

C-14109 712

Getijanalyse Westerschelde

Datarapport getijkomponenten
Toepassing van Principal Component Analysis

Herman Gerritsen
Henk van den Boogaard





OPDRACHTGEVER: Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

TITEL: Getijanalyse Westerschelde
Datarapport getijkomponenten. Toepassing van Principal Component Analysis.

SAMENVATTING:

Dit datarapport is het verslag van de eerste fase van het project Getijanalyse Westerschelde. Het doel van het project Getijanalyse Westerschelde is het vergroten van de kennis van de getijdoordringing in de Westerschelde in het algemeen, en een verkenning of en hoe in de studie gevonden karakteristiek gedrag van het getij in verband gebracht kan worden met veranderingen in de morfologie als gevolg van ingrepen en natuurlijke ontwikkeling.

De aard van het project is daarmee een gevoeligheidsstudie van het getijsysteem.

Uitgangspunt van de studie is het getij zoals dat nu bekend is uit metingen in de vorm van jaarsets van getijkonstanten in de zes stations Cadzand, Westkapelle, Vlissingen, Terneuzen, Hansweert en Bath voor de periode 1971 - 1997.

Op basis van grafische weergave van het tijdsverloop van de amplitudes en fases in de stations, genormeerd t.o.v. het jaar 1971, is een eerste indruk verkregen over de variabiliteit en de ruis. De eigenlijke analyse is uitgevoerd door voor twaalf relevante getijkomponenten een Principal Component Analysis toe te passen. Dit is een multivariate analysetechniek, waarbij de verbanden tussen de amplitudes en fases in de zes stations van een komponent geanalyseerd worden door de hoofdcomponenten te bepalen in de door deze grootheden opgespannen 12-dimensionale ruimte.

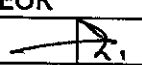
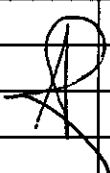

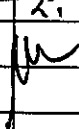
Deze methodiek ontleedt de variabiliteit naar hoofdrichtingen en geeft daarbij de variantie die door ieder van de hoofdrichtingen wordt verklaard. Via successieve reductie van de variatie in de tijd van de amplitudes en fase van een getijkomponent met de PCA wordt ensemble gedrag tussen stations geëlimineerd en wordt eventueel lokaal gedrag steeds beter zichtbaar in de presentaties.

De resultaten zijn vervolgens geïnterpreteerd in termen van in de tijd geconcentreerd afwijkend gedrag van amplitudes en fases plus trends en trendbreuken.

Gebaseerd op literatuurgegevens is een samenvatting gegeven van natuurlijke morfologische veranderingen en ingrepen in het estuarium waarbij de nadruk ligt op de samenvoeging tot grootheden die qua ruimteschaal vergelijkbaar met de beschikbare getijgegevens, en het aangeven van de periode en tijd van kenmerkende overgangen.

De conclusies en aanbevelingen betreffen de diverse aard van de variabiliteit, de getijrepresentatie in zijn algemeenheid en het gekonstateerde getijgedrag. Verder worden aanbevelingen gedaan voor de invulling van het vervolgetraject met verdere interpretatie van de resultaten en hypothesen over de correlatie morfologie - getij, die vervolgens getoetst worden door het uitvoeren van een aantal gerichte DUFLOW berekeningen.

REFERENTIES: Opdrachtbon 67982985 van 10 november 1998
Projectkader ZEESTRU*WS*5

REV.	AUTEUR	DATUM	OPMERKINGEN	REVIEW	GOEDKEURING
1.0	H.Gerritsen 	12-12-1998		Roelfzema 	Schilperoort 
	H.F.P. v d Boogaard 				

TREFWOORDEN	INHOUD	STATUS
waterstanden, getijkomponenten, Westerschelde, nietlineariteit, principal component analysis, morfologie, ingrepen	TEKST: 6+24 pagina's TABELLEN: 18 FIGUREN: 52 APPENDICES: 25 pagina's	<input type="checkbox"/> VOORLOPIG <input type="checkbox"/> CONCEPT <input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF
PROJECTNUMMER: Z2591		

Samenvatting

Dit datarapport is het verslag van de eerste fase van het project Getijanalyse Westerschelde. Het doel van het project Getijanalyse Westerschelde is het vergroten van de kennis van de getijdoordringing in de Westerschelde in het algemeen, en een verkenning of en hoe in de studie gevonden karakteristiek gedrag van het getij in verband gebracht kan worden met veranderingen in de morfologie als gevolg van ingrepen en natuurlijke ontwikkeling. De aard van het project is daarmee een gevoeligheidsstudie van het getijsysteem.

Uitgangspunt van de studie is het getij zoals dat nu bekend is uit metingen in de vorm van jaarsets van getijkonstanten in de zes stations Cadzand, Westkapelle, Vlissingen, Terneuzen, Hansweert en Bath voor de periode 1971 - 1997.

Op basis van grafische weergave van het tijdsverloop van de amplitudes en fases in de stations, genormeerd t.o.v. het jaar 1971, is een eerste indruk verkregen over de variabiliteit en de ruis. De eigenlijke analyse is uitgevoerd door voor twaalf relevante getijkomponenten een Principal Component Analysis toe te passen. Dit is een multivariate analysetechniek, waarbij de verbanden tussen de amplitudes en fases in de zes stations van een komponent geanalyseerd worden door de hoofdcomponenten te bepalen in de door deze grootheden opgespannen 12-dimensionale ruimte. Deze methodiek ontleedt de variabiliteit naar hoofdrichtingen en geeft daarbij de variantie die door ieder van de hoofdrichtingen wordt verklaard. Via successieve reductie van de variatie in de tijd van de amplitudes en fase van een getijkomponent met de PCA wordt ensemble gedrag tussen stations geëlimineerd en wordt eventueel lokaal gedrag steeds beter zichtbaar in de presentaties.

De resultaten zijn vervolgens geïnterpreteerd in termen van in de tijd geconcentreerd afwijkend gedrag van amplitudes en fases plus trends en trendbreuken.

Gebaseerd op literatuurgegevens is een samenvatting gegeven van natuurlijke morfologische veranderingen en ingrepen in het estuarium waarbij de nadruk ligt op de samenvoeging tot grootheden die qua ruimteschaal vergelijkbaar met de beschikbare getijgegevens, en het aangeven van de periode en tijd van kenmerkende overgangen.

De konklusies en aanbevelingen betreffen de diverse aard van de variabiliteit, de getijrepresentatie in zijn algemeenheid en het gekonstateerde getijgedrag. Verder worden aanbevelingen gedaan voor de invulling van het vervolgtraject met verdere interpretatie van de resultaten en hypotheses over de correlatie morfologie - getij, die vervolgens getoetst worden door het uitvoeren van een aantal gerichte DUFLOW berekeningen.

Inhoudsopgave

Samenvatting

Lijst van Figuren

Lijst van Tabellen

1	Inleiding	1-1
1.1	Opdracht.....	1-1
1.2	Uitvoering/Aanpak.....	1-1
1.2.1	Beschrijving van het getij in termen van het totaalsignaal.....	1-1
1.2.2	Getijbeschrijving in termen van de afzonderlijke getijkomponenten.....	1-2
1.2.3	Het belang van de verschillende getijkomponenten	1-3
1.2.4	Keuze voor analyse van 13 getijkomponenten	1-4
1.3	Indeling van het rapport.....	1-4
2	Getijvoortplanting in de Westerschelde op basis van getijkomponenten.....	2-1
2.1	Getijgedrag als functie van x en k	2-1
2.2	Het gedrag in de k -ruimte	2-2
2.3	Het gedrag in de tijd (t -ruimte); 1971-1997.....	2-3
3	Resultaten van de Principal Component Analysis (PCA).....	3-1
3.1	Toelichting op de presentatievorm.....	3-1
3.2	Samenvatting van de observaties	3-2
3.2.1	Algemene trends in amplitudes.....	3-2
3.2.2	Algemene trends in fases	3-3
3.2.3	Verklaring door de eerste PCA hoofdkomponent	3-3
3.2.4	Extremen, trends en trendbreuken	3-4
3.3	Veranderingen in termen van verandering van het totaalsignaal	3-5
4	Ingrepen en morfologische veranderingen	4-1
4.1	Lodingsvakken en getijtrajecten	4-1
4.2	Veranderingen en netto balansen per lodingsvak.....	4-2

4.3	Verdere veranderingen en ingrepen	4-4
4.4	Tijdschaal van instelling van een nieuw evenwicht.....	4-4
5	Aspecten van correlatie van veranderingen in morfologie en getij.....	5-1
5.1	Basismechanismes	5-1
5.2	De situatie van de Westerschelde	5-1
5.3	Mogelijkheid om relaties te poneren voor het gedrag van de getijkomponenten en veranderingen in het estuarium	5-2
6	Conclusies en aanbevelingen; vervolgfase	6-1
6.1	Conclusies en aanbevelingen m.b.t. de getijrepresentatie en getijanalyse	6-1
6.2	Conclusies en aanbevelingen met betrekking tot de vervolgfase.	6-2
7	Referenties	7-1

Appendices

A Introduction to PCA

B Observaties PCA Westerschelde

B.0.1	Leeswijzer voor de interpretatie	B-1
B.0.2	Observaties per getijkomponent; 6 stations, 1971-1997.....	B-3
B.0.2.1	M ₂	B-3
B.0.2.2	S ₂	B-5
B.0.2.3	N ₂	B-6
B.0.2.4	M ₄	B-8
B.0.2.5	MS ₄	B-9
B.0.2.6	MN ₄	B-10
B.0.2.7	M ₆	B-12
B.0.2.8	2MS ₆	B-13
B.0.2.9	2MN ₆	B-14
B.0.2.10	2SM ₂	B-15
B.0.2.11	MU2 (μ ₂).....	B-17
B.0.2.12	2MN ₂	B-18

Lijst van Figuren

Figuur 2.1	Ruimtelijk amplitudegedrag van de 13 getijkomponenten in 1997
Figuur 2.2	Ruimtelijk fasegedrag van de 13 getijkomponenten in 1997
Figuur 2.3	Amplitudegedrag van de 13 getijkomponenten in 1997, relatief t.o.v. Vlissingen
Figuur 2.4	Fasegedrag van de 13 getijkomponenten in 1997, relatief t.o.v. Vlissingen
Figuur 2.5a-f	Tijdsverloop van de amplitude en fase van 1971 tot 1997, relatief t.o.v. het jaar 1971 voor de eerste negen getijkomponenten en de stations Cadzand, Westkapelle, Vlissingen, Terneuzen, Hansweert en Bath
Figuur 2.6a-f	Als Figuur 1a-f, doch voor de resterende getijkomponenten: NLK_2 , μ_2 , $2MN_2$, $2SM_2$
Figuur B.1b: (M_2)	Verloop in de tijd van de eerste zes componenten uit de PCA, met de door hen verklaarde variantie
Figuur B.1c: (M_2)	Tijdsvariatie van de amplitude per station; idem na reductie met PC-1
Figuur B.1d: (M_2)	Tijdsvariatie van de fase per station; idem na reductie met PC-1
Figuur B.2b-d	Als Figuur B.1b-d, maar voor getijkomponent S_2
Figuur B.3b-d	Als Figuur B.1b-d, maar voor getijkomponent N_2
Figuur B.4b-d	Als Figuur B.1b-d, maar voor getijkomponent M_4
Figuur B.5b-d	Als Figuur B.1b-d, maar voor getijkomponent MS_4
Figuur B.6b-d	Als Figuur B.1b-d, maar voor getijkomponent MN_4
Figuur B.7b-d	Als Figuur B.1b-d, maar voor getijkomponent M_6
Figuur B.8b-d	Als Figuur B.1b-d, maar voor getijkomponent MS_6
Figuur B.9b-d	Als Figuur B.1b-d, maar voor getijkomponent MN_6
Figuur B.10b-d	Als Figuur B.1b-d, maar voor getijkomponent $2SM_2$
Figuur B.11b-d	Als Figuur B.1b-d, maar voor getijkomponent μ_2
Figuur B.12b-d	Als Figuur B.1b-d, maar voor getijkomponent $2MN_2$

Lijst van Tabellen

Tabel 2.1: Amplitudes 1997 gaande van west naar oost

Tabel 2.2: Fases 1997 gaande van west naar oost

Tabel 2.3: Amplitudes 1997 gaande van west naar oost; relatief t.o.v. Vlissingen

Tabel 2.4: Fases 1997 gaande van west naar oost; relatief t.o.v. Vlissingen

Tabel 3.1: Variabelen waar de eerste hoofdrichting (vrijwel) geen variantie verklaart

Tabel 3.2: Variabelen waar de eerste hoofdrichting (vrijwel) alle variantie verklaart

Tabel B.1a: Statistische karakteristiek van het ensemble voor M_2

Tabel B.2a: Statistische karakteristiek van het ensemble voor S_2

Tabel B.3a: Statistische karakteristiek van het ensemble voor N_2

Tabel B.4a: Statistische karakteristiek van het ensemble voor M_4

Tabel B.5a: Statistische karakteristiek van het ensemble voor MS_4

Tabel B.6a: Statistische karakteristiek van het ensemble voor MN_4

Tabel B.7a: Statistische karakteristiek van het ensemble voor M_6

Tabel B.8a: Statistische karakteristiek van het ensemble voor MS_6

Tabel B.9a: Statistische karakteristiek van het ensemble voor MN_6

Tabel B.10a: Statistische karakteristiek van het ensemble voor $2SM_2$

Tabel B.11a: Statistische karakteristiek van het ensemble voor μ_2

Tabel B.12a: Statistische karakteristiek van het ensemble voor $2MN_2$

I Inleiding

I.1 Opdracht

Middels opdrachtbon Nr.67982985 van 10 november 1998 is door RIKZ Middelburg aan WL|Delft Hydraulics opdracht verleend voor het uitvoeren van een data-analyse van het getij in de Westerschelde. Het resultaat is een datarapport, en niet zozeer een rapport met volledige interpretaties en conclusies.

De opdracht vindt plaats in het kader van het project ZEESTRU*WS*5.

Deze opdracht is de eerste fase van het project Getijanalyse Westerschelde. Het doel van het project Getijanalyse Westerschelde is het vergroten van de kennis van de getijdoordringing in de Westerschelde in het algemeen, en een verkenning of en hoe in de studie gevonden karakteristiek gedrag van het getij in verband gebracht kan worden met veranderingen in de morfologie als gevolg van ingrepen en natuurlijke ontwikkelingen. De aard van het project is daarmee een gevoeligheidsstudie van het getijsysteem.

Uitgangspunt van de data-analyse is het getij zoals dat nu bekend is uit metingen in de vorm van jaarsets van getijkonstanten in de zes stations Cadzand, Westkapelle, Vlissingen, Terneuzen, Hansweert en Bath voor de periode 1971 - 1997.

De resultaten van het huidige project dienen de morfologen informatie te leveren waarmee zij vanuit hun achtergrond en ervaring een beter begrip kunnen verkrijgen van de reactie van het getij op veranderingen zoals verdieping, inpoldering, ontpoldering en kombergingsvergroting in het algemeen. Als voorzet worden in dit datarapport de in de literatuur beschreven grootschalige veranderingen in de zandbalansen en morfologie in de periode sinds 1955 kort samengevat.

In een van de data-analyse los staande vervolgfase, die mede op basis van de huidige data-analyse nader wordt gespecificeerd, worden de resultaten in termen van veranderend getijgedrag verder geïnterpreteerd en afgezet tegen de kennis van de morfologische veranderingen in dezelfde periode. Op basis hiervan kunnen hypothesen opgesteld worden voor relaties tussen beide. Deze hypothesen worden vervolgens getoetst door een aantal gerichte DUFLOW berekeningen uit te voeren.

Het verband tussen morfologische veranderingen en getijveranderingen zal dus primair na afloop van het huidige project worden gelegd, in nauwe samenspraak met de morfologen die ervaring hebben met de Westerschelde problematiek.

I.2 Uitvoering/Aanpak

I.2.1 Beschrijving van het getij in termen van het totaalsignaal

Bij de beschrijving van het verticale getij als totaalsignaal $h(t, x)$ als functie van plaats en tijd zijn de volgende karakteristieke grootheden van belang: waterstand, maatgevende

niveaus zoals gemiddelde zeestand, gemiddeld hoogwater en gemiddeld laagwater, looptijd van het getij, getijasymmetrie, debietverdeling, getijvolume, en komberging. Voor een beschrijving hiervan en de historische ontwikkeling van de getijniveaus zie bijvoorbeeld Arends (1997), Vroon et al. (1997) of Dillingh en Heinen (1994). Hoofdstuk II-B in (Vroon, 1997) geeft een beknopte beschrijving van de getijveranderingen in de Westerschelde in met name deze grootheden.

1.2.2 Getijbeschrijving in termen van de afzonderlijke getijkomponenten

Het totale getijsignaal $h(t, x)$ kan praktisch geschreven worden als de som van een eindig aantal (K) cosinusvormige getijkomponenten, ieder met zijn eigen frequentie, en plaatsafhankelijke amplitudes en fases:

$$h(x, t) = A_0(x) + \sum_{k=1}^K A_k(x) \cdot f_k(t) \cdot \cos\{\omega_k \cdot t + (V_0(t) + u(t))_k - G(x)_k\},$$

waarin:

A_0 het gemiddeld waterstandsniveau voor de periode waarop de getijkomponenten gebaseerd zijn, f_k en u_k de zogenaamde astronomische knooppcorrecties (veelal per jaar constant verondersteld), ω_k de frequentie, en A_k en G_k de lokale amplitude en fase van de getijkomponent met index k . V_0 tenslotte beeldt de lokale tijdbasis van de meting af op de globale tijdbasis behorend bij beschrijving van de banen van zon en maan ("sterretijd") door voor iedere getijkomponent een fasekoppeling met een internationaal afgesproken tijdstip te leggen (veelal 1 januari 1900, 12:00 GMT).

Voor de Nederlandse getijstations zijn getijbeschrijvingen beschikbaar in de vorm van jaarsets van amplitudes en fases van de $K=94$ belangrijkste geachte getijkomponenten, bepaald uit een getijdecompositie met HATYAN of GETIJSYS van een volledig jaar waterstands-waarnemingen voor dat jaar.

Veranderingen in de lokale situatie van een station in e.g. de Westerschelde als gevolg van ingrepen, morfologie, etc. zullen worden gereflecteerd in veranderingen van deze jaarsets in de tijd en de ruimte.

In de huidige studie van het getij in de Westerschelde is expliciet gekozen voor een beschrijving en analyse in termen van het gedrag van de getijkomponenten afzonderlijk (jaarsets), dus in het frequentiedomein, in de verwachting dat hierbij mogelijk verschijnselen of gedragingen zichtbaar zijn of naar voren kunnen komen die anderszins moeilijk te onderscheiden zijn.

Er zijn daarmee nu drie onafhankelijke variabelen (x , t , k) waarin het gedrag en verandering in gedrag beschouwd worden: de plaats x (zes stations langs het estuarium), de tijd t (veranderingen van jaar tot jaar) en de frequentie k (de verschillende componenten t.o.v. elkaar).

Hoewel het beschouwen van 94 jaarkomponenten in vergelijking met 8760 uurswaarnemingen over een jaar al een enorme reductie in data geeft, is het goed bij de start te onderbouwen of het voor deze studie noodzakelijk en zinnig is alle $K=94$ getijkomponenten te beschouwen.

