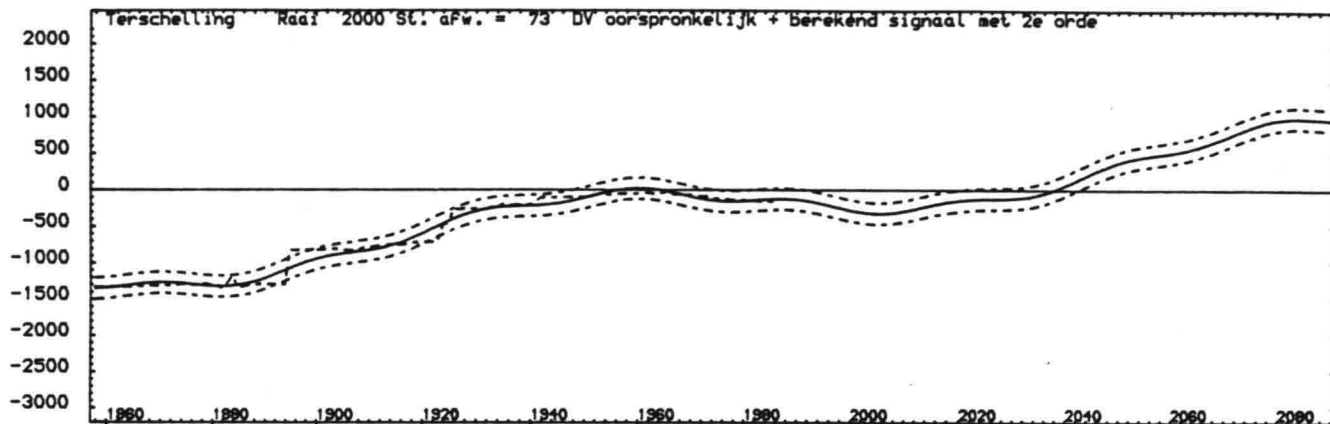
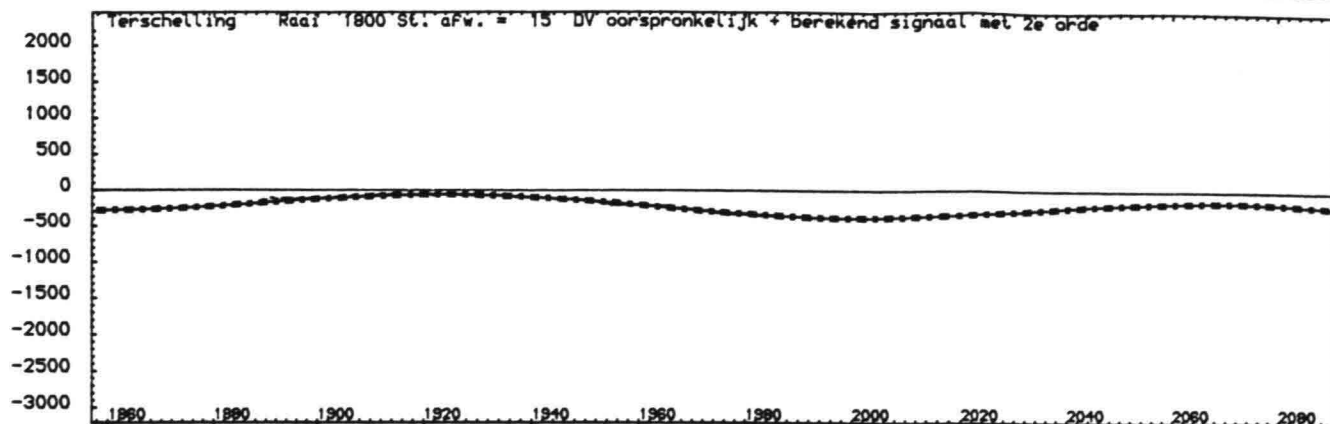
Bijlage 13^a