1.2.3 Het belang van de verschillende getijkomponenten

Conform het gangbare gebruik van getijkomponenten wordt in de studie aangenomen dat de voor het onderzoek beschikbare jaarsets van 94 getijkomponenten een volledige karakterisering geven van het getij op de gegeven plaats voor het betreffende jaar. De hoofdkomponenten van het getij in de Westerschelde zijn de dubbeldaagse componenten M_2 , S_2 en N_2 . Het estuarium wordt gekenmerkt door geulen en platen en sterke oploering van het getij van de monding naar de Belgische grens. In termen van de bewegingsvergelijking en continuïteitsvergelijking voor waterbeweging zien we dit als het belangrijk zijn van de termen:

$$\begin{aligned} \zeta|u|u; & \quad \text{de wrijvingsterm in de bewegingsvergelijking;} \\ \frac{\partial}{\partial x} \{\zeta u\}; & \quad \text{de ondiepwaterterm in de continuïteitsvergelijking, en} \\ u \frac{\partial u}{\partial x}; & \quad \text{de advectieve term in de bewegingsvergelijking} \end{aligned}$$

Bij de beperkte dieptes en grote ruimtelijke gradienten leiden deze termen tot de opwekking van samengestelde componenten. In de getijvoorstelling is dit met name zichtbaar in grote amplitudes van de met genoemde hoofdkomponenten samenhangende twee aan twee samengestelde componenten in de vier- en zesmaaldaagse getijband M_4 , MS_4 , MN_4 , M_6 , $2MS_6$, en $2MN_6$.

In de studie is aangenomen dat veranderingen in het getijgedrag langs het estuarium en in de tijd dan ook met name in deze componenten zichtbaar zullen moeten zijn. In Parker (1991) wordt aangegeven dat veranderingen in diepte en geometrie bij het bestaan van twee componenten aanleiding geven tot een modulatie op de opwekking van hogere componenten omdat het niet-lineaire effect versterkt wordt bij in fase zijn op hoog water, en verzwakt bij het in fase zijn op laag water. De opwekking van MS_4 uit M_2 en S_2 zal dan ook een modulatie vertonen met een periode van twee maal de M_2 - S_2 modulatie (springtij - doodtij cyclus van 29.5 dag). Analoog hieraan zullen modulaties optreden bij interactie van M_2 en N_2 , die een periode van 27.55 dag hebben.

Deze modulaties zijn het sterkst zichtbaar als componenten in de dubbeldaagse getijband op de frequenties die net naast de hoofdkomponenten zitten:

$$\begin{aligned} 2MN_2 & \text{ (frequentie gegeven door: } M_2 + (M_2 - N_2)\text{); dit is gelijk aan de frequentie van } L_2 \\ 2NM_2 & \text{ (frequentie gegeven door: } N_2 - (M_2 - N_2)\text{)} \\ 2MS_2 & \text{ (frequentie gegeven door: } M_2 - (S_2 - M_2)\text{); dit is ook de frequentie van } \mu_2 \\ 2SM_2 & \text{ (frequentie gegeven door: } S_2 + (S_2 - M_2)\text{)} \end{aligned}$$

In de toegeleverde sets getijkonstanten is μ_2 geïdentificeerd en niet $2MS_2$, terwijl NLK_2 gekozen is en niet de op 4.42 jaar daarvan scheidbare en meer belangrijke component $2NM_2$ (of de astronomische component $2N_2$ die ook dezelfde frequentie heeft). Met de aanname dat de bijdrage van μ_2 groter is dan die van $2MS_2$, wordt verwacht dat de eerste keuze geen invloed hoeft te hebben op de (vergelijkende) analyse, terwijl verwacht mag worden dat de tweede keuze de component onbruikbaar maakt vanwege sterke variaties met een periode

van 4.42 jaar. Dit is een aliasing effect wegens het niet hebben kunnen splitsen van deze componenten in een jaaranalyse met HATYAN.

1.2.4 Keuze voor analyse van 13 getijkomponenten

In de volgende analyse wordt daarom gekozen voor analyse van 13 getijkomponenten van de stations Cadzand, Westkapelle, Vlissingen, Terneuzen, Hansweert en Bath. De 13 componenten zijn M_2 , S_2 , M_4 , MS_4 , M_6 , $2MS_6$, N_2 , MN_4 en $2MN_6$, plus μ_2 , $2MN_2$, $2MS_2$ en NLK_2 . Het gaat hier om de componenten beschikbaar uit de 27 jaaranalyses 1971, ..., 1997. In deze jaaranalyses is steeds dezelfde set van 94 componenten gebruikt, waarmee de gegevens onderling vergelijkbaar zijn. Opgemerkt wordt dat de componenten v_2 en K_2 , hoewel groot qua amplitude, weggelaten zijn omdat ze qua gedrag vergelijkbaar op veranderingen zullen reageren als de componenten N_2 en S_2 , waarvan ze scheidbaar zijn zodra de meetreeks voor analyse meer dan zes maanden bedraagt. Dit houdt in dat in principe alle energie-rijke componenten in de 2-, 4- en 6-maaldaagse band meegenomen worden.

Als analyse techniek wordt gebruik gemaakt van PCA: Principal Component Analysis. Deze techniek is een multivariate analysetechniek en is een generalisatie naar meer dimensies van de bekende regressietechniek in twee dimensies (x,y): $y = a.x + b$.

1.3 Indeling van het rapport

Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van het getijgedrag in de Westerschelde op basis van eenvoudige grafische en tabellarische interpretatie van de getijkomponenten.

In Hoofdstuk 3 wordt de presentatievorm van de resultaten van de Principal Component Analysis gepresenteerd en worden de observaties en interpretaties samengevat.

De PCA techniek op zich wordt beschreven in Appendix A, terwijl voor de gedetailleerde analyseresultaten en observaties per getijkcomponent wordt verwezen naar Appendix B.

In Hoofdstuk 4 wordt, gericht op toekomstig te leggen getij-morfologie verbanden, op basis van de literatuur een eerste samenvatting gegeven van de belangrijkste herkenbare veranderingen en tijdstippen die hierbij relevant zijn.

Hoofdstuk 5 gaat summier in op aspecten die bij deze correlaties van belang zijn, terwijl in Hoofdstuk 6 de conclusies en aanbevelingen worden gepresenteerd.

Opgemerkt wordt dat het huidige rapport naar zijn aard een datarapport is, waarin veranderingen van het getij in plaats en tijd (via PCA gezamenlijk meegenomen!) onderzocht worden. De samenvatting van de morfologische veranderingen en de voor correlatie belangrijke aspecten zijn eerste aanzetten om de volgende fase voor te bereiden, en de doelgroep bij lezing als het ware een rode draad mee te geven.

2 Getijvoortplanting in de Westerschelde op basis van getijkomponenten

2.1 Getijgedrag als functie van x en k

De getijvoortplanting in de Westerschelde in termen van getijkomponenten wordt weergegeven door het amplitude- en fasegedrag van de afzonderlijke getijkomponenten gaande van west naar oost. Beschikbaar hiervoor zijn twee buitenstations - Cadzand en Westkapelle - en vier stations in het estuarium: Vlissingen, Terneuzen, Hansweert en Bath, gaande van de monding naar de Belgische grens.

In onderstaande Tabellen 2.1 - 2.4 zijn de componentnaam, frequentie en amplitudes en fases voor de Westerschelde weergegeven als functie van x en k ($K=13$) voor het jaar 1997 :

	Freq o/hr	Cadzand	Westkap	Vlissingen	Terneuzen	Hansweert	Bath
nlk2	27.8861	3.25	2.73	3.65	4.44	5.11	5.64
mu2	27.9682	10.91	10.28	12.60	15.16	17.62	20.05
n2	28.4397	28.36	25.85	29.09	30.90	32.49	33.99
m2	28.9841	167.34	153.98	174.09	186.49	197.22	207.43
2mn2	29.5285	12.87	12.01	14.02	15.77	17.30	18.73
s2	30	46.83	42.55	47.59	49.96	51.77	53.19
2sm2	31.0159	3.16	2.92	3.42	3.77	4.07	4.38
mn4	57.4238	3.64	4.40	3.96	3.45	3.33	3.50
m4	57.9682	11.98	14.10	13.06	11.87	11.45	12.05
ms4	58.9841	8.21	9.40	8.63	7.50	7.14	7.61
2mn6	86.4097	5.16	4.71	4.48	4.80	5.10	6.53
m6	86.9523	9.91	9.14	8.66	9.21	9.51	12.41
2ms6	87.9682	9.82	8.99	8.67	9.18	9.06	11.49

Tabel 2.1: Amplitudes 1997 gaande van west naar oost

	Freq o/hr	Cadzand	Westkap	Vlissingen	Terneuzen	Hansweert	Bath
nlk2	27.8861	291.42	293.23	301.79	314.65	325.94	338.56
mu2	27.9682	156.56	163.42	163.73	168.89	176.64	186.48
n2	28.4397	22.20	26.01	32.80	42.90	54.34	67.14
m2	28.9841	49.90	54.00	60.12	69.65	80.86	93.48
2mn2	29.5285	248.38	253.53	258.20	266.76	277.35	289.31
s2	30	106.71	110.43	118.20	129.86	143.17	157.92
2sm2	31.0159	335.91	343.12	346.87	355.94	7.67	23.38
mn4	57.4238	72.08	75.33	98.19	111.73	143.31	147.06
m4	57.9682	91.89	97.48	119.34	133.52	166.36	175.32
ms4	58.9841	155.47	159.50	181.12	196.64	229.02	236.41
2mn6	86.4097	48.46	54.80	83.83	126.80	177.70	229.22
m6	86.9523	73.77	80.66	108.73	151.64	204.25	255.79
2ms6	87.9682	126.77	133.80	161.57	203.75	256.15	310.25

Tabel 2.2: Fases 1997 gaande van west naar oost

In termen van veranderend gedrag is het vaak meer inzichtelijk de amplitudes en fase genormeerd weer te geven t.o.v. een basisstation. In onderstaande tabellen is hiervoor Vlissingen gekozen.

	Freq o/hr	Cadzand	Westkap	Vlissingen	Terneuzen	Hansweert	Bath
nlk2	27.8861	0.89	0.75	1.00	1.21	1.40	1.54
mu2	27.9682	0.87	0.82	1.00	1.20	1.40	1.59
n2	28.4397	0.97	0.89	1.00	1.06	1.12	1.17
m2	28.9841	0.96	0.88	1.00	1.07	1.13	1.19
2mn2	29.5285	0.92	0.86	1.00	1.12	1.23	1.34
s2	30	0.98	0.89	1.00	1.05	1.09	1.12
2sm2	31.0159	0.92	0.85	1.00	1.10	1.19	1.28
mn4	57.4238	0.92	1.11	1.00	0.87	0.84	0.88
m4	57.9682	0.92	1.08	1.00	0.91	0.88	0.92
ms4	58.9841	0.95	1.09	1.00	0.87	0.83	0.88
2mn6	86.4097	1.15	1.05	1.00	1.07	1.14	1.46
m6	86.9523	1.14	1.05	1.00	1.06	1.10	1.43
2ms6	87.9682	1.13	1.04	1.00	1.06	1.04	1.32

Tabel 2.3: Amplitudes 1997 gaande van west naar oost; relatief t.o.v. Vlissingen

	Freq o/hr	Cadzand	Westkap	Vlissingen	Terneuzen	Hansweert	Bath
nlk2	27.8861	-10.37	-8.56	0.00	12.86	24.15	36.77
mu2	27.9682	-7.17	-0.31	0.00	5.16	12.91	22.75
n2	28.4397	-10.60	-6.79	0.00	10.10	21.54	34.34
m2	28.9841	-10.22	-6.12	0.00	9.53	20.74	33.36
2mn2	29.5285	-9.82	-4.67	0.00	8.56	19.15	31.11
s2	30	-11.49	-7.77	0.00	11.66	24.97	39.72
2sm2	31.0159	-10.96	-3.75	0.00	9.07	20.80	36.51
mn4	57.4238	-26.11	-22.86	0.00	13.54	45.12	48.87
m4	57.9682	-27.45	-21.86	0.00	14.18	47.02	55.98
ms4	58.9841	-25.65	-21.62	0.00	15.52	47.90	55.29
2mn6	86.4097	-35.37	-29.03	0.00	42.97	93.87	145.39
m6	86.9523	-34.96	-28.07	0.00	42.91	95.52	147.06
2ms6	87.9682	-34.80	-27.77	0.00	42.18	94.58	148.68

Tabel 2.4: Fases 1997 gaande van west naar oost; relatief t.o.v. Vlissingen

In Figuur 2.1 - 2.4 wordt bovenstaande informatie grafisch weergegeven. In verband met de grote amplitudeverschillen tussen M_2 en de andere getijkomponenten is in Figuur 2.1 een logaritmische schaal gebruikt.

2.2 Het gedrag in de k-ruimte

Uitgaande van het continuïteitsprincipe in de k-ruimte geven de Tabellen 2.3 en 2.4 al een goed inzicht in het basisgedrag van het getij. Dit continuïteitsprincipe houdt in dat bij gegeven amplitude- en fasegedrag van een getijgolf met frequentie k, een getijgolf met

frequentie $k+\epsilon$ een amplitude- en fasegedrag vertoont dat daarvan maar beperkt mag afwijken. Wordt in een beperkt frequentiebereik wel een sterk verschillend gedrag gevonden dan is nadere analyse gewenst. Enerzijds kan dit verschillend gedrag fysisch juist zijn, nl. in het geval het de omgeving van een resonantiefrequentie betreft. Vaak is het echter een indicatie dat er iets mis is met de getijkomponent, bijvoorbeeld een instabiliteit of zou er sprake kunnen zijn van een niet-optimale keuze van de componentenset in de getijanalyse met HATYAN. De fases van de viermaaldaagse en met name de zesmaaldaagse componenten illustreren het continuïteitsprincipe. Het geldt ook in grote mate voor de amplitudes in deze getijbanden.

Het gedrag van de zeven componenten in de tweemaaldaagse getijband is veel complexer. Op basis van het zeer kleine frequentieverschil tussen NLK_2 en μ_2 mag een vrijwel identiek gedrag verwacht worden. Hoewel dit voor de amplitudes in het estuarium zo is, is het fasegedrag heel verschillend.

Het gedrag van de energierijke componenten M_2 en N_2 is onderling consistent; ook S_2 past hier redelijk bij. Het amplitude-gedrag van $2MN_2$, wiens frequentie tussen die van M_2 en S_2 in ligt, gedraagt zich op een eigen manier en vertoont een bijna twee maal zo sterke niet-lineaire versterking. Ook het fasegedrag is niet consistent met het verwachte "nulde orde" gedrag, nl. het gemiddelde gedrag van M_2 en S_2 . Het gedrag van component $2SM_2$ lijkt weer meer op dat van $2MN_2$. Bij de interpretatie van deze component moet echter ook zijn duidelijke kleinere amplitude in rekening gebracht worden (lagere amplitude-ruisverhouding in de getijanalyse), zie Tabel 2.1.

Gegeven bovenstaande observaties, is het wenselijk ook het gedrag in de tijd van met name de vier componenten NLK_2 , μ_2 , $2MN_2$ en $2SM_2$ te beschouwen, om de bruikbaarheid van deze in hoofdstuk 1 toegevoegde componenten nader te onderbouwen.

2.3 Het gedrag in de tijd (t-ruimte); 1971-1997

De veranderingen in de tijd over de periode van 27 jaar zijn grafisch weergegeven.

Figuur 2.5a-f toont voor alle zes stations de relatieve toename van de amplitude en de faseverschuiving van de oorspronkelijk geïdentificeerde 9 getijkomponenten ten opzichte van het jaar 1971. De variatie van M_2 en S_2 is beperkt; alleen voor Bath is dit minder het geval. N_2 vertoont wat meer variatie, die bovendien ten dele misschien periodiek van aard is. M_4 en MS_4 lijken gestructureerde variatie te vertonen, met name in Hansweert en Bath. In het laatste station geldt dit ook voor $2MN_6$, M_6 en $2MS_6$. Afgezien van Vlissingen, tonen alle stations voor de viermaaldaagse band een afname van de fases. De componenten MN_4 en $2MN_6$ vertonen evenals N_2 een grotere variantie, waarbij Hansweert weer een duidelijk structuur laat zien.

Bij de 4 componenten NLK_2 , μ_2 , $2MN_2$ en $2SM_2$ in Figuur 2.6a-f valt als eerste op de enorme periodieke variatie in amplitude en fase van NLK_2 voor alle stations. De periode hiervan is ongeveer 4.5 jaar, wat het vermoeden ondersteunt dat we te maken hebben met de combinatie van NLK_2 en $2NM_2$ (en $2N_2$; beide zitten op dezelfde frequentie 27.895 o/uur en zijn met 4.42 jaar data te scheiden van NLK_2 , met frequentie 27.886 o/uur), waarbij de niet geïdentificeerde component overheersend is.

De konklusie is dat NLK_2 niet bruikbaar voor de huidige analyse. Op basis van deze figuren wordt geconstateerd dat het aanbeveling verdiend in toekomstige analyses NLK_2 te vervangen door e.g. $2NM_2$ of $2N_2$.

De variatie van de amplitudes en fases van de componenten μ_2 , $2MN_2$ en $2SM_2$ lijkt kwalitatief steeds hetzelfde gedrag te vertonen, onafhankelijk van het station, c.q. de plaats langs het estuarium. Dit zou betekenen dat deze componenten als indicatoren voor lokale veranderingen in niet-lineair gedrag toch minder informatie geven dan op basis van Parker (1991) verondersteld wordt. Meer gedetailleerde analyse met PCA zal moeten uitwijzen of dit kwantitatief ook zo is.

In dit stadium worden deze componenten dus niet verwijderd uit de beschouwing, ondanks de vermenging van μ_2 met $2MS_2$ en $2MN_2$ met L_2 , en het niet direct verklaarbare gedrag in de k-ruimte. Indien hun gedrag niet stabiel is, zal dit in de PCA analyse vanzelf naar voren komen.

Opmerking:

De M_2 - N_2 modulatie van 27.55 dagen heeft een periode die overeenkomt met iets meer dan 53 hoogwaters ($53.24 * 12.42$ uur). Dit maakt het aannemelijk dat de keuze van NLK_2 en niet $2N_2$ of $2NM_2$ mogelijk ook een van de oorzaken of mogelijk de oorzaak is van het zogenaamde "Vlissingenprobleem" (Philippart, mondeling), waar deze periodiciteit tot uiting komt in het systematisch te hoog zijn van hoog waters en te laag zijn van laag waters. Wellicht spelen deze en andere componentenkeuzes - en de daarmee al dan niet gecreëerde mogelijkheid zwevingen expliciet mee te nemen - een rol bij meer stations langs de Nederlandse kust een rol, zie de problematiek geschetst in (Wüst, 1997)

3 Resultaten van de Principal Component Analysis (PCA)

Voor ieder van de uiteindelijk gekozen 12 componenten is een Principal Component Analyse (PCA) volgens het idee van Appendix A uitgevoerd. Hierbij is het aantal waarnemingen N gelijk aan $N=27$, en de dimensie P gelijk aan $P=6$ of 12 , al naar gelang amplitudes en fases afzonderlijk, of gezamenlijk worden geanalyseerd. Het resultaat is steeds een reeks eigenvectoren en eigenwaarden in de 6- of 12-dimensionale ruimte, waarbij de eerste de meeste variantie verklaart, etc.

De analyse is op amplitudes en fases gezamenlijk uitgevoerd ($P=12$), d.w.z. dat ook mogelijke correlaties tussen amplitudes en fases geïdentificeerd kunnen worden. Voor de gedetailleerde beschrijving per getijkcomponent van alle resultaten in de vorm van observaties en interpretaties aan de hand van basisstatistiek en de bij de PCA gegenereerde visualisaties wordt verwezen naar Appendix B.

In dit hoofdstuk wordt de presentatievorm toegelicht en worden de karakteristieke resultaten in termen van getijgedrag in ruimte en tijd samengevat. Hierbij wordt zowel naar extremen, trends en trendbreuken gekeken.

3.1 Toelichting op de presentatievorm

In de Figuren B.1a-d tot B.12a-d van Appendix B zijn de resultaten van deze analyses per getijkcomponent weergegeven. Deze resultaten bestaan uit:

1-e blad: Basis statistiek zoals gemiddelde, standaard afwijking, variantie, minimum, maximum en range voor de zes stations: amplitude (01-06) en fase (07-12). Ook wordt het eerste deel (amplitudes) van de 2nd moment matrix weergegeven.

2-e blad: In zes frames wordt het temporeel verloop langs de eerste zes hoofdrichtingen ("eigenvectoren") in de amplitude - faseruimte weergegeven, met daarbij procentueel de variantie die door de respectieve hoofdrichting wordt verklaard. Hoe meer variantie er door de eerste component(en) wordt verklaard, des te lager-dimensionaal de structuur van de puntenwolk in de 12-dimensionale ruimte opgespannen door de amplitudes en fases in alle zes stations. Fysisch betekent dit: des te groter de samenhang tussen de amplitudes en fases van de diverse stations. In het andere uiterste - het volkomen onafhankelijk zijn van de samples -, is de correlatie nul en de variantie voor alle hoofdrichtingen even groot.

3-e blad: Per station is weergegeven (1) de variatie in de tijd rond het stationsgemiddelde van de amplitude (dikke lijn), en (2) de variatie in de tijd van de amplitude die overblijft wanneer van de vorige lijn de variatie wordt verwijderd die verklaard wordt met de eerste hoofdrichting (d.w.z. verklaard door het ensemble). De eenheid langs de verticale as is cm. N.B. In geval amplitudes en fases geheel ongekorreleerd zijn, of indien we alleen naar de amplitudes kijken ($P=6$), dan komt de eerste hoofdrichting min of meer overeen met het

gemiddeld gedrag van de amplitude over alle zes stations. Wat dan overblijft is min of meer het verschilgedrag van de diverse stations.

4-e blad: Als derde blad, maar dan voor de fases. De eenheid langs de verticale as is graden.

Met deze decompositie wordt geleidelijk de variantie ontleed naar de belangrijkste samenhangende richtingen of substructuren/karakteristiek gedrag.

Het geleidelijk verwijderen van informatie bevat in de hoofdrichtingen (ensemble informatie) leidt er toe dat steeds beter de lokale gedragingen zichtbaar worden.

3.2 Samenvatting van de observaties

In de voor 12 getijkomponenten uitgevoerde PCA analyse in Appendix B wordt gekeken naar het gedrag in de 12-dimensionale ruimte opgespannen door de amplitudes en fases in de zes stations, waarvan voor ieder 27 "waarnemingen" in de tijd beschikbaar zijn.

Via bepaling van de hoofdkomponenten krijgen we dus informatie over de correlatie tussen de stations, tussen amplitudes en fases in stations (of over stations) en daarbij de ontwikkeling in de tijd. Door de PCA resultaten van verschillende getijkomponenten te vergelijken, kunnen we ook dwarsverbanden gelegd worden in de frequentieruimte.

Hieronder worden de resultaten van Appendix B samengevat. Verwezen wordt steeds naar de bij de getijkcomponent behorende plots.

In de temporele evolutie van de amplitudes en fases worden (op de al dan niet bestaande globale trends) voor de meeste componenten diverse kortdurende en ruisachtige fluktuaties waargenomen over de periode 1971-1997. Deze temporele variabiliteit is aanwezig in alle stations en blijkt dermate grillig dat het niet goed mogelijk lijkt om de effecten van kleinschalige (en in tijd en/of ruimte gekoncentreerde) ingrepen eenduidig te identificeren. In de PCA analyses blijken inderdaad weinig eenduidige lokale effecten traceerbaar die zich consistent in meerdere componenten en/of stations manifesteren.

Bij de tijdsevolutie van een aantal componenten werd een gedrag gevonden waarbij een grote mate van periodiciteit optrad (μ_2 , met periode van ongeveer 4.5 jaar) of waarbij het tijdsverloop dermate grillig en spatieel uniform oscilleert (b.v. voor N_2 , $2MN_2$) dat moet worden afgevraagd of deze componenten in de getijanalyse wel goed gescheiden zijn van nabijgelegen en niet geïdentificeerde spektrale componenten, en derhalve overspraak is opgetreden. Het heeft voor het vervolg van deze studie derhalve maar beperkt zin om voornoemde componenten verder in beschouwing te nemen.

3.2.1 Algemene trends in amplitudes

In veel van de amplitudes wordt een duidelijke temporele trend waargenomen die zich echter niet altijd consistent over de diverse stations manifesteert. Zo blijkt voor M_2 dat voor alle stations een zekere monotone (min of meer lineaire) toename optreedt van de amplitudes over 1971-1997. Bij M_4 is eveneens een stijgende trend voor de 4 westelijke stations waar te nemen, maar voor Hansweert is die daarentegen dalend, en voor Bath is geen eenduidige trend te zien. Voor M_6 en $2MS_6$ gaat een duidelijk dalende trend voor Westkapelle en Hansweert

(vooral $2MS_6$) gepaard met stijgende trends voor Terneuzen en Bath. Vooral het afwijkende gedrag van Hansweert met zijn 'buren' Terneuzen en Bath is hierbij opvallend.

3.2.2 Algemene trends in fases

Voor de fases wordt voor bijna alle componenten voor Hansweert een zeer abrupte daling waargenomen gedurende 1976-1982 (deze daling is duidelijk vele malen groter dan de gemiddelde fluktuaties over 1971-1997, zodat duidelijk van een 'event' kan worden gesproken). Daarbij is het merkwaardig dat dit gedrag (noch de trends in Hansweert vóór dit 'event') in zijn geheel niet terug te zien zijn in Bath. Überhaupt, en vooral voor alle 4'daagse componenten, dissonceert Bath met de andere stations in de zin dat voor Bath over de hele periode 1971-1997 een duidelijk stijgende trend voor de fases laat zien, waarbij de andere stations zeker niet monotoon variëren.

Voor de oostelijke stations lijkt daarnaast voor de 2'daagse componenten in 1988 een trendbreuk op te treden waarbij een dalende trend omkeert in een stijgende trend.

3.2.3 Verklaring door de eerste PCA hoofdkomponent

Puntsgewijs kunnen aan de meer gedetailleerde bevindingen van de Sekties B.1-B.12 van Appendix B de volgende meer algemene samenvattingen/konklusies worden ontleend.

1. Voor de getijkcomponenten N_2 en $2SM_2$ zijn de amplitudes en fases vrijwel volledig ongekorreleerd. Voor de getijkcomponenten MN_4 , M_6 , $2MS_6$, $2MN_6$, $2MN_2$ zijn zij slechts matig tot in beperkte mate gekorreleerd.
2. Verwijdering van de eerste PCA richting levert niets of bijna niets op voor de volgende grootheden:

	Freq o/hr	Gadzand	Westkap	Vlissingen	Terneuzen	Hansweert	Bath
n/k2	27.8861						
mu2	27.9682						
n2	28.4397	F	F	F	F	F	F
m2	28.9841	A, F					
2mn2	29.5285						
s2	30	A	A				
2sm2	31.0159	F	F	F	F	F	F
mn4	57.4238						
m4	57.9682			F		A	A
ms4	58.9841						
2mn6	86.4097	F			F		F
m6	86.9523	F		F			
2ms6	87.9682	F	A	F			

Tabel 3.1: Variabelen waar de eerste hoofdrichting (vrijwel) geen variantie verklaart

3. De eerste PCA richting verklaart zeer veel tot bijna alle variantie voor de volgende grootheden (gedraagt zich als het ensemble); indien de grootheid tussen haakjes staat betekent dit dat de eerste hoofdkomponent wel trends en trendbreuken verklaart, maar dat er nog veel variantie overblijft:

	Freq o/hr	Cadzand	Westkap	Vlissingen	Terneuzen	Hansweert	Bath
nlk2	27.8861						
mu2	27.9682						
n2	28.4397	A	A	A	A	A	(A)
m2	28.9841			(A)	(A)		(A)
2mn2	29.5285		(A)	(A)			
s2	30						
2sm2	31.0159	A	A	A	A	A	A
mn4	57.4238	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	
m4	57.9682	(A)	(A)	(A)	A	(F)	
ms4	58.9841	(A), (F)		(A)	(A)	(F)	
2mn6	86.4097	A		A	A	(A)	
m6	86.9523	(A)		(A)	(A)		(A)
2ms6	87.9682				(A)		

Tabel 3.2: Variabelen waar de eerste hoofdrichting (vrijwel) alle variantie verklaart

3.2.4 Extremen, trends en trendbreuken

De meest opvallende in de tijd geconcentreerde verschijnselen in het gedrag in de tijd zijn verder:

- De amplitudepiek in M_2 , S_2 en M_4 voor 1987/88 voor alle stations, doch het sterkst voor Hansweert en Bath., die volledig verklaard wordt door PC-1.
- De fasepiek in M_2 voor 1975 in alle 4 binnenstations.
- De langere amplitudepiek voor S_2 in 1980-1983 in alle stations.
- De significante amplitudeverhoging van N_2 voor 1980-1981 en zijn amplitudedip in 1973 in alle stations.
- Het amplitudeminimum in M_4 voor 1974 voor alle stations behalve Bath
- De amplitudepiek in M_4 voor 1994 (+95) voor alle stations.
- De amplitudepiek 1990-91 voor MS_4 in alle stations behalve Bath.
- De amplitudepiek in MN_4 voor 1993 in alle stations.
- De flinke faseverlaging in MN_4 voor 1984 in alle stations, met name Hansweert en Bath.
- De flinke faseverlaging in $2MS_6$ voor 1988 in alle stations, met name Hansweert en Bath .

De meest opvallende trends en trendbreuken zijn:

- De kenmerkende, persistente en lokale faseverlaging die in Hansweert in de periode 1979/80-1982 optreedt, zichtbaar in de componenten M_2 , S_2 , M_4 , MS_4 , MN_4 , M_6 , $2MS_6$, $2MN_6$, $2MN_2$, en in het geheel niet in MU_2 en $2SM_2$
- Systematische afname van de fases van M_2 in de vier binnenstations tussen 1976 en 1988, een minimum in 1988, waarna ze weer toenemen . Hetzelfde geldt voor de fases van S_2 , doch alleen in Hansweert en Bath echt scherp zichtbaar.
- Afnemende fases in N_2 in alle stations, waarop gesuperponeerd de reeds genoemde grote fluktuatie met periode 4.5 jaar.
- Een stijgende trend (met fluktuaties) in de M_4 amplitudes van de westelijke stations, een dalende in Hansweert en geen duidelijke trend in Bath.

- Na aanvankelijke sterke fluctuaties, vanaf 1976 een duidelijke toename van de M_4 fases in alle stations behalve Terneuzen (geen trend) en Hansweert (daling tot 1982, en pas vanaf 1982 een stijgende trend).
- MS_4 amplitudes in de 4 westelijke stations stijgen netto, met een mindere stijging (trendbreuk) in 1982. In Bath dalen ze juist tot 1979, waarna een positieve trend inzet.
- MS_4 fases vertonen een flinke stijgende trend over de hele periode, terwijl Hansweert na zwakke daling tot 1979, zeer sterk daalt tot 1982, waarna de fase geen echte trend meer vertonen.
- MN_4 fases lijken tot de extreme dip in 1984 te dalen, waarna er een zwak stijgende trend is.

3.3 Veranderingen in termen van verandering van het totaalsignaal

De huidige data-analyse vindt plaats per getijkcomponent, i.e. in het frequentiedomein. Hierbij wordt de verandering van amplitude en fase in de tijd zichtbaar gemaakt, en via de PCA analyse wordt ook het verband tussen de amplitudes en fases in de ruimte gelegd. Hiermee is het mogelijk om ensemblegedrag van de stations zichtbaar te maken en te kwantificeren en vervolgens te scheiden van meer lokaal gedrag.

De vraag rijst wat dit betekent voor de verandering van het totale getijsignaal als tijdreeks. Hierbij kan men denken aan verandering van weerstand, traagheid, springtij-amplitude, doodtij-amplitude, middenstand, etc. In deze "praktische getijkentallen" spelen niet alleen alle getijkcomponenten een rol, maar ook in principe al hun amplitudeverhoudingen en relatieve fases.

Het beantwoorden van deze vraag voor weerstand en traagheid is meer dan de inverse stap van de HATYAN analyse, ofwel de terugvoorspelling van het getij als tijdreeks. Het gaat om de relatie tussen de *veranderingen* in plaats-, tijds- en frequentiedomein. Als voorbeeld kan men nemen de vraag hoe de sterke en persistente faseverlaging van vier- en zesmaaldaagse getijkcomponenten in Hansweert zich vertaalt in verandering van de getijniveaus in in principe alle stations van de Westerschelde, waarbij uiteraard verwacht mag worden dat de effecten het meest zichtbaar zullen zijn in Hansweert.

De noodzakelijke convolutie moet uitgevoerd worden over het frequentie-plaatsdomein, en leidt tot een relatie in het tijd-plaatsdomein. Op dit moment is echter niet mogelijk deze convolutie uit te voeren. Noodzakelijk hiervoor is immers de dynamische koppeling in de ruimte, zoals die met bijvoorbeeld de DUFLOW schematisaties beschreven wordt. In DUFLOW kunnen de grootheden weerstand en traagheid expliciet uitgevoerd worden. Dit aspect dient daarmee in de vervolgfase uitgevoerd te worden.

De crux bij deze DUFLOW berekeningen zal zijn daarbij eerst een aantal hypothesen voor relaties morfologieverandering en getijverandering te stellen, daar morfologie een invoerparameter is en niet (gewijzigde) getijkarakteristieken van stations in de Westerschelde zelf.

4 Ingrepen en morfologische veranderingen

In dit hoofdstuk worden de gegevens over de morfologische veranderingen en ingrepen op basis van de literatuur samengevat tot een niveau dat past bij de ruimtelijke beschikbaarheid van de getijkomponenten, en wordt aandacht gevraagd voor aspecten van nauwkeurigheid en tijdschalen. Doel is daarbij zoveel mogelijk karakteristieke tijdstippen en omslagpunten in de tijd te kunnen identificeren. Dit is een noodzakelijke voorzet om in een later stadium in detail de weerklink van morfologische veranderingen in de getijkomponenten als gevolg van ingrepen en natuurlijke ontwikkelingen te kunnen bepalen.

4.1 Lodingsvakken en getijtrajecten

Gegeven de periode van de beschikbare getijgegevens (1971-1997) worden de morfologische veranderingen van ongeveer 30 jaar beschouwd. In (Mol en al., 1997) wordt de huidige situatie en de veranderingen over de laatste tientallen jaren in tabellen, histogrammen en grafieken van e.g. areaalverloop bij diverse dieptes t.o.v. NAP weergegeven.

Bij de interpretatie hiervan voor de huidige studie is een belangrijk aspect de samenvoeging tot morfologie bepalende grootheden die ruimtelijk *van dezelfde orde van detaillering zijn als en daarmee vergelijkbaar zijn met* de getijgegevens.

Een voor de hand liggende indeling is dan de lodingsvakindeling, Vak 1-6 (Mol, 1997, Bijlage 8a).

De getijtrajecten zijn als volgt op de lodingsvakken afgebeeld:

Cadzand en Westkapelle - Vlissingen: Ten westen van Vak 6

Vlissingen - Terneuzen: Vak 6 en Vak 5, plus een klein deel van Vak 4

Terneuzen - Hansweert: Vak 4 en Vak 3

Hansweert - Bath: Vak 2 en ten dele Vak 1.

De bagger- en stortplaatsen voor binnen- en buitengebied zijn weergegeven in (Mol, 1997, bijlagen 1a, 2a, 3a en 4a). Hierbij valt op dat er binnen een lodingsvak meerdere bagger- en stortgebieden zijn. Tot enige jaren geleden werd gebaggerd materiaal uit overwegingen van transportkosten veelal op korte afstand weer gestort (mondeling, Arends), waardoor er op termijn van maanden reeds veel retourstroming plaats vond. Naast baggeren en storten vindt ook zandwinning plaats, wat wel tot een absolute onttrekking leidt.

Relevant voor vergelijking is dus de per vak of getijtraject gesommeerde bagger- en storthoeveelheid plus netto onttrekking. Daar hierbij grote getallen van verschillend teken, ieder met een zekere onnauwkeurigheid, gesommeerd worden, is de onzekerheid in het eindgetal belangrijk. Nauwkeurighedsgegevens lijken niet bekend te zijn (Mol, 1997). Wel zijn specifieke lodingsfouten deels bekend en in rekening gebracht (Uit den Bogaard, 1995).

4.2 Veranderingen en netto balansen per lodingsvak

In (Uit den Bogaard, 1995) worden de netto balansen per lodingsvak gepresenteerd. Deze hebben betrekking op de periode 1955-1993. Gegeven de tijdschalen die bij morfologische evenwichtsinstellingen een rol spelen, zie in sectie 4.4 hieronder, is dit voor het huidige onderzoek toelaatbaar. In onderstaande paragrafen worden de belangrijkste herkenbare veranderingen, zoals samengevat in (Uit den Bogaard, 1995) herhaald.

Een gedetailleerde analyse of verdere uitwerking valt niet binnen de huidige opdracht.

Vak 1; grootte 25 km².

Tot 1967 werd aan het vak onttrokken materiaal nauwelijks aangevuld van elders en resulteerde in verdiepingen. Tijdens de verdieping '70-'75 moest bijna twee maal meer aan het vak onttrokken worden dan er verdiept werd. De helft werd nl. via 'natuurlijk' transport weer teruggebracht uit vak 2. Vanaf 1982 lijkt er evenwicht: al het gebaggerde en in vak 2 gestorte zand wordt direct weer vanuit vak 2 aangevuld en de inhoud van het vak blijft vrijwel constant.

Tussen 1955 en 1993 is uit vak 1 in totaal 107×10^6 m³ zand onttrokken en is het vak met bijna 47×10^6 m³ verruimd.

Sinds 1982 bestaan de belangrijkste morfologische veranderingen uit het nog iets uitbochten van de hoofdgeul, het verbreden van de drempel van Valkenisse en het uitdiepen van de Schaar van de Noord. Dit is ten koste gegaan van de Plaat van Saeftinge die rond 1982 als intergetijdegebied is verdwenen. Gelijktijdig is de Marlemonsche Plaat voor Saeftinge flink uitgebouwd en opgehoogd, gedeeltelijk tot boven NAP.

Vak 2; grootte 40 km²

Hier wordt het grootste deel van het in Vak 1 gebaggerde materiaal gestort; per saldo is er van 1955 tot 1993 vrijwel continu sprake van storten.

Het meest opvallend in Vak 2 is het ophogen van de platen en het verdiepen van de geulen. In 1970 begint de verdieping van de Drempel van Hansweert, terwijl ook in de Bocht van Walsoorden gebaggerd wordt. Vanaf 1972 slaat de netto verzanding van het vak sinds 1955 om in een verruiming. Oorzaken zijn de baggeractiviteiten op de drempels, waardoor de geulen verruimen, en het netto zandtransport van Vak 2 naar Vak 1.