Rijkswaterstaat-Directie Friesland afd. A N W

din A4

Reg.nr. ANW.LINREG4E

LANDWAARTS <--- afstand in m uit hoofdmeetlijn met 95% betrouwbaarheidsband --> ZEEWAARTS



EXTRAPOLATIE van een dieptelijn
met macro-oscillatie en hogere
orde oscillatie

Projectcode W 8806 D

Rapport ANW-88.16

Bijlage 13^b

Rijkswaterstaat-Directie Friesland aF.d. A N W

din A4

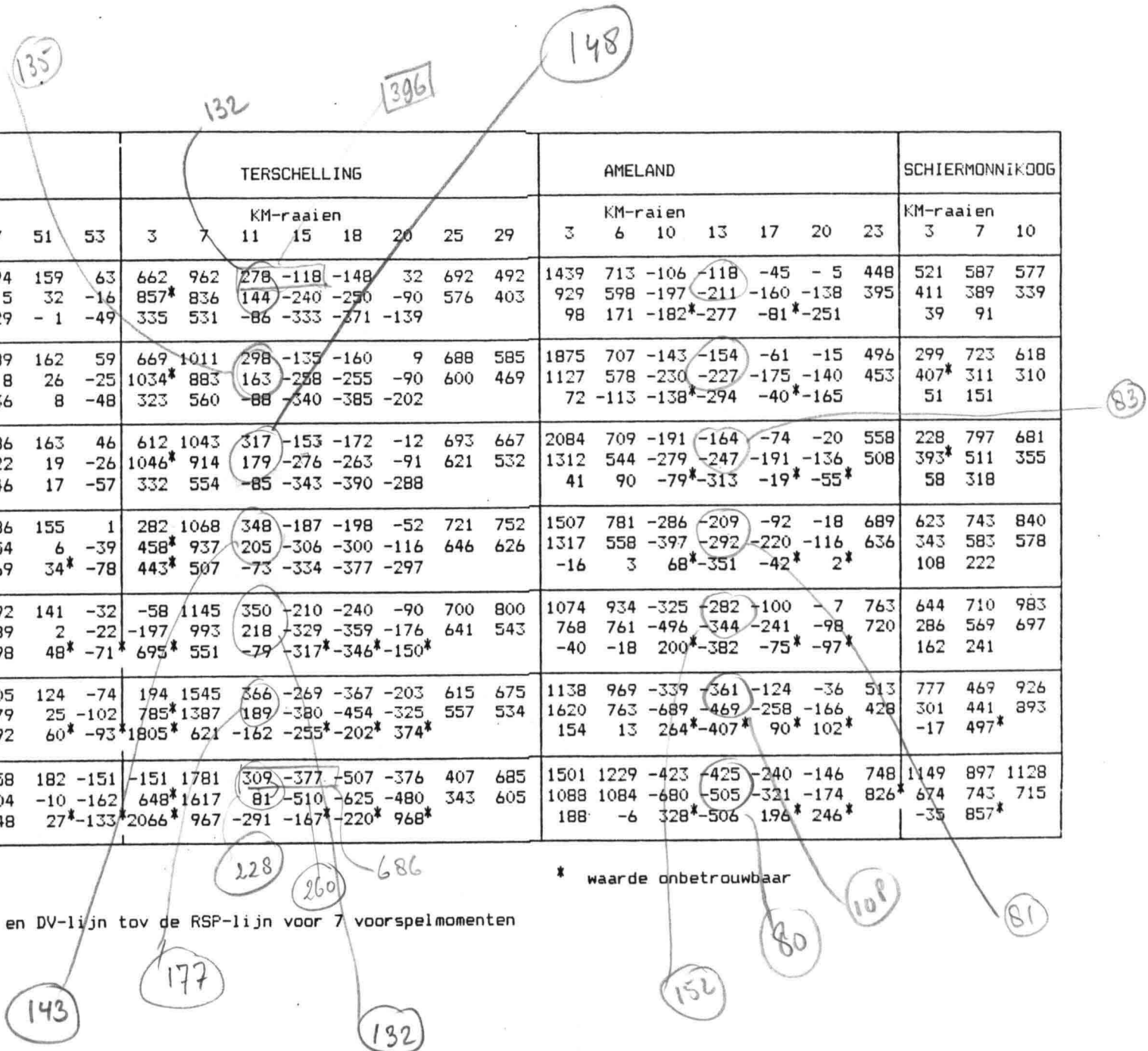
Reg.nr. ANW.LINREG4E

JAAR	lijn van:	VLIELAND					TERSCHELLING						AMELAND					SCHIERMONNIKOOG							
		38	KM-raien			53	3	7	KM-raaien			29	3	KM-raien			23	KM-raaien							
1990	LW	569	155	81	94	159	63	662	962	278	-118	-148	32	692	492	1439	713	-106	-118	-45	-5	448	521	587	577
	HW	486	105	-19	5	32	-16	857*	836	144	-240	-250	-90	576	403	929	598	-197	-211	-160	-138	395	411	389	339
	DV		-99	-62	-29	-1	-49	335	531	-86	-333	-271	-139			98	171	-182*	-277	-81*	-251		39	91	
1995	LW	562	135	80	89	162	59	669	1011	298	-135	-160	9	688	585	1875	707	-143	-154	-61	-15	496	299	723	618
	HW	498	201*	-23	-8	26	-25	1034*	883	163	-238	-255	-90	600	469	1127	578	-230	-227	-175	-140	453	407*	311	310
	DV		-83	-68	-36	8	-48	323	560	-88	-340	-385	-202			72	-113	-138*	-294	-40*	-165		51	151	
2000	LW	541	173	81	86	163	46	612	1043	317	-153	-172	-12	693	667	2084	709	-191	-164	-74	-20	558	228	797	681
	HW	496	336*	-25	-22	19	-26	1046*	914	179	-276	-263	-91	621	532	1312	544	-279	-247	-191	-136	508	393*	511	355