De platen van Valkenisse worden tot 1982 steeds hoger en compacter, sinds 1982 neemt het plaatareaal af en blijft het volume redelijk constant. In de hele periode 1955 - 1993 is ruim 50×10^6 m³ zand gestort. De inhoud van het vak is daarmee in 1994 weer op het niveau van 1955, maar met een andere verdeling.

Vak 3; grootte 56 km²

In het gebied ligt een vrij klein deel van de Drempel van Hansweert. Het vak is veel minder beïnvloed door baggeren en storten dan de vakken 1 en 2. Beperkte baggeractiviteiten bij de overloop van Hansweert en de platen van Ossenis.

Belangrijke verandering is de functiewisseling tussen het Middelgat en het Gat van Ossenis, Overloop van Hansweert en de hiermee samenhangende sedimentatie van het

Middelgat. De Overloop van Hansweert wordt beter bruikbaar voor vloed en voor eb. Dit proces is zeker al in 1955 ingezet, waarbij een systeem van losliggende geultakken (jaren 1930) over gaat in een aaneengesloten dubbelvoudig geulensysteem (1990). Het lange geulensysteem vanaf de Pas van Terneuzen via het Middelgat naar het Zuidergat wordt zo vervangen door een korter via de Overloop van Hansweert. Door de kortere geul kan met minder geulinhoud hetzelfde doorstroomoppervlak beschikbaar blijven.

De platen in Vak 3 (Platen van Ossenissee en de Rug van Baarland) laten tot 1988 een zandvolumetoename zien. De platen groeien aan elkaar vast ten koste van eb- en vloedscharen, die onderdeel van het plaatsysteem worden.

Samenvattend kan gezegd worden dat na 1971 een gestage verondieping van het vak plaats vindt als gevolg van genoemde functiewisseling. Deze verondieping 1972-1993 bedraagt tussen 35 en $50 \times 10^6 \text{ m}^3$, afhankelijk van de gebruikte interpolatiemethodiek. De gemeten verdiepingen en verondiepingen tussen 1955 en 1972 lijken waarschijnlijk op foute gegevens of verwerkingsfouten te berusten.

Vak 4; grootte 44 km^2

Alleen in de beginperiode van de verdieping (1969-1975) is op de Drempel van Baarland gebaggerd tot de Overloop van Hansweert geschikt werd als scheepvaartroute. De verruiming van Vak 4 (geulen en platen) hangt waarschijnlijk samen met het naar het zuiden verplaatsen van de Ebschaar van Everingen en het Straatje van Willem. Net als in Vak 2 en 3 is er een tendens naar toenemende plaatvolumina. Er treedt aanzanding van eb- en vloedscharen op, mogelijk veroorzaakt door het afnemen van het verval over de platen en de stroomsnelheden in deze geulen. Het totale volume in Vak 4 blijft tot 1985 redelijk constant. Hierna begint het watervolume als gevolg van het verplaatsen van de ebschaar Everdingen, het Straatje van Willem en de Zuid Everingen toe te nemen; een verruiming van het vak..

Vak 5; grootte 61 km^2

Vak 5 vertoont een licht toenemende waterinhoud. Mogelijk als gevolg van de veranderingen in het hoofdgeulensysteem gaat de getijstroom steeds meer de hoofdgeulen volgen en worden kleine nevengeulen en eb- en vloedscharen steeds minder belangrijk. Hierdoor gaan de platen steeds meer een geheel vormen en kunnen de plaatvolumina en -hoogten toenemen.

Vak 6; grootte 56 km^2

De netto inhoudsveranderingen tussen 1955 en 1993 zijn relatief klein t.o.v. de andere vakken. Wel zijn het gebied van de Drempel van Borssele (grotendeels in Vak 5) en de Schaar van de Spijkerplaat erg actief.

In 1978 is er een directe verbinding ontstaan tussen de ebschaar van de Spijkerplaat en de Pas van Terneuzen. Vanaf 1974 schuift deze kortsluitgeul naar het noorden. De verbinding van de Pas van Terneuzen, over de Drempel van Borssele, met de Honte is na 1972 verdiept.

Rond 1986 verbetert ook de verbinding tussen de Everingen en de Schaar van de Spijkerplaat.

4.3 Verdere veranderingen en ingrepen

Verdere veranderingen en ingrepen in de Westerschelde die van belang kunnen zijn voor het getij zijn o.a.:

- (eerder genoemd) de wisseling van functie van hoofdgeul-nevengeul van Middelgat naar Gat van Ossensisse - Overloop van Hansweert, waardoor de getijlooptijd naar Hansweert verkort wordt
- de aanleg van de getijvrije verbinding Antwerpen-Rijn door Zuid-Beveland ten oosten van Bath
- de vernieuwing / verplaatsing van de sluizen door het Kanaal door Zuid-Beveland bij Hansweert

Effecten of beïnvloeding van buiten het estuarium worden niet meegenomen. Zo lijkt het onwaarschijnlijk dat de herverdeling van de morfologie in de monding als gevolg van het baggeren en storten t.b.v. de geul bij Zeebrugge in de getijkomponenten van Westkapelle en Cadzand terug te vinden zijn.

4.4 Tijdschaal van instelling van een nieuw evenwicht

Bij de bepaling van het effect op het getij van ingrepen, die het bestaande evenwicht van morfologie en getij in het estuarium verstoren, speelt een belangrijke rol de tijdschaal waarop zich een nieuw evenwicht instelt. Dit kan vele jaren zijn, zoals in het geval van de grote verdieping in de jaren 1970-1975, die tot morfologische reacties heeft geleid die meer dan tien jaar aanwijsbaar waren (Langerak, mondeling). Ook speelt de ruimteschaal hier een rol, daar lokale ingrepen tot morfologische effecten (kunnen) leiden over een veel groter gebied. Een praktisch zeer wezenlijk probleem is ook dat er vrijwel permanent gebaggerd en gestort wordt, *zodat de Westerschelde in een dynamisch evenwicht verkeert.*

Waarschijnlijk zullen dus alleen *de zeer grote lokale en in de tijd geconcentreerde* ingrepen goed (significant, d.w.z. meer dan tentatief) herkenbaar zijn in de getijkomponenten.

5 Aspecten van correlatie van veranderingen in morfologie en getij

In dit hoofdstuk wordt een korte samenvatting gegeven, bedoeld als eerste aanzet voor de discussies in de vervolgfase over dit onderwerp met de morfologen die gedetailleerde kennis hebben van de Westerschelde. Deze samenspraak met, en inbreng van de veel grotere kennis en ervaring van de morfologen is noodzakelijk om dit deel verder uit te werken.

Het daadwerkelijk leggen van deze correlaties of het stellen van hypothesen hiervoor is daarmee een essentieel onderdeel van de vervolgfase.

5.1 Basismechanismes

Voor het aangeven en de kwantificering van deze relaties is een dynamische beschrijving van de getijvoortplanting via bestaande modellen zoals de DUFLOW modellen van de Westerschelde uitermate geschikt.

Primaire mechanismes van de interactie van het getij met bodem en geometrie zijn de volgende:

- Voortplanting en reflectie van de getijgolven die vanuit de Noordzee het estuarium binnenlopen. De netto getijgolf zoals die wordt waargenomen is een combinatie van een lopende en staande golf.
- Amplitudedemping als gevolg van wrijving aan de bodem, waarbij de wrijving omgekeerd evenredig is met de diepte.
- Opwekking van samengestelde getijkomponenten uit de hoofdkomponenten volgens de mechanismes van hoofdstuk 1, waarbij energie van de hoofdkomponenten overgedragen wordt aan de samengestelde componenten
- Opstuwung bij vernauwing van het estuarium, zich uitend in toenemende amplitudes en toename van het niet-lineaire gedrag, inclusief mogelijk vergroting van de voortplantingssnelheid
- Amplitudeversterking indien de looptijd van een getijkomponent door het bekken (tot waar hij theoretisch gereflecteerd wordt) dicht in de buurt ligt van een kwart van de betreffende periode.

5.2 De situatie van de Westerschelde

In de rapporten die de morfologie en morfodynamika van de Westerschelde beschrijven, wordt uitvoerig ingegaan op de relaties tussen getij (als totaalsignaal) en veranderingen in dieptes en geometrie. Hieronder wordt een aantal vertalingen van de basismechanismes gegeven voor het estuarium:

- Voor de snelheid van een getijkomponent geldt in principe dezelfde relatie als voor de snelheid van de totale getijgolf, zie e.g. (Arends, 1997), nl.

$$c_g = \sqrt{g \cdot A_s / B_b} ,$$

waarin A_s het stroomvoerend oppervlak en B_b de bergende breedte.

Een afname van de bergende breedte en/of een toename van het stroomvoerend oppervlak leidt dus tot vergroting van de voortplantingssnelheid.

- Drempels in geulen, die in een natuurlijk meanderend estuarium in principe voorkomen tussen de buitenbochten, belemmeren de getijvoortplanting. Wegnemen van deze drempels leidt tot verruiming van de geul, minder demping en dus grotere amplitude van de getijkomponenten (Gerritsen en De Jong, 1983).
- De grootte van een geul wordt bepaald door het maximale getijdebiet. Indien er een duidelijke ebgeul en vloedgeul zijn, hebben beide een groot doorstroomprofiel. Bij afname van dominantie door e.g. sedimentatie neemt het maximale getijdebiet per geul af (Gerritsen en De Jong, 1983). Een soortgelijke situatie treedt op bij functiewisselingen van hoofdgeul en nevengeul, waarbij in de overgangperiode de het maximale getijdebiet en de maximale getijsnelheid zal afnemen en zich vervolgens een nieuw evenwicht instelt, met mogelijk een andere gemiddelde getijsnelheid. Een hierbij relevant voorbeeld is de functiewisseling van Middelgat (aanvankelijk hoofdgeul) en Gat van Ossensisse - Overloop van Hansweert (later de hoofdgeul).

5.3 Mogelijkheid om relaties te poneren voor het gedrag van de getijkomponenten en veranderingen in het estuarium

De Principal Component Analysis in Appendix B en samengevat in hoofdstuk 3 heeft geleid tot een aantal observaties.

Het stellen van hypothesen voor relaties tussen de meest significante getijveranderingen en mogelijke onderliggende morfologische veranderingen wordt bemoeilijkt door enerzijds de grote fluktuaties in de tijd zoals geconstateerd bij een aantal getijkomponenten en in meer algemene zin de stabiliteit van jaar tot jaar van de opsplitsing in componenten, zelfs bij energierijke componenten als N_2 . Zoals uit de voorgaande hoofdstukken is aangegeven geldt dit behalve voor N_2 , ook voor NLK_2 , μ_2 , $2MN_2$, M_6 en ook $2MS_6$. De jaren waarin de aangegeven trendbreuken plaats vonden zouden wel scharnierpunten kunnen zijn voor vergelijking met start of beëindiging van ingrepen.

Voor dit zinvol gedaan kan worden, lijkt een nadere beschouwing en interpretatie van de tijdschalen, nauwkeurigheid en de samenvoegingseffecten van de morfologische ingrepen in het licht van de afbeelding op de drie getijtrajecten in het estuarium gewenst.

6 Conclusies en aanbevelingen; vervolgfase

De conclusies en aanbevelingen van de uitgevoerde data-analyse vallen in twee groepen uiteen: die met betrekking tot de getijrepresentatie en getijanalyse per se, en die met betrekking tot de vervolgfase.

6.1 Conclusies en aanbevelingen m.b.t. de getijrepresentatie en getijanalyse

- De data-analyse op basis van de 13 gekozen getijkomponenten laat zien dat de representatie van het getij in de vorm van sets getijkomponenten bepaald uit jaaranalyses grote fluktuaties in de tijd vertoont. Hierbij dienen drie bijdragen aan deze fluktuaties onderscheiden te worden: (1) aspecten die het gevolg zijn van keuze van de getijkomponenten die in de HATYAN analyse worden meegenomen, (2) de eigenschappen van de HATYAN analyse en het residue, en (3) de getijveranderingen zelf, die samenhangen met natuurlijke veranderingen, ingrepen en externe aansturing.
- De getijkomponent NLK_2 (hoekfrequentie 27.8861 o/uur) in jaaranalyses is niet stabiel. Aanbevolen wordt in de standaard getijanalyse op basis van 1 jaar data de getijkomponent NLK_2 te vervangen door de component $2N_2$ of $2NM_2$ (hoekfrequentie 27.8954 o/uur), die daarvan scheidbaar is als de tijdreeks 4.42 jaar of langer is. Deze lijkt meer energie te bevatten.
- M_2-N_2 (leidend tot $2NM_2$) heeft een periode van 27.55 dagen. Dit komt overeen met 53.24 maal de gemiddelde tijdsduur tussen opvolgende hoogwaters. Aanbevolen wordt te onderzoeken of dit een van de oorzaken is van het zogenaamde "Vlissingenprobleem" en of andere bekende lange periodiciteiten (Wüst, 1997) verklaard kunnen worden via dit type componenten.
- Theoretisch is de geïdentificeerde energie op de frequenties 27.88 en 29.43 o/uur toe te schrijven aan respectievelijk μ_2 (astronomische constituent) en $2MS_2$ (samengestelde component) en L_2 (astronomische constituent) en $2MN_2$ (samengestelde component). Het verdient aanbeveling deze componenten na analyse formeel te scheiden, gebruik makend van het continuïteitsprincipe voor de primaire astronomische componenten. Dit is een lineair probleem met vier vergelijkingen en vier onbekenden.
- De amplitudes van μ_2 en $2MN_2$ vertonen beide sterke periodieke fluktuaties met een periode van (waarschijnlijk) 4.42 jaar. Dit vertoont sterke analogie met het "54-55 (ofwel NLK_2-2N_2)" effect enkele jaren geleden. Bij voorspellingen van het tijverschil in een Oosterschelde toepassing bleken periodiciteiten pas te verdwijnen na toevoeging van een extra component direct naast een bekende component. Hierbij werd in de HATYAN analyses naast de standaard geïdentificeerde component een naburige component niet meegenomen. De mogelijkheid van introductie van een theoretisch ook aanwezige component naast $2MN_2$ die dit zou kunnen veroorzaken (deze is nu niet bij WL en RWS standaard identificeerbaar) dient onderzocht te worden.
- Ook de energierijke getijkomponent N_2 die in de jaaranalyses formeel goed te scheiden is van de component v_2 (verschilperiode 6 maanden) vertoont een periodiciteit van 4.5 jaar, met name in de fases. Ook de amplitudes van M_6 vertonen deze periodiciteit. Ook

hier dient de mogelijkheid van aanwezige modulaties door niet voorgeschreven componenten onderzocht te worden.

- Het is mogelijk dat er meerdere componenten zijn die dit type variabiliteit in de tijd geven, die echter niet in de huidige set van 13 componenten zijn opgenomen. Aanbevolen wordt daarom om in zijn algemeenheid op niveau van de getijanalyse te kijken of bovenstaande aspecten te verbeteren zijn, bijvoorbeeld door de analyseperiode tot nog meer jaren uit te breiden (e.g. 5 of 10; dit gaat ten koste van herkenbaarheid van veranderingen in het systeem), de componentenkeuze uit te breiden, of een voorfiltering van de getijwaarnemingen met een Godin filter (verlaging van de residue energie, waarbij dit ook beter aan de theoretische aanname van witte ruis voldoet); zie bijvoorbeeld Maas (1980), en Scheffers (1981).
- De Principal Component Analysis geeft een goede mogelijkheid om per getijkomponent de variantie in de P=12-dimensionale ruimte van amplitude en fase in de zes stations, gegeven de N=27 waarnemingen (1971-1997) op te splitsen en te kwantificeren naar onderling loodrechte hoofdrichtingen. De elementen van de richtingsvectoren en hun teken geven aan hoe zwaar de stations doorklinken en of de correlaties positief of juist negatief zijn. Door per station van de amplitudes en fases de PCA componenten af te trekken, wordt steeds meer ensemblegedrag verwijderd en lokaal gedrag zichtbaar gemaakt.
- De opsomming in paragraaf 3.2.4 bevat de meest kenmerkende tijdstippen van in de tijd geconcentreerde getijverschijnselen, trends en trendbreuken.

6.2 Conclusies en aanbevelingen met betrekking tot de vervolgfase.

- Het huidige rapport geeft resultaten en observaties in termen van gedrag van getijkomponenten en hierbij behorende PCA hoofdkomponenten, in de tijd, die een nieuwe kijk geeft op het getijgedrag van de Westerschelde.
- In Hoofdstuk 4 en 5 wordt een samenvatting gegeven van de meest kenmerkende morfologieveranderingen en de bijbehorende tijdstippen, plus de mechanismes van de respons van het getij op karakteristieke estuariumeigenschappen.
- (Eerste hypothese) Op basis van de huidige gegevens en analyse lijkt de zeer sterke afname van de fase in de getijkomponenten M_2 , S_2 , M_4 , MS_4 , MN_4 , M_6 , $2MS_6$, $2MN_6$, $2MN_2$ in de periode 1979/80-1982 tussen Terneuzen en Hansweert een direct gevolg van de geulwisseling Middelgat - Overloop van Hansweert in lodingsvak 3, die het getijtraject duidelijk heeft verkort.
- Aanbevolen wordt in de vervolgfase voldoende ruimte te creëren voor verdere interpretatie van de resultaten van deze data-analyse en het op basis hiervan stellen van hypothesen voor de relatie morfologie/ingrepen en getijaanpassing. Deze dienen vervolgens getoetst te worden via passende DUFLOW berekeningen. De interpretatie en hypothese slag dient uitgevoerd te worden in nauw overleg met, of gezamenlijk met de morfologen die ervaring hebben met de Westerschelde problematiek.
- Voor correlatie met getijgegevens (in het frequentiedomein) wordt aanbevolen na te gaan hoe de gegevens optimaal dienen te worden samengevoegd opdat een goede afbeelding op de getijstations, c.q. de getijtrajecten mogelijk is.
- Aanbevolen wordt hierbij een schatting te maken van de nauwkeurigheid van de resultaten, en de tijd- en ruimteschalen, omdat de onnauwkeurigheden hierin, en de grote

ruis in de getijkomponenten het anders wellicht moeilijk maakt relaties te leggen met getijveranderingen, verder dan de zeer sterk in de tijd geconcentreerde ingrepen.

- De samenvoeging van verdere interpretatie tot en met de evaluatie van de DUFLOW berekeningen in een (1) vervolgfase is dienstbaar aan een optimale uitwerking van de gegevens.

7 Referenties

Arends, A.A.

Inventarisatie van de huidige kennis over de veiligheid tegen overstromen van de Westerschelde

Rijkswaterstaat, Werkdokument RIKZ/AB-97.857x, December 1997

Dillingh, D. en P.F. Heinen

Zeespiegelstijging, getijverandering en deltaveiligheid.

Rijkswaterstaat, Rapport RIKZ-94.026, 1994.

Gerritsen, F, en H. de Jong

Stabiliteit van doorstroomprofielen in de Westerschelde

Rijkswaterstaat Nota WWKZ-83.V008, november 1983

Haan, C.T.

Statistical Methods in Hydrology.

The Iowa State University Press , Ames (Iowa), 1975.

Maas, L.R.M.

Verbetering van een harmonische getijvoorspelling te Vlissingen door correctie voor windopzet

RUU, IMOU rapport V80-1, 56 p. : fig., tab., ref.

Utrecht : RU Utrecht, Instituut voor Meteorologie en Oceanografie, 1980 (jan.).

Mol, G., Berchum, A.M. van, en G.M. Krijger

De toestand van de Westerschelde aan het begin van de verdieping 48'43'

Rijkswaterstaat, Rapport RIKZ-97.049, Middelburg, 1997

Parker, B.B.

The relative importance of the various non-linear mechanisms in a wide range of tidal interactions. pp. 237 - 268 in:

B.B. Parker, ed. Tidal Hydrodynamics., John Wiley&Sons, New York, 1991

Pielou, E.C.

The interpretation of Ecological Data. A primer on Classification and Ordination.

John Wiley & Sons, New York, 1984

Scheffers, M.B.A.M.

Interactie tussen het astronomische getij en de windopzet te Vlissingen

RUU, IMOU rapport V83-5, 52 p. : fig., tab., ref.

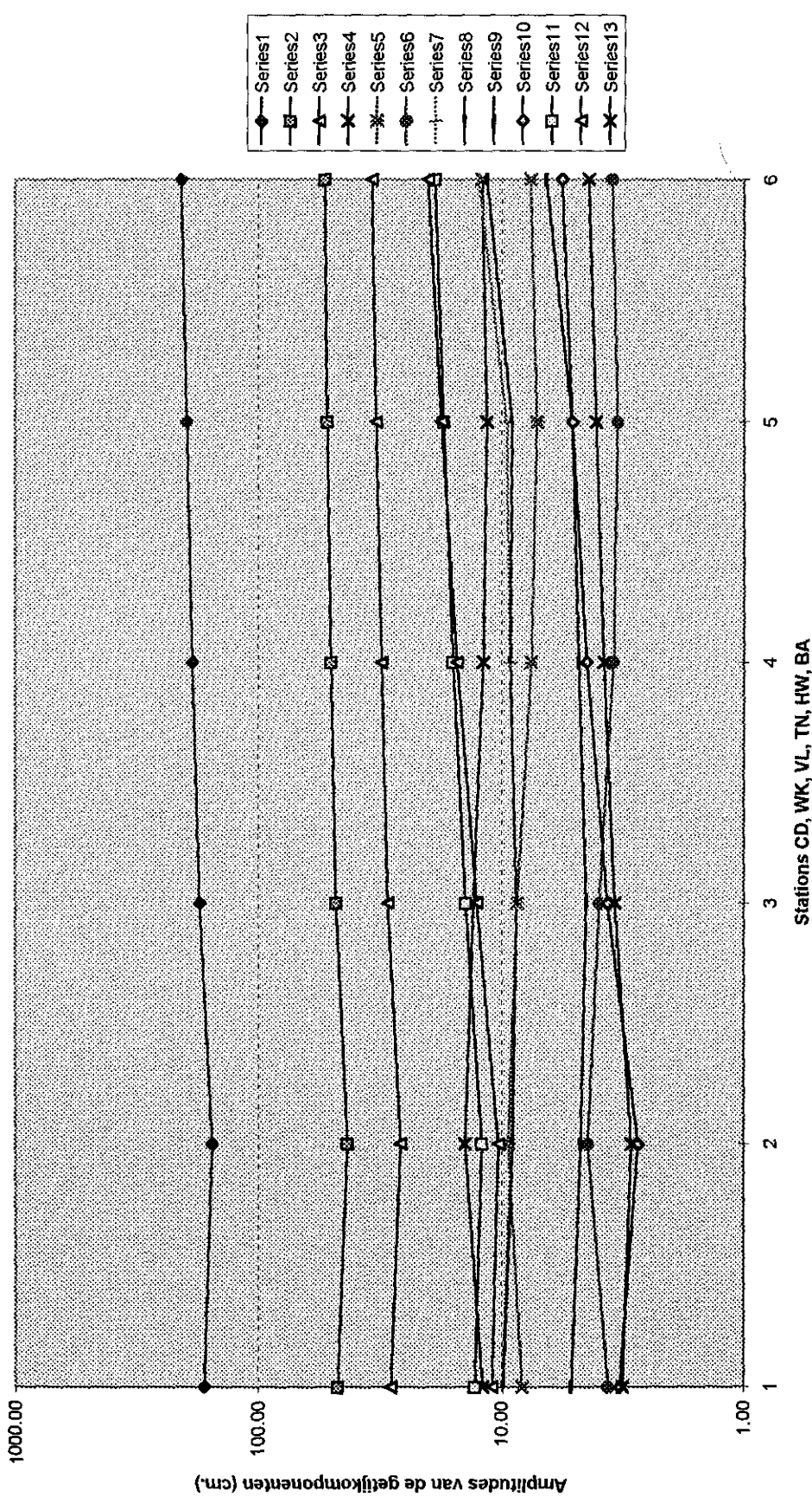
Utrecht : Rijksuniversiteit Utrecht, Instituut voor Meteorologie en Oceanografie, 1981

Uit den Bogaard, L.A.
Resultaten Zandbalans Westerschelde 1955-1993
IMAU rapport R95-08, 1995

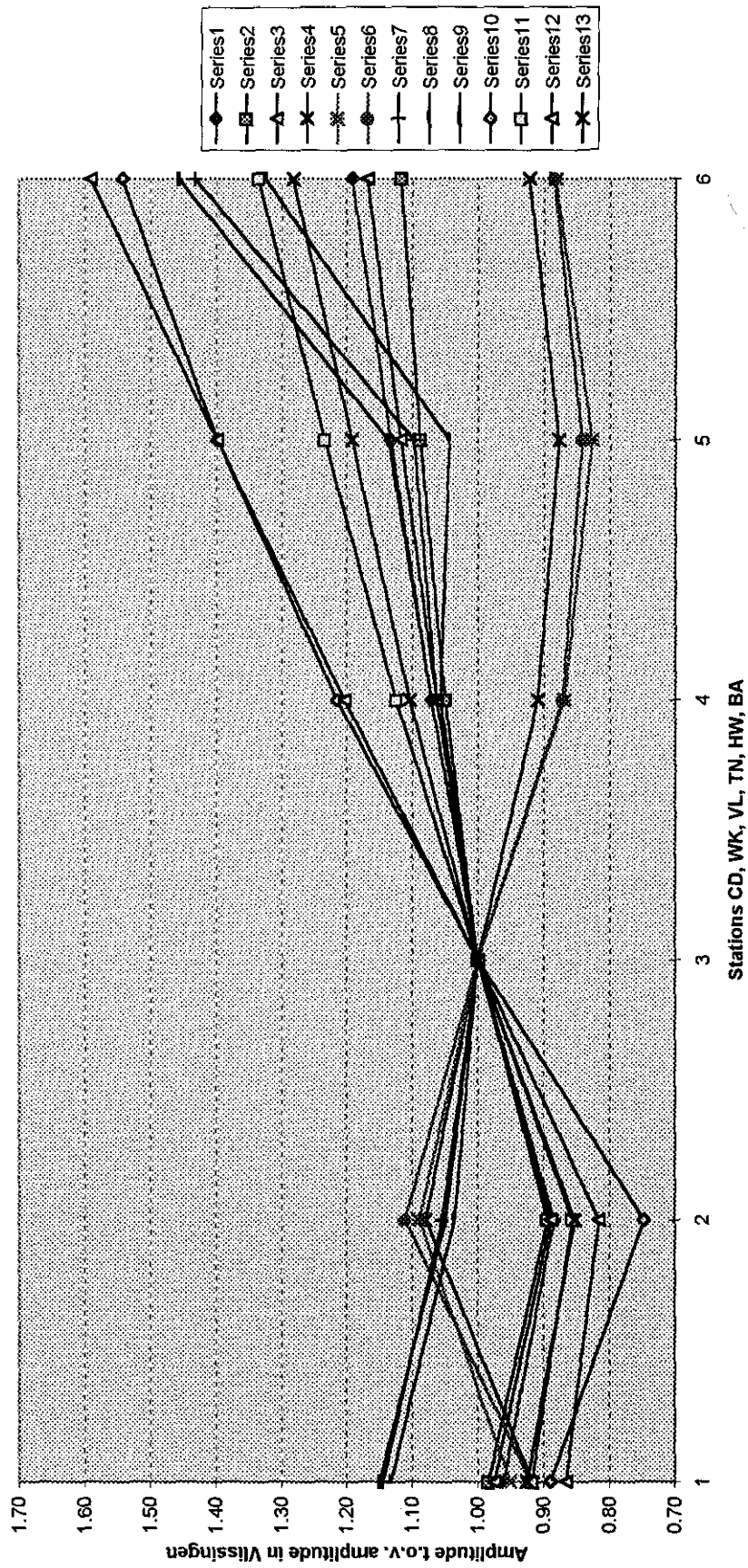
Vroon, J., C. Storm, J. Coosen
Westerschelde, stram of struis?
Rijkswaterstaat, Rapport RIKZ-97.023, 1997

Wüst, J.C.
Verschillen tussen astronomisch en opgetreden getij.
Rijkswaterstaat Directie Noordzee, Interne notitie, 24 juli 1997, 9 pagina's

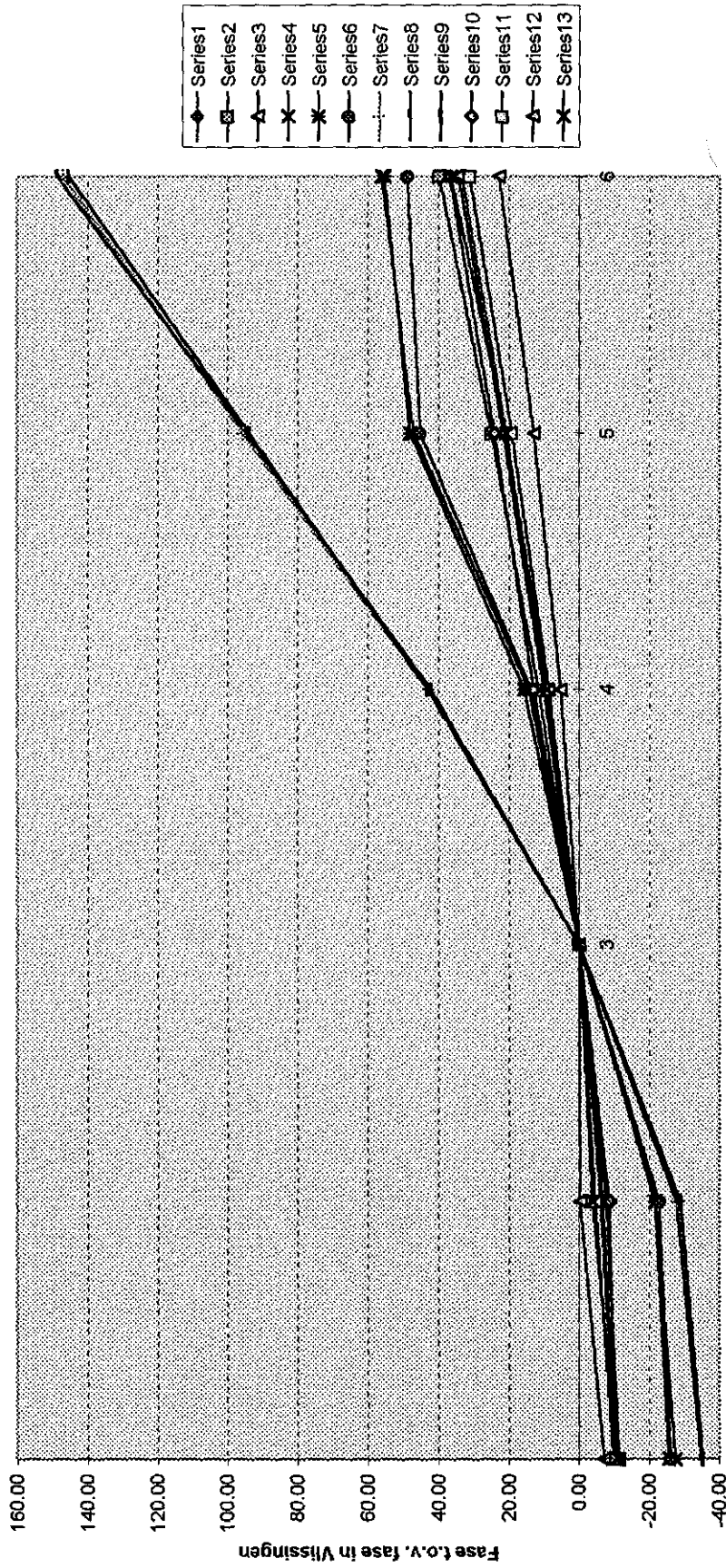
Ruimtelijk amplitudegedrag van de 13 getijkcomponenten; jaar 1997



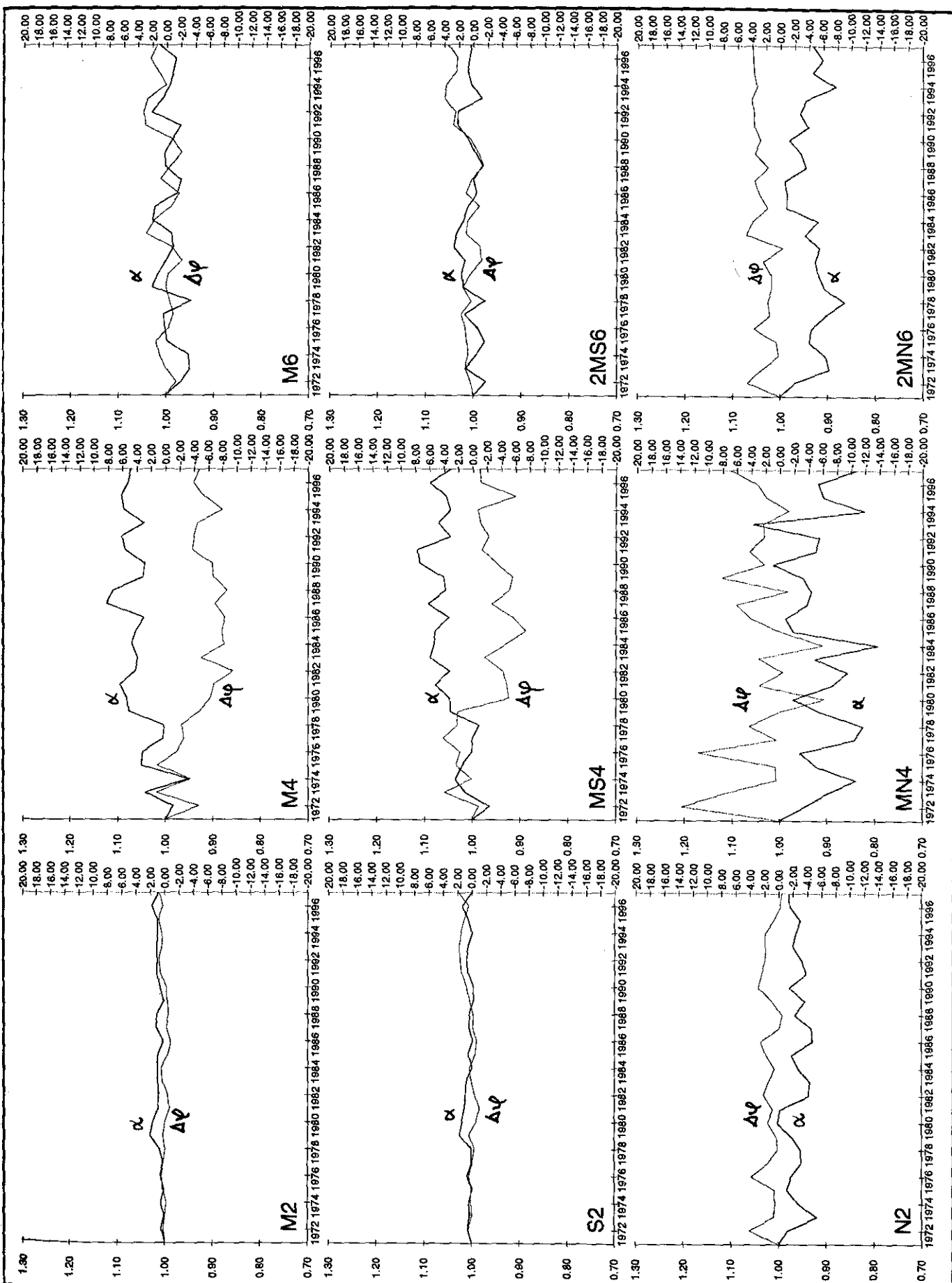
Ruimtelijk amplitudegedrag van de 13 getijekomponenten; jaar 1997



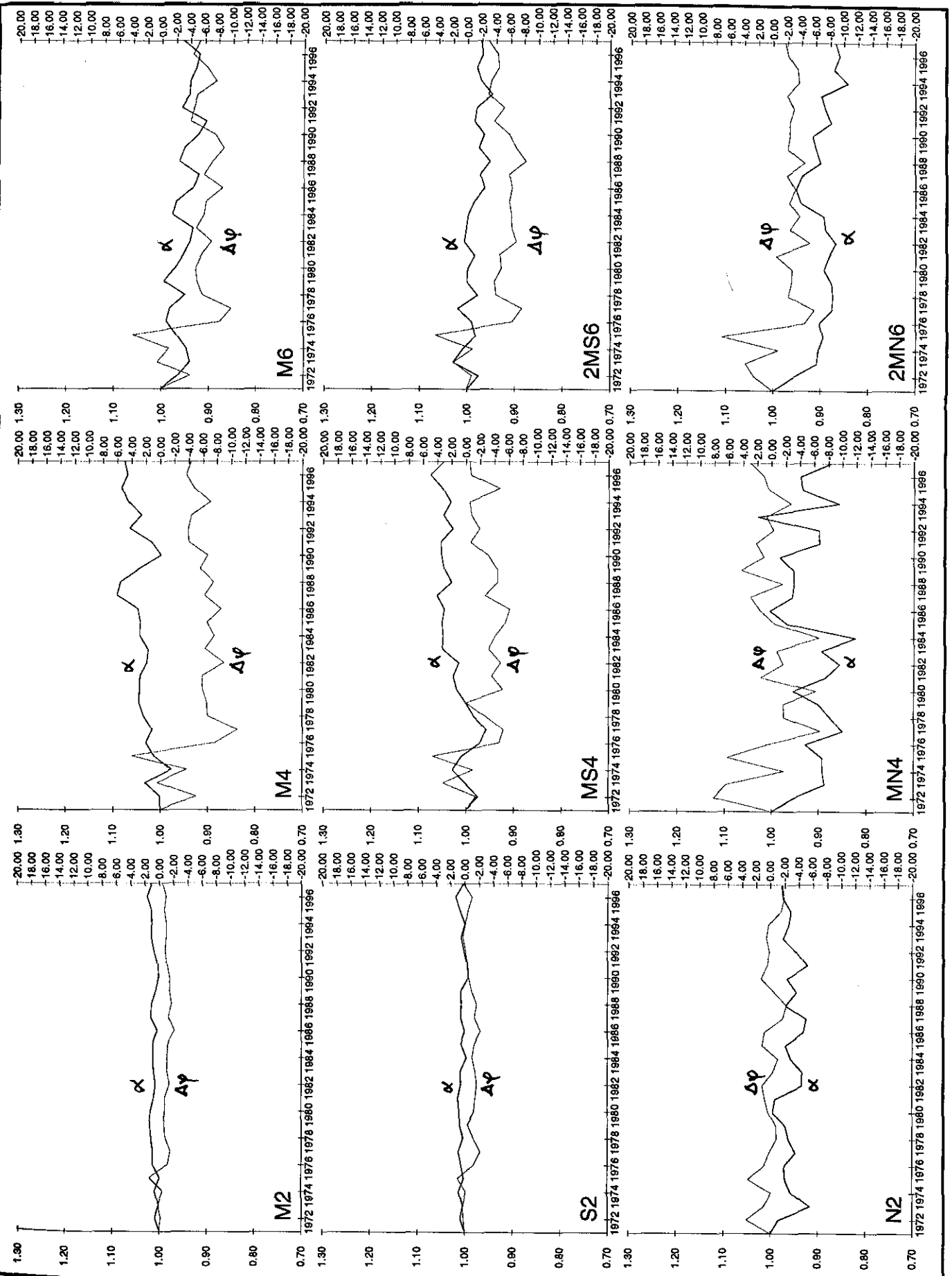
Ruimtelijk fasegedrag van de 13 getijkomponenten; jaar 1997