	DV		-95	-72	-46	17	-57	332	554	-85	-343	-390	-288			41	90	-79*	-313	-19*	-55*		58	318	
2010	LW	457	223	85	86	155	1	282	1068	348	-187	-198	-52	721	752	1507	781	-286	-209	-92	-18	689	623	743	840
	HW	452	716*	-22	-54	6	-39	458*	937	205	-306	-300	-116	646	626	1317	558	-397	-292	-220	-116	636	343	583	578
	DV		-82	-76	-69	34*	-78	443*	507	-73	-334	-377	-297			-16	3	68*	-351	-42*	2*		108	222	
2020	LW	341	206	86	92	141	-32	-58	1145	350	-210	-240	-90	700	800	1074	934	-325	-282	-100	-7	763	644	710	983
	HW	365*	1211*	-17	-89	2	-22	-197	993	218	-329	-359	-176	641	543	768	761	-496	-344	-241	-98	720	286	569	697
	DV		-65	-76	-98	48*	-71*	695*	551	-79	-317*	-346*	-150*			-40	-18	200*	-382	-75*	-97*		162	241	
2050	LW	112	339	42	105	124	-74	194	1545	366	-269	-367	-203	615	675	1138	969	-339	-361	-124	-36	513	777	469	926
	HW	84	2650*	-41	-179	25	-102	785*	1387	189	-380	-454	-325	557	534	1620	763	-689	-469	-258	-166	428	301	441	893
	DV		-46	-91	-192	60*	-93*	1805*	621	-162	-255*	-202*	374*			154	13	264*	-407*	90*	102*		-17	497*	
2090	LW	367	415	4	58	182	-151	-151	1781	309	-377	-507	-376	407	685	1501	1229	-423	-425	-240	-146	748	1149	897	1128
	HW	251	2991*	-119	-204	-10	-162	648*	1617	81	-510	-625	-480	343	605	1088	1084	-680	-505	-321	-174	826*	674	743	715
	DV		1	-163	-248	27*	-133*	2066*	967	-291	-167*	-220*	968*			188	-6	328*	-506	196*	246*		-35	857*	