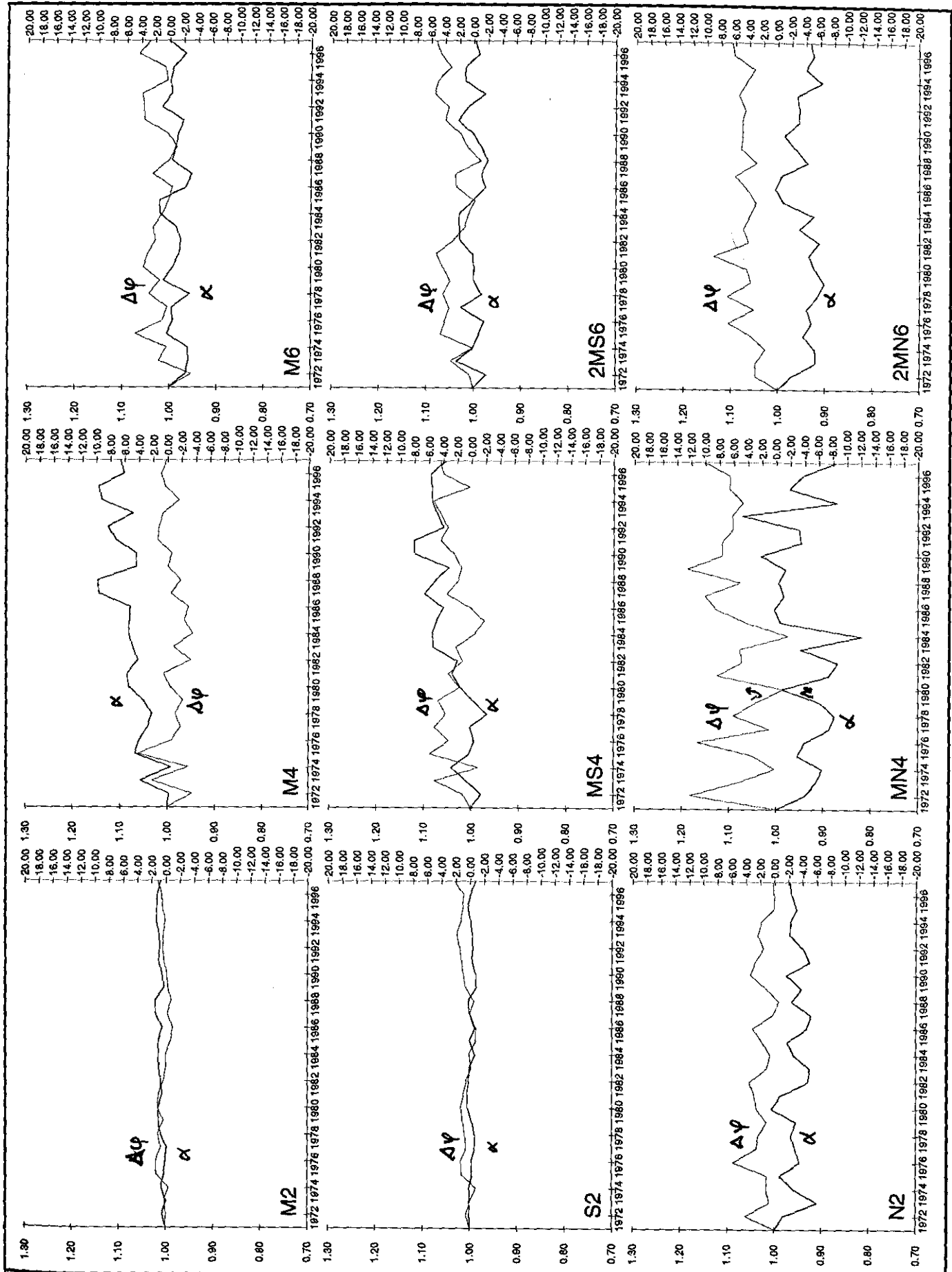
Stations CD, WK, VL, TN, HW, BA



Station : Cadzand



Station : Westkapelle

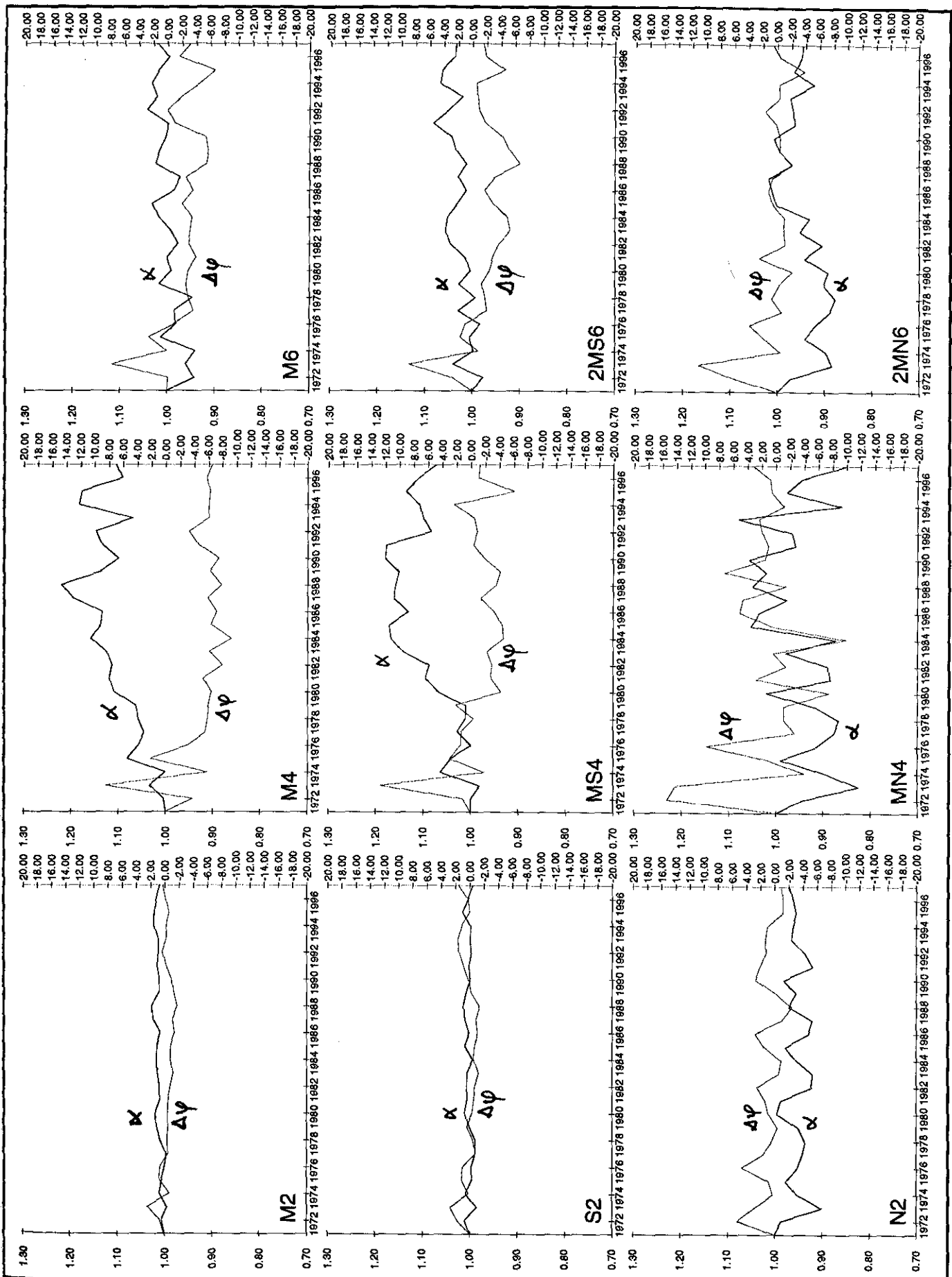


Station : Vlissingen

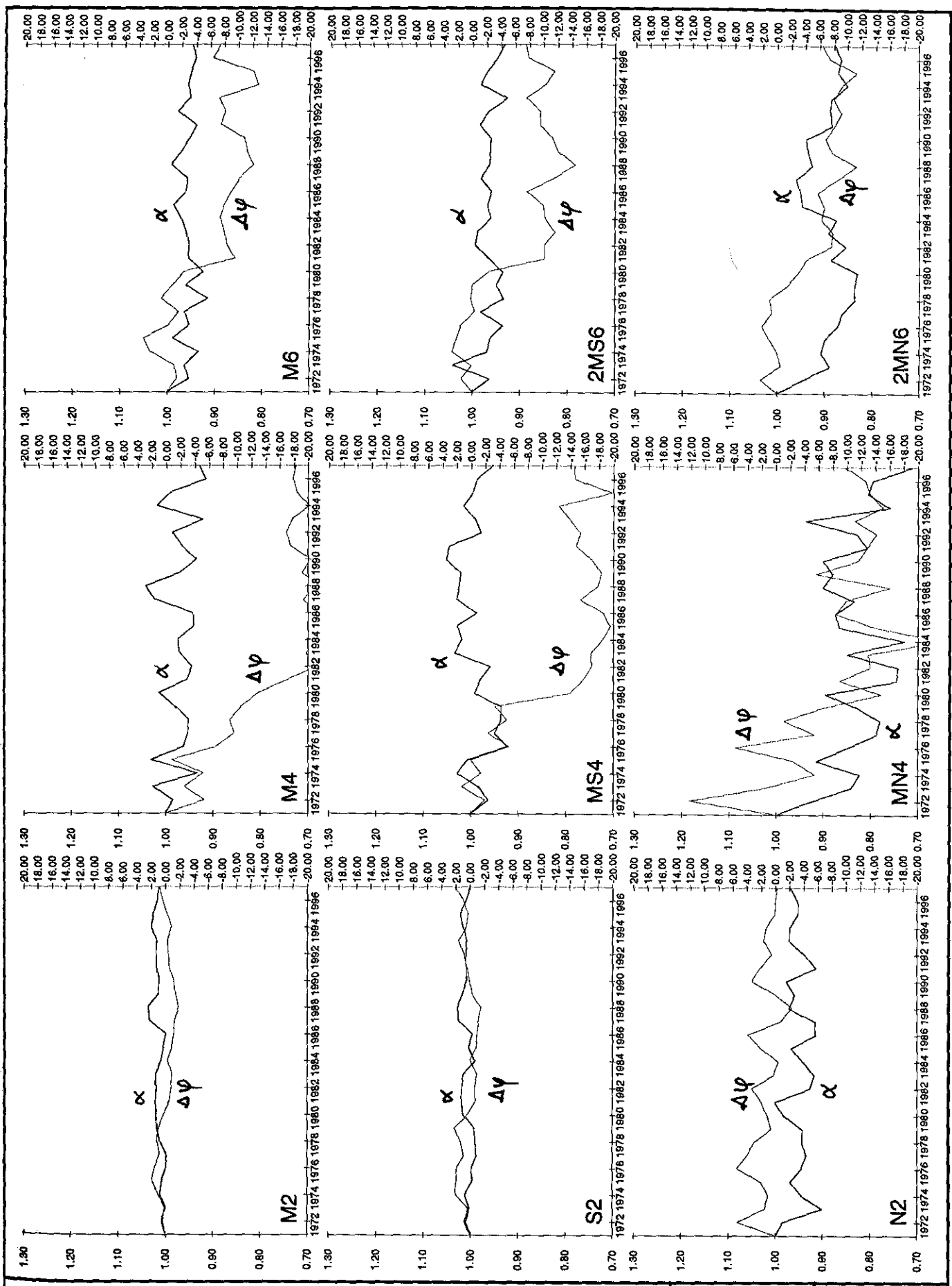
WLIDelft Hydraulics

Z-2591

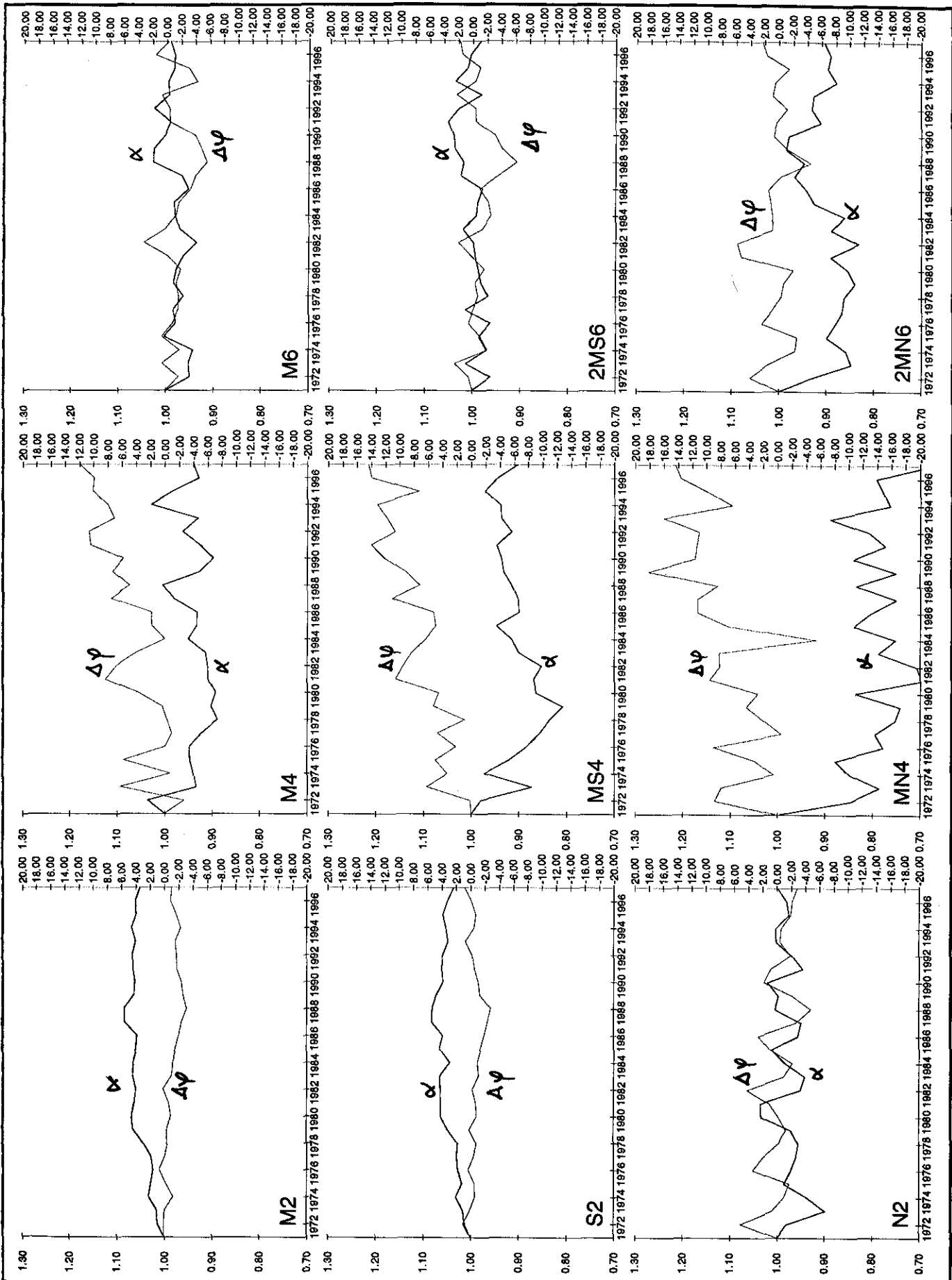
Fig. 2.5 c



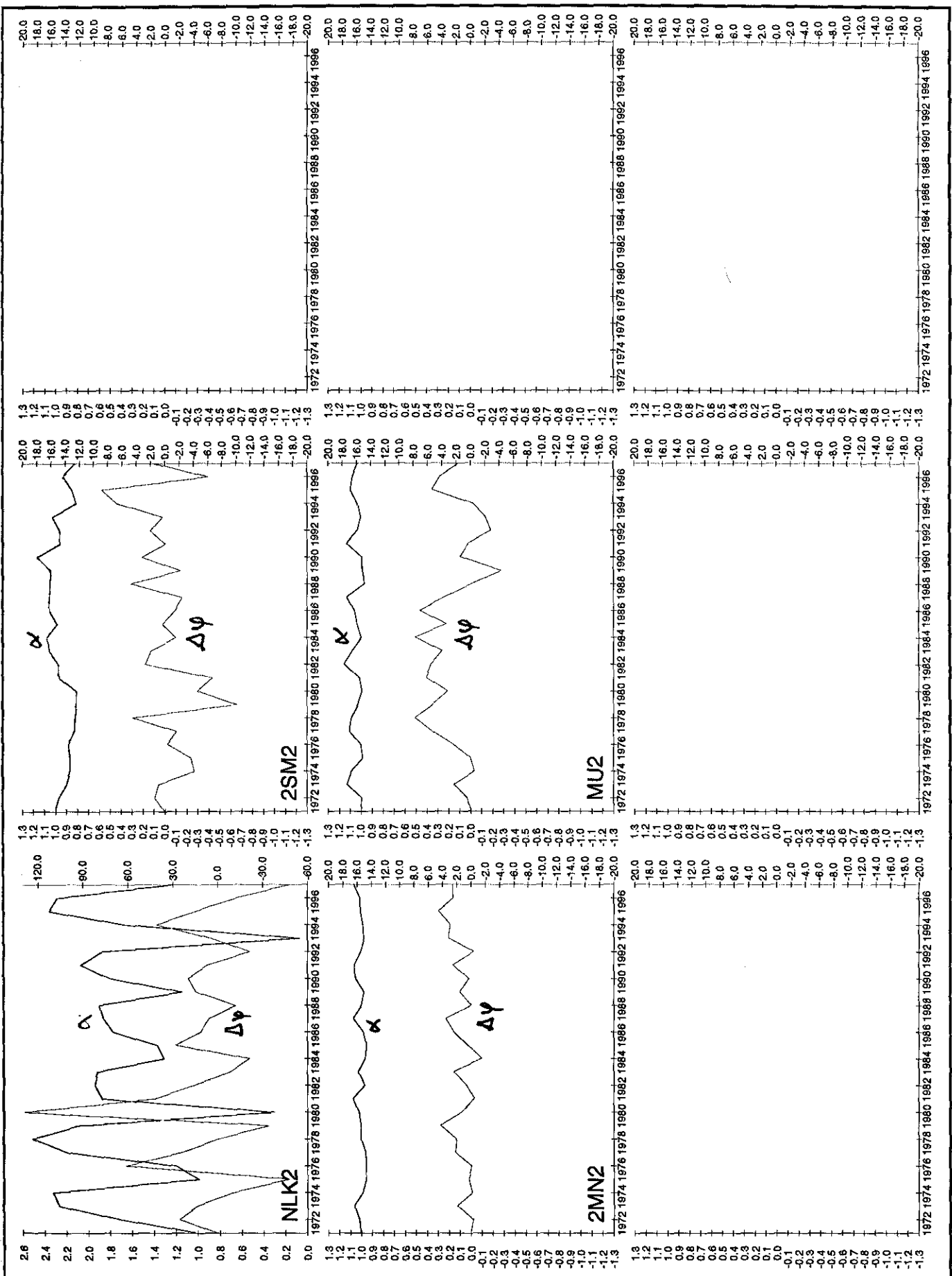
Station : Terneuzen



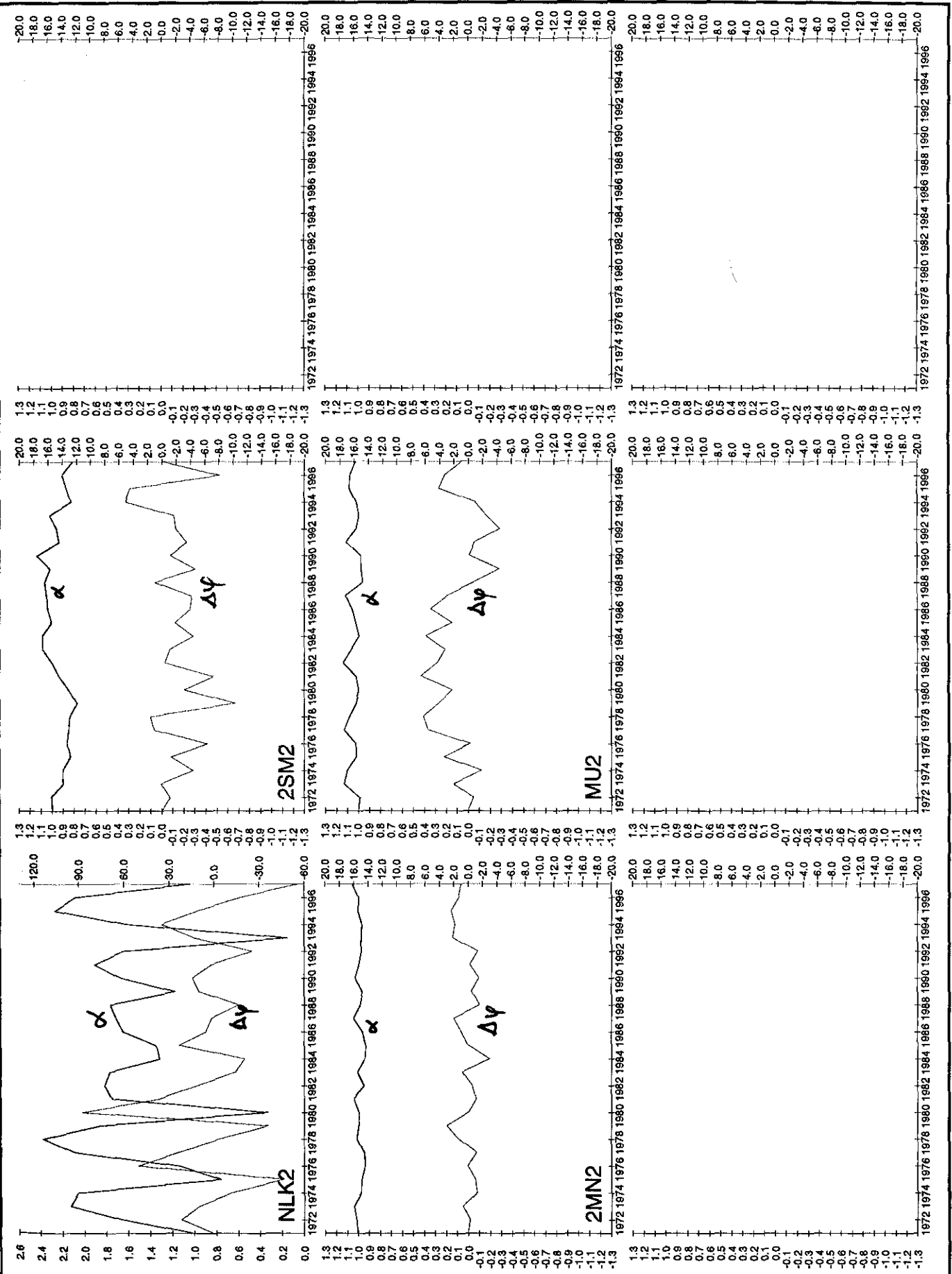
Station : Hansweert



Station : Bath



Station : Cadzand



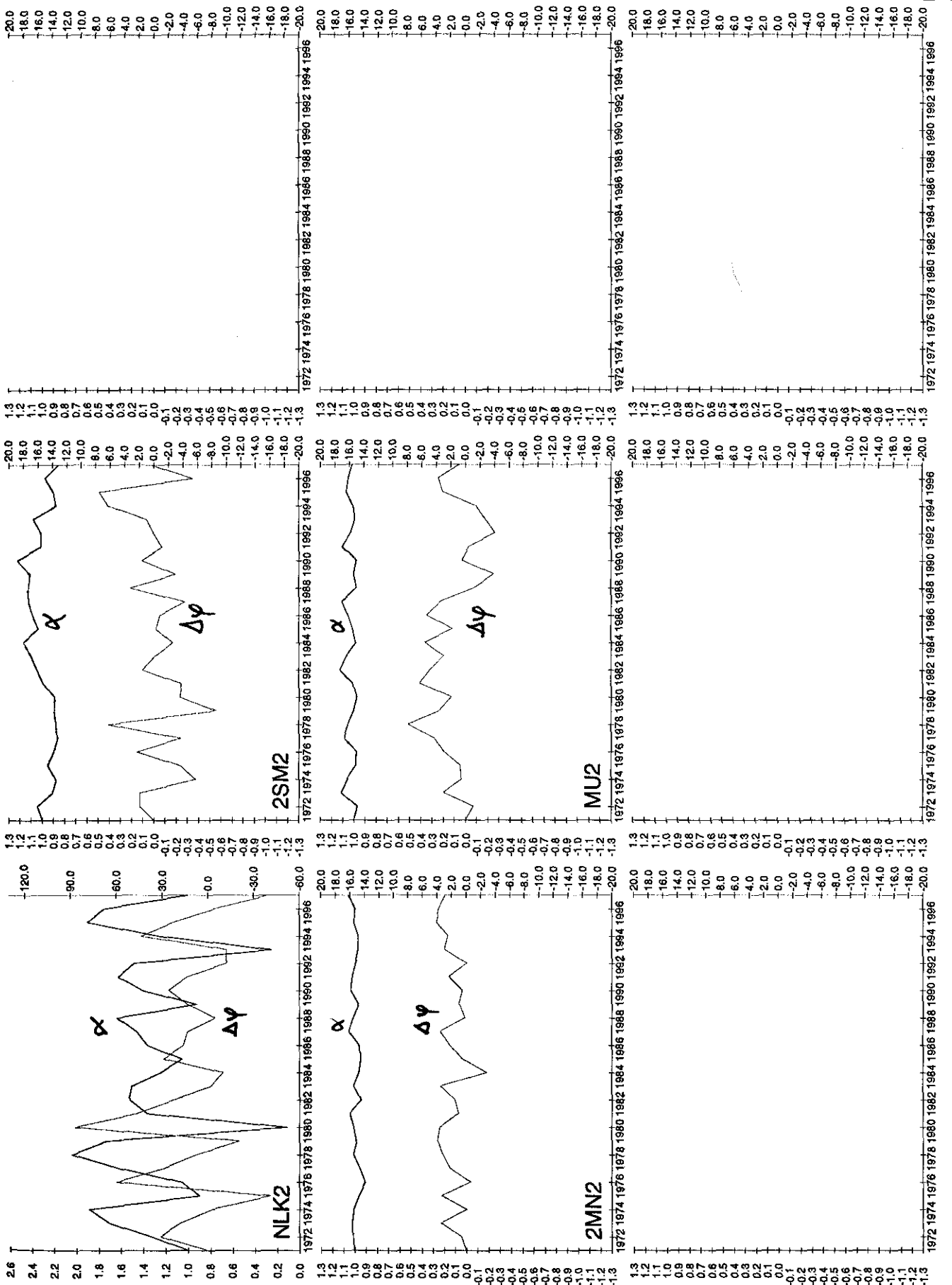
Station : Westkapelle

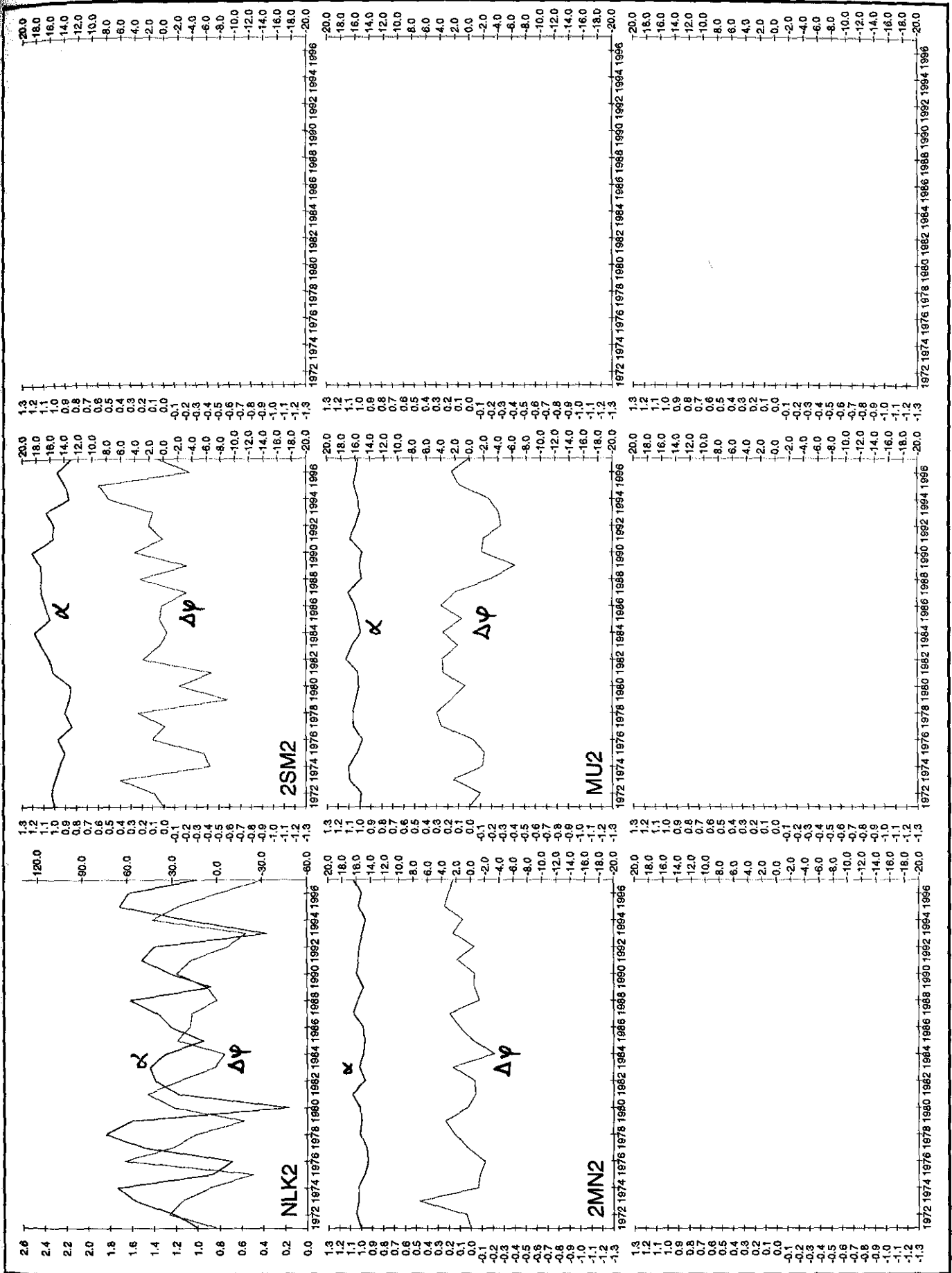
Station : Vlissingen

WLIDelft Hydraulics