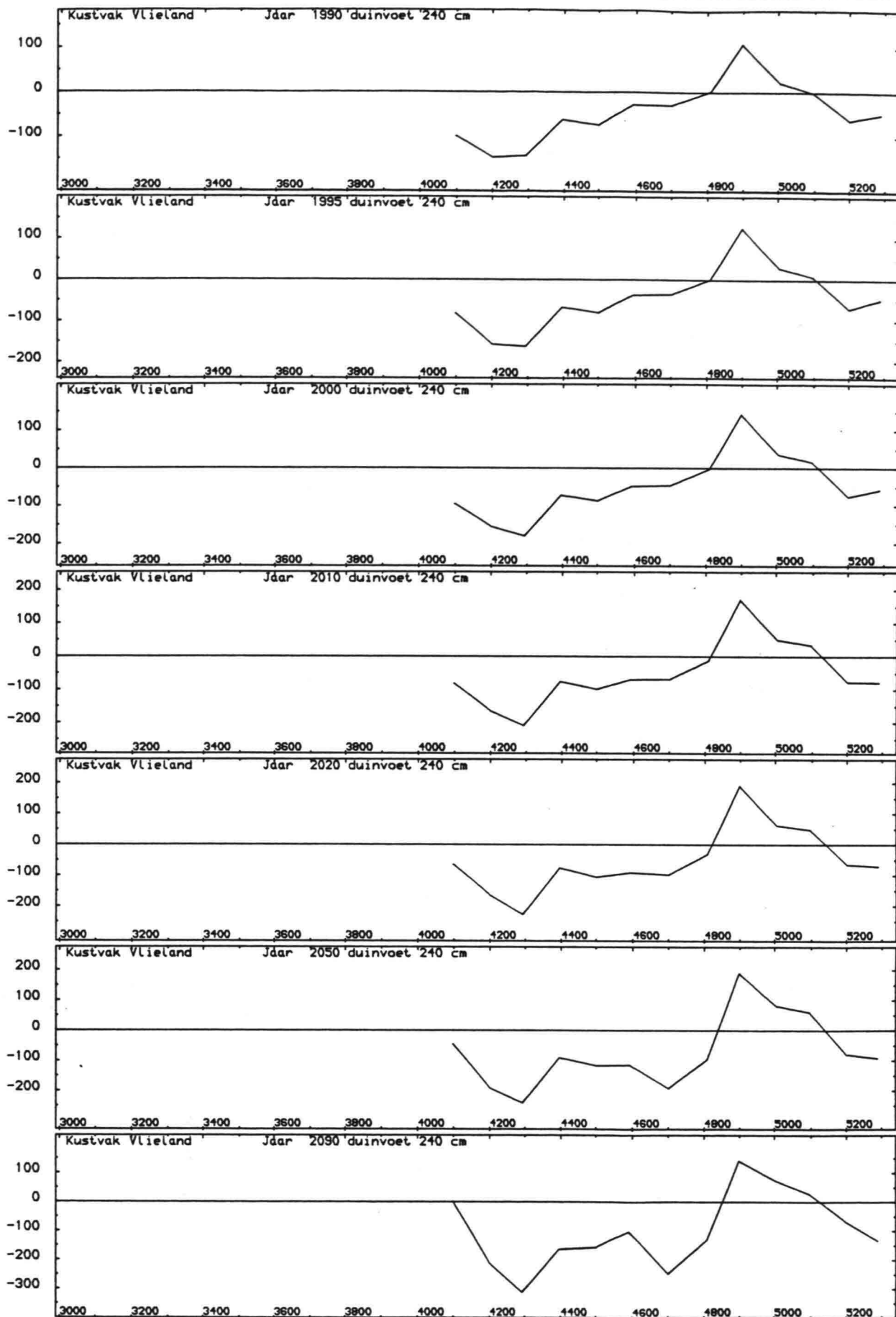
BIJLAGE 14

Voorspelde ligging van LW-,HW- en DV-lijn tov de RSP-lijn voor 7 voorspelmomenten

* waarde onbetrouwbaar



-----> Verplaatsing dieptelijnen per kustvak per jaar in m tov de HML



BLIKSEMGRAFIEKEN
 Voorspelde ligging van een dieptelijn
 1 jaar per kustvak

Projectcode W 8806 D

Rapport ANW-88.16

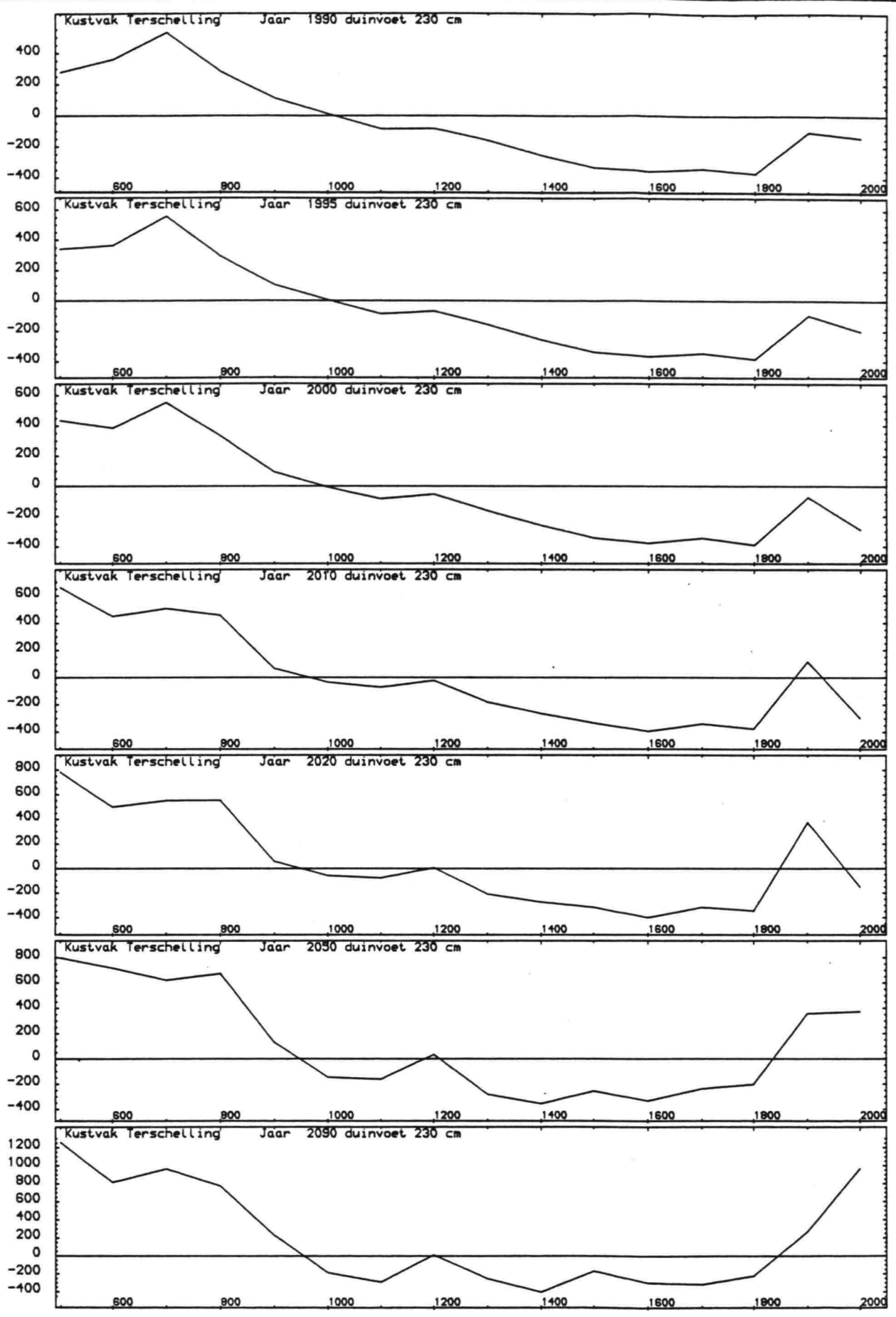
Bijlage 15^a

Rijkswaterstaat-Directie Friesland afd. A N W

din A4

Reg.nr. ANW.LINREG5A

2
 14 cm
 positie
 -----> Verplaatsing dieptelijnen per jaar in m tov de HML



B L I K S E M G R A F I E K E N
 Voorspelde ligging van een dieptelijn
 1 jaar per kustvak