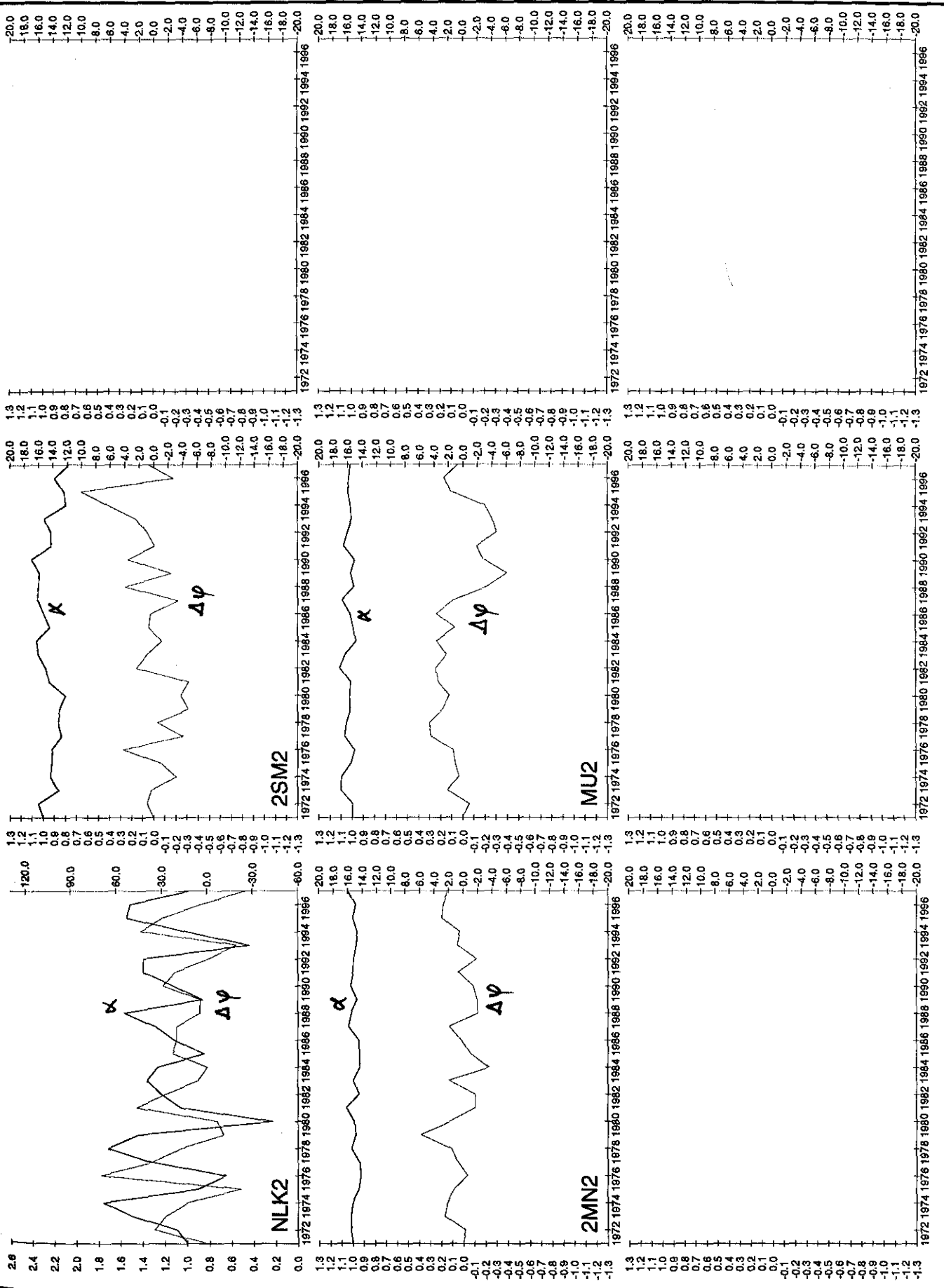
Z-2591

Fig. 2.6 c

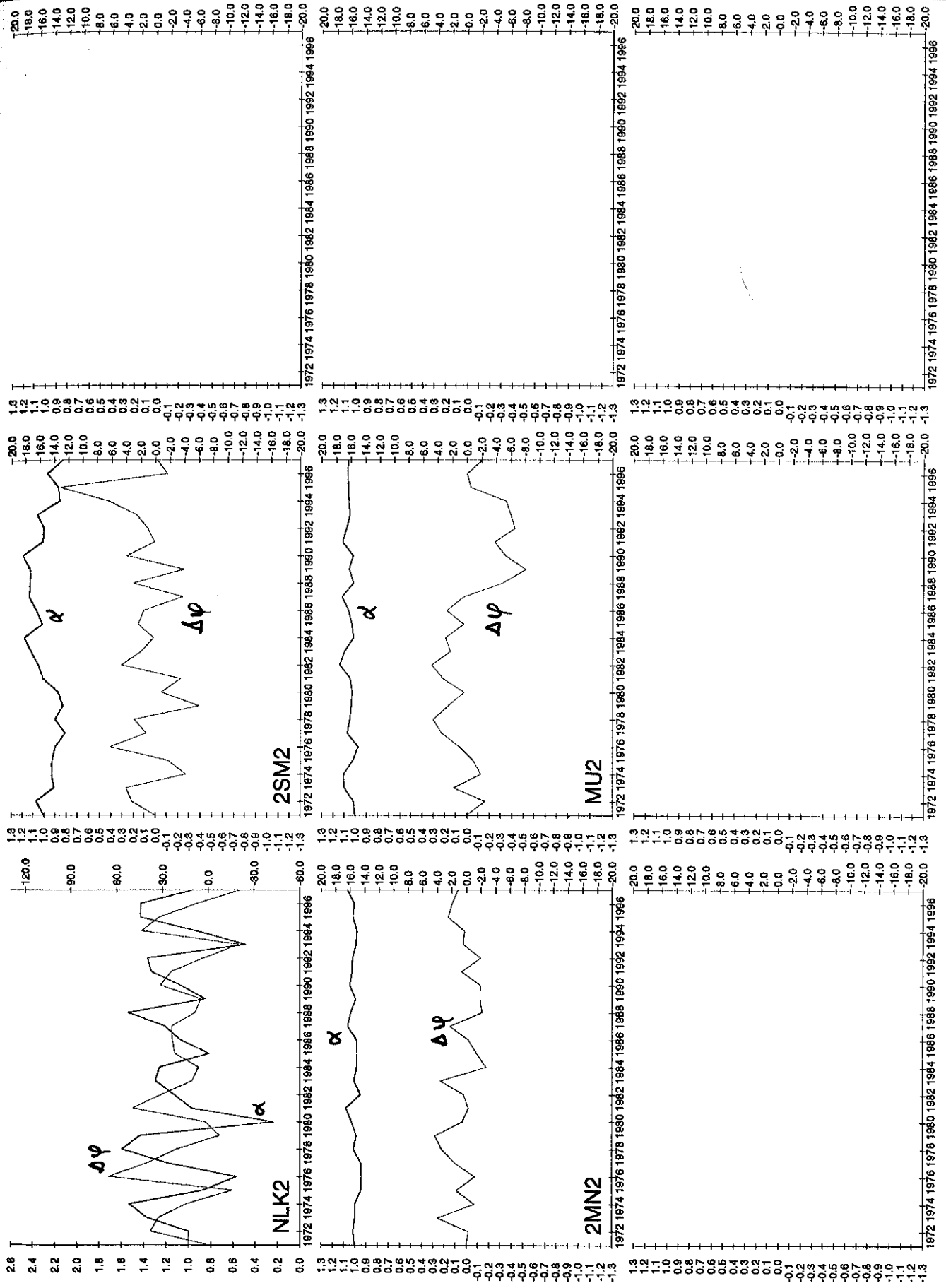




Station : Terneuzen



Station : Hansweert



Station : Bath

A Introduction to PCA

Motivation:

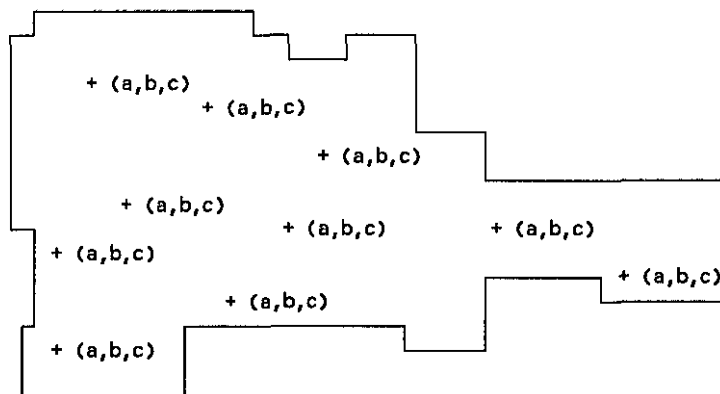
The use of auto and cross-correlation functions to determine the dependency of two series or samples is well-known. It is possible to generalise the definition of the cross-correlation such that it involves more than two series. In this way it can be used as a multivariate analysis technique to examine dependencies in the joint evolution of three or more series.