Projectcode W 8806 D

Rapport ANW-88.16

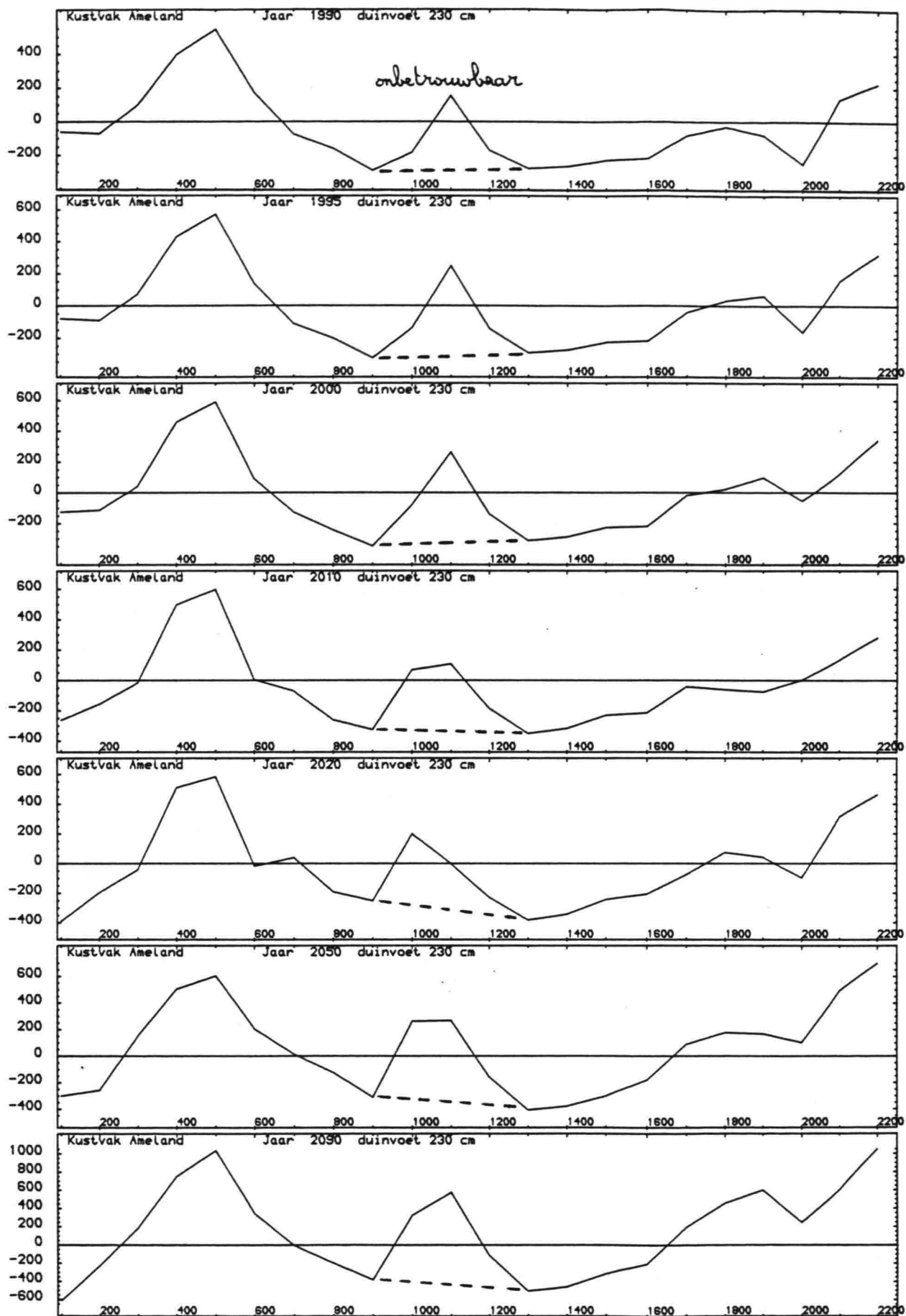
Bijlage 15^b

Rijkswaterstaat-Directie Friesland afd. A N W

din A4

Reg.nr. ANW.LINREG5A

-----> Verplaatsing dieptelijnen per kustvak per jaar in m tov de HML



BLIKSEMGRAFIEKEN
 Voorspelde ligging van een dieptelijn
 1 jaar per kustvak

Projectcode W 8806 D

Rapport ANW-88.16

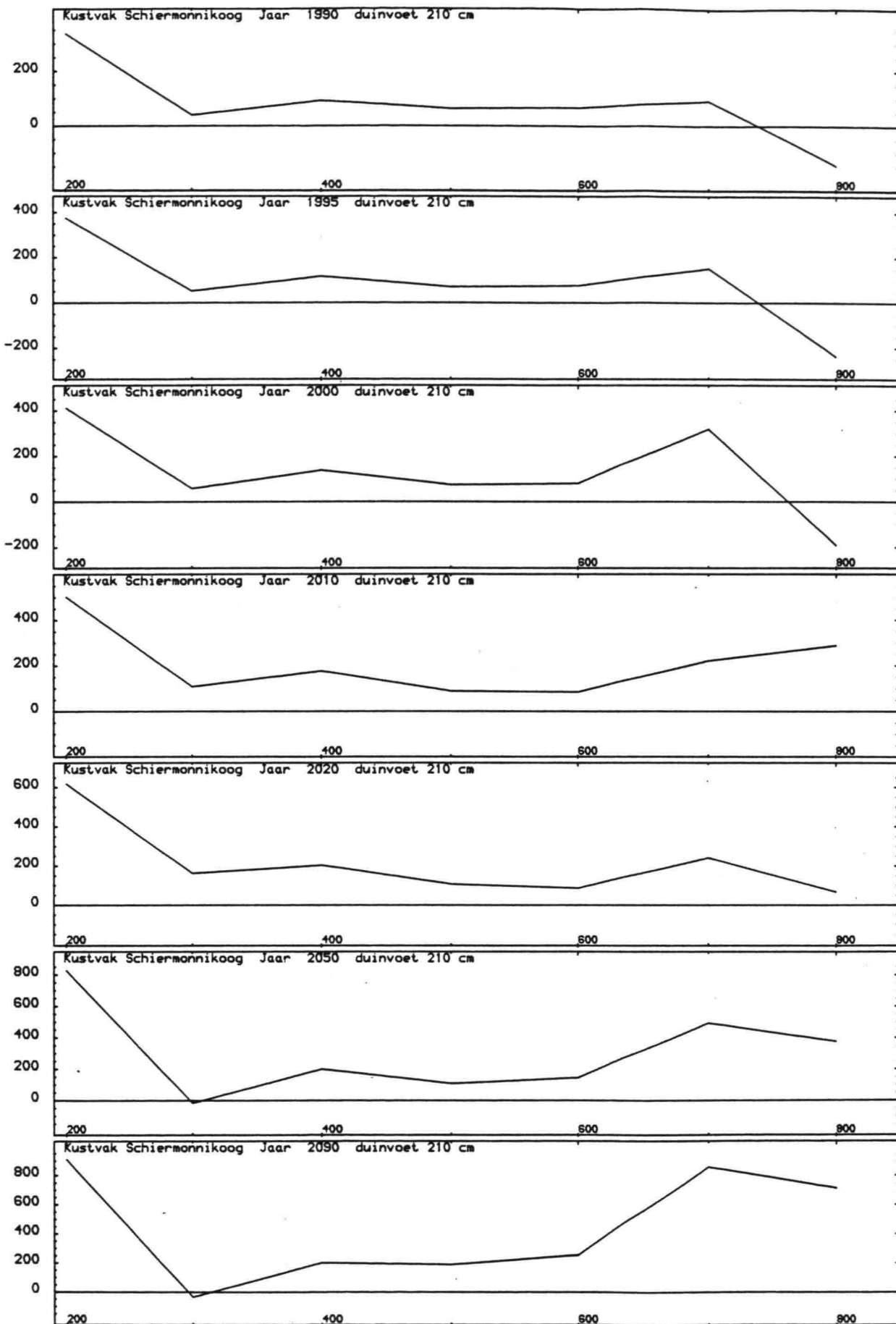
Bijlage 15^c

Rijkswaterstaat-Directie Friesland afd. A N W

din A4

Reg.nr. ANW.LINREG5A

-----> Verplaatsing dieptelijnen per kustvak per jaar in m tov de HML



BLIKSEMGRAFIEKEN
 Voorspelde ligging van een dieptelijn
 1 jaar per kustvak

Projectcode W 8806 D

Rapport ANW-88.16

Bijlage 15^d

Rijkswaterstaat-Directie Friesland afd. A N W

din A4

Reg.nr. ANW.LINREG5A

Overzicht van programma 's die ontwikkeld zijn op de afdeling ANW tbv de voorspelling ligging dieptelijn in 2090.

Programmanaam	Omschrijving	voorbeeld bijlage
AUTOVEEL	Berekenen en plotten autocorrelatie op dieptelijngegevens	
DIEP	Bepalen ligging dieptelijn tov hoofdmeetlijn	
DIEPCONTROL	Controleren welke jaar-raai combinaties voorkomen op bestand aangemaakt door DIEP	
OM	Aanpassen ligging dieptelijn ivm verschuiving raaienstelsel	
DIEPGLAD	Bepalen ligging dieptelijn tov hoofdmeetlijn mbv een " filter "	4
HERHAAL	Berekenen en plotten equivalent herhalingsgetal van Bartels	
KRUISVEEL	Berekenen en plotten kruiscorrelatie op dieptelijngegevens van raai op raai (1 raai vast)	
LINREG	Plotten bliksemgrafieken + berekenen relevante statistische gegevens	2
LINREG4	Plotten oorspronkelijk signaal of restsignaal (1 raai met jaren)	3
LINREG4A	Plotten oorspronkelijk signaal of restsignaal + gefilterd signaal	
LINREG4B	Berekenen sinus aanpassing (voor restsignaal)	
LINREG4C	Plotten oorspronkelijk signaal + berekend signaal (bv seculaire trend met oscillatie)	
LINREG4CC	LINREG4C + trendlijn	
LINREG4D	LINREG4C met vaste schaal	4+8+10
LINREG4E	LINREG4D met betrouwbaarheidsband	11+12+13
LINRESS	Plotten oorspronkelijk signaal (1 jaar met raaien)	15
LINREGREST	Plotten restsignaal met vaste schaal	
LINREGREST1	Plotten restsignaal + gefilterd restsignaal met vaste schaal	
R1890	Invoeren data volgens JARKUS format	
SPECTRUM	Berekenen en plotten ruw spectrum van oorspronkelijk signaal of restsignaal	
SPECTRUM1	Berekenen en plotten cumulatief spectrum met betrouwbaarheidsband	9a+b
TEKRA	Plotten profielen (JARKUS format)	
TREND1	Berekenen seculaire trend met oscillatie mbv een 4 dimensionaal regressie model	
TREND2A	Plotten multiple correlatiecoefficient met periode behorende bij maximale correlatie	6a+b
TREND2B	Plotten amplitude van de oscillatie	
TREND3	Berekenen ligging dieptelijn mbv periode gevonden uit TREND2A	
VERPLAATS4-8	Plotten 2 dimensionaal beeld van verschuiving dieptelijn per jaar per raai	5b