This form has a serious drawback since for accurate estimates of the higher order correlation functions a very large number of samples of the series is required. This number increases significantly with the order of the correlation function.

In this Appendix, Principle Components will be introduced as an alternative multivariate technique for the detection of dependencies in the structure of three or more samples or series. The technique and its interpretation is summarised in the following section. For more information and examples of applications one is referred to, e.g., Haan (1975).

Technique and interpretation:

The idea of principal components is as follows. Suppose that for P variables N observations are available. Such a data set may e.g. originate from some water system where at N locations P (physical, chemical or biological) parameters are observed. In a figure with $N=10$ observation points, and $P=3$ measured variables per location this may look like:



The three variables (a, b, c) that are observed in each location may be correlated, i.e. information on one or a subset of the variables is also contained in the other variables. Often this can be recognised from scatter plots of the data-set. In this case this would mean that all observed triplets $\{(a_n, b_n, c_n) \mid n=1,2, \dots, N\}$ are plotted with some mark (e.g. + or \times) in an (x, y, z) -frame. If the marks tend to span up a sub-space of lower dimension than three, there is evidence that the a, b, c -variables are dependent. For example, if the samples are concentrated near a two dimensional plane, a relation of the form $\alpha a + \beta b + \gamma c = \zeta$ holds (approximately) for

the data. In fact it is then possible to remove one of the variables within the triplet (a, b, c) without much loss of information. On the other hand if N-samples show much scatter and form a set that extends over all three dimensions, the a,b,c-variables are likely to be independent. In that case none of the variables can be discarded without a significant loss of information.

To find out the degree of dependency within the variables a transformation of the data should be applied leading to a set of components that are mutually 'orthogonal' (i.e. not correlated). For each component the 'energy' must be determined. Here energy stands for 'variance'. A larger 'energy' of a component means that it contributes more to the total energy of the system (=total variance present in the data set), and as a result this component is more 'important' for the description of the data set. On the basis of their energy the components can thus be ranked. In this ranking the 'first' components give the directions in the data-space with the largest variability in the data, whereas the 'last' components are in directions with the smallest variations.

As an example, consider a two dimensional data set (P=2) in the form of a set of (x_n, y_n) -samples. Then the first component will be along the direction of the linear regression line, whereas the second component will be perpendicular to the regression line. The more the (x_n, y_n) -samples are on or near a straight line, the less the importance of the second component will be for the description of the data. In the extreme case that all samples are exactly on a straight line, the second component can even be omitted. In this way it can be verified that the x_n and y_n are mutually dependent.

For the case of N-samples of a P-dimensional vector variable, the generalisation of this approach leads to a *Principal Components Analysis* (PCA) of the data. Some technical details of PCA are summarised below.

Given are N observations (at N locations within some area of interest, e.g. the Western Scheldt) of a P-variate variable $x := \{x_1, x_2, \dots, x_p\}$. Another case could be N annual observations of a tidal value (amplitude, phase or a combination) at P locations in the Estuary. These observations can be put in an observation matrix X where the n-th row gives the observations $\{x_1, x_2, \dots, x_p\}_n$ at the n-th location/year:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1p} & \dots & x_{1P} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2p} & \dots & x_{2P} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \dots & x_{3p} & \dots & x_{3P} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{N1} & x_{N2} & x_{N3} & \dots & x_{Np} & \dots & x_{NP} \end{pmatrix}$$

(A.1)

Matrix X is thus of size N×P and its value x_{np} at entry (n,p) gives the p-th variable as observed at the n-th position/in the n-th year. It is assumed that the variables are corrected for their means (over the rows), i.e. a pre-processing of the form

$$\langle x_p \rangle := \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_{np}$$

$$x_{np} \rightarrow x_{np} - \langle x_p \rangle$$

(A.2)

has been applied. Often a scaling is also applied such that all components of x have unit variance. Thus:

$$\langle x_p \rangle := \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_{np}$$

$$\sigma_p := \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N \left(x_{np} - \langle x_p \rangle \right)^2}$$

$$x_{np} \rightarrow \frac{x_{np} - \langle x_p \rangle}{\sigma_p}$$

(A.3)

The so formed *residuals* will then be subjected to the analysis described below. For these residuals the notation X is maintained, although the residuals are not the original observations anymore.

The x-values may be mutually correlated. The correlation is described by the covariance matrix S. S is an P×P matrix where entry s_{pq} is the covariance of the p-th and q-th variables, i.e. x_p and x_q respectively.

S can be estimated from the data matrix X by:

$$S = \left[\text{cov ar}[x_p, x_q] \right]_{p,q=1}^P \approx \left[\frac{1}{N-1} \left(\sum_{n=1}^N x_{np} x_{nq} \right) \right]_{p,q=1}^P = \frac{1}{N-1} (X^T \cdot X)$$

(A.4)

The total system variance V is defined as the sum of the variances of the original variables, and can be estimated as

$$V = \sum_{p=1}^P \text{Var}[x_p] = \sum_{p=1}^P s_{pp} = \text{Trace}[S]$$

(A.5)

In the *first* step of PCA a *linear combination* of the x 's must be found that explains a maximal part of the total system variance. This means that numbers $\{\alpha_{1p}\}_{p=1}^P$ must be found such that the 'component' z_1 defined by

$$z_1 = \alpha_{11} \cdot x_1 + \alpha_{12} \cdot x_2 + \dots + \alpha_{1p} \cdot x_p + \dots + \alpha_{1P} \cdot x_P \quad (A.6)$$

has maximal variance. To obtain a unique definition of z_1 , and make the corresponding maximisation problem meaningful, a constraint must be applied in the form of a normalisation of the α_{1p} 's: $\sum_{p=1}^P |\alpha_{1p}|^2 = 1$.

In the *second* step a new *linear combination* of the x 's must be found that explains most of the system variance that remains after 'correction' for the first component z_1 . This means that numbers $\{\alpha_{2p}\}_{p=1}^P$ must be found such that the 'component' z_2 defined by

$$z_2 = \alpha_{21} \cdot x_1 + \alpha_{22} \cdot x_2 + \dots + \alpha_{2p} \cdot x_p + \dots + \alpha_{2P} \cdot x_P \quad (A.7)$$

has maximal variance, with the following two constraints:

.. a normalisation constraint on the α 's:

$$\sum_{p=1}^P |\alpha_{2p}|^2 = 1 \quad (A.8a)$$

.. z_2 must orthogonal with respect to z_1 :

$$\text{covar}[z_1, z_2] = \langle z_1 z_2 \rangle - \langle z_1 \rangle \cdot \langle z_2 \rangle = 0 \quad (A.8b)$$

As a result of (A.8b) the first 'direction' (given by the α_{1p} in Eq.A.6) is excluded.

In the *third, fourth,, P-th* step this procedure is repeated and in each step j a new combination

$$z_j = \alpha_{j1} \cdot x_1 + \alpha_{j2} \cdot x_2 + \dots + \alpha_{jp} \cdot x_p + \dots + \alpha_{jP} \cdot x_P \quad (A.9)$$

of the x 's must be found that is orthogonal to all the preceding z_i -components: $\text{covar}[z_i, z_j] = 0$ for $i < j$, and the α 's must be normalised as before.

If this procedure is properly worked out the following results are found.

.. The vector $\vec{\alpha}_j := (\alpha_{j1}, \alpha_{j2}, \alpha_{j3}, \dots, \alpha_{jP})^T$, defined in the expression of the j -th component z_j , is an eigenvector of the covariance matrix S . The corresponding eigenvalue is λ_j , thus $S \vec{\alpha}_j = \lambda_j \vec{\alpha}_j$.

The α_{pq} form an $P \times P$ matrix, which will be written as A .
 As will be clear from the 'theory' outlined above, matrix A governs the *linear* transformation of correlated data-samples $\{x_p\}_{p=1}^P$ to the non-correlated components $\{z_p\}_{p=1}^P$:

$$(x_1, x_2, \dots, x_p, \dots, x_P) \rightarrow z_p, \quad z_p = \sum_{q=1}^P \alpha_{pq} x_q, \quad (p = 1, 2, \dots, P) \tag{A.10}$$

With matrix A , the original data set X ($N \times P$ matrix) is then transformed into a data set Z ($N \times P$ matrix) according to the matrix-multiplication $Z = XA$. The P -columns of Z form then the *principal components* of the data set X . The number of principle components is thus equal to the number of observed variables per location.

The eigenvalues satisfy $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3 \geq \lambda_4 \geq \dots \lambda_p \geq 0$.

If $N < P$, i.e. there are less locations than samples $\{x_p\}_{p=1}^P$ per location, the eigenvalues $\lambda_{N+1}, \lambda_{N+2}, \dots, \lambda_p$ will be zero, and there will be N principal components instead of P .

$\text{Var}[z_p] = \lambda_p$ ($1 \leq p \leq P$), so the eigenvalues of the covariance matrix S correspond to the variance ('energy') of the principal components. Moreover:

$$\sum_{p=1}^P \lambda_p = \text{Trace}[S] = V \tag{A.11}$$

so the total variance in the z -representation is the same as the total system variance of the original data set.

Since the z_i are *orthogonal* the covariance matrix of the vector $z := (z_1, z_2, \dots, z_P)$ is diagonal with the λ_i at the diagonal entries.

$$S = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ & & & \dots & & & \\ & & & & & & \\ 0 & & & & & & \lambda_P \end{pmatrix} \tag{A.12}$$

The last two mentioned properties can be used to extract dominant features of the data set. In fact the first principal component explains a fraction

$$\frac{\lambda_1}{\sum_{p=1}^P \lambda_p}$$

(A.13)

of the total variance, the first two principal components explain a fraction

$$\frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\sum_{p=1}^P \lambda_p}$$

(A.14)

of the total variance, etc.

In practice it often happens that the first four or five principal components explain $\geq 95\%$ of the total system variance. In such cases data reduction on the basis of these principal components is possible, and a measure for the total information retained, or vice versa, discarded, is available. On the other hand, if all eigenvalues λ_j ($1 \leq j \leq P$) are of the same magnitude than no useful data reduction can be applied.

In the present context, PCA components will be used to investigate dependencies between tidal amplitudes and phases in the six stations relevant for the Western Scheldt and the characteristic tidal variations in time and along the axis of the Western Scheldt Estuary.

B Observaties PCA Westerschelde

B.0.1 Leeswijzer voor de interpretatie

Op N=27 tijdreeksen van de 12 geselecteerde componenten is een PCA analyse toegepast en in deze Appendix (sekties B.1 tot en met B.12) worden per komponent de meest opvallende bevindingen samengevat. Hierbij worden telkens vier 'entries' beschouwd die hier in nader detail worden toegelicht, t.a.v. de onderliggende motivatie en fysische interpretatie.

(1) "**Statistische karakteristiek van het ensemble**". Hierbij worden de voornaamste statistische kentallen van het ensemble weergegeven worden. Hierbij moet "ensemble" worden opgevat als 27 vectoren (of 'samples') in een 12-dimensionale ruimte. Het aantal 27 komt voort uit de jaren 1971 tot en met 1997 waarvoor voor de diverse stations getijkomponenten beschikbaar zijn. De 12-dimensionale ruimte komt voort uit het feit dat we voor iedere komponent per station een amplitude en een fase hebben.

Elk jaar geeft dan één sample in de 12-dimensionale ruimte waarvan de eerste 6 coördinaten betrekking hebben op de amplitudes van de 6 stations (in de volgorde Cadzand, Westkapelle, Vlissingen, Terneuzen, Hansweert, Bath) en de laatste 6 (in dezelfde stationsvolgorde) de fases representeren. Voor de duidelijkheid zij vermeld dat de resultaten van de PCA uiteraard niet afhangen van de hier gekozen volgorde.

Als (elementaire en geen nadere toelichting behoevende) statistische kentallen worden dan de gemiddelde waarde, standaard deviatie, variantie (is kwadraat van de standaard deviatie), en onder- en bovenextreem gegeven, alsmede het bereik (range) van de data. Die range is niets anders dan het verschil van boven en onderextreem, en net zoals de standaard deviatie geeft dit kental een indruk van de variabiliteit.

Hierbij moet worden vermeld dat deze kentallen per coördinaat over de tijdsperiode 1971-1997 zijn bepaald zodat deze statistiek in 12-voud terug te vinden zal zijn, namelijk voor de amplitude en fases van elk der 6 stations.

In de bijlagen 1 tot en met 12 is deze statistiek telkens op het 1e blad te vinden onder het kopje "*Means and standard deviations of the component of nonscaled ensemble*". De kentallen in de rij met entry "01>" heeft dan conform de hierboven aangeduide volgorde betrekking op de amplitude van Cadzand, "02>" op de amplitude van Westkapelle, ..., "06>" op de amplitude van Bath, "07>" op de fase van Cadzand, ..., en uiteindelijk "12>" op de fase van Bath.

T.a.v. de "fysische" interpretatie van de zo gevonden tabel wordt dan tenslotte opgemerkt dat in deze opzet langs de rijen van deze kentallen derhalve de **temporele karakteristieken/variabiliteit** in beeld wordt gebracht, terwijl langs de kolommen de (gemiddelde) **spatiele variabiliteit** van de getijkomponenten is te herkennen.

(2) **"Resultaten PCA analyse"** bevat 3 aspecten waarop de resultaten van de PCA-analyse in nader detail geïnspektreed worden, namelijk:

(2.1) **Variatie langs de hoofdrichtingen.** Zoals elders in dit rapport wordt toegelicht, is PCA niets anders dan het vinden van de hoofdrichtingen van de puntenwolk die hier bestaat uit 27 samples in een 12-dimensionale ruimte. Elke hoofdrichting is een op lengte 1 genormeerde vector $r = (r_{01}, r_{02}, r_{03}, \dots, r_{12})$ in die 12-dimensionale ruimte en (uiteeraard) worden er met PCA in totaal 12 van die hoofdrichtingen gevonden. In de eerste hoofdrichting wordt de meeste variabiliteit gevonden en de bijbehorende vector r geeft dan aan in welke verhouding de 12 amplituden en fases in deze richting samenhangen. Fysisch betekent dat dus dat naarmate de waarde van b.v. r_{01} groter is dan alle andere, dat dan de amplitude van Cadzand het meest de dynamiek bepaalt, én zonder dat de andere componenten de dynamiek van Cadzand volgen (ofwel onafhankelijk daarvan zijn). In het andere geval, en als een ander voorbeeld, als alle amplitudecomponenten r_{01} tot en met r_{06} ongeveer even groot zijn wordt een maximale wederzijdse afhankelijkheid van die amplituden gevonden.

Dezelfde overwegingen gelden ook voor de volgende hoofdrichtingen, zij het dat die steeds minder de globale variabiliteit van het systeem weergeven, maar meer lagere grootte ordes van de dynamiek representeren. Desalniettemin kunnen de lagere hoofdrichtingen erg belangrijk zijn om lokale (lokaal kan zowel betrekking hebben op tijd als plaats) trendbreuken op te sporen. Dit onder de hypothese dat natuurlijke of antropogene ingrepen niet het hele systeem overhoop halen doch meer 'secundaire' effecten sorteren.

Conform deze overwegingen wordt de tijdsevolutie van het systeem (hier is dat de Westerschelde gekondenseerd in de amplitudes en fases van 6 stations voor 1971-1997) langs de 6 voornaamste hoofdrichtingen in beeld gebracht. Zie hiervoor telkens het 2e blad in de bijlagen 1 tot en met 12). Meetkundig geeft elke grafiek dan de projectie van de successievelijke samples (1971 tot en met 1997) op de betreffende hoofdrichting. Aan deze grafieken kan dan in de eerste hoofdrichting de voornaamste **integrale** temporele variabiliteit van het systeem worden herkend, terwijl lagere orde temporele variabiliteit te zien is langs de volgende hoofdrichtingen.

Hierbij moet worden opgemerkt dat een stijgend verloop langs de eerste hoofdrichting gepaard kan gaan met een stijgend verloop van amplituden, of fases (en/of combinatie daarvan), maar dat anderzijds zo'n stijgend verloop langs de hoofdrichting ook een dalend verloop van amplituden, of fases (en/of combinatie daarvan) kan weergeven. Dat komt omdat de richtingen r qua teken niet éénduidig zijn vastgelegd in PCA. Is r een hoofdrichting dan is $-r$ (tegengestelde richting) dat net zo goed. Om hoofdrichtingen éénduidig vast te leggen moet dus eigenlijk nog een keuze worden gemaakt. Dat zou men b.v. kunnen doen door de amplitudecomponent van Cadzand (of een ander station) altijd positief te laten zijn. Dat is hier echter niet gebeurd. Gegeven de figuren hieronder onder (2.2) en (2.3) beschreven is dat niet ook erg.

(2.2) Hoofd/Substructuren van de amplitudes (stationsgewijs).

Met PCA kan de variabiliteit van een data set worden ontbonden in 'componenten' die successievelijk het minst (of meest) van die variabiliteit omvatten. Deze ontbinding kan worden terugvertaald naar de oorspronkelijke data samples. In ons geval leidt dat er toe dat we voor elk station een ontbinding hebben van de amplitudes (en natuurlijk ook de fases) naar

hun PCA-'komponenten'. Hierdoor kunnen we nagaan hoe de lokale variabiliteit is opgebouwd uit informatie van het ensemble, met in het bijzonder wat van de lokale variabiliteit overblijft als we daarvan de informatie verwijderen die door het ensemble kan worden verklaard (m.a.w. de gemeenschappelijke informatie van alle stations, amplitudes en fases). Dit spel kan net zolang worden gespeeld als er hoofdrichtingen zijn. Deze 'fysische' betekenis van PCA heeft ertoe geleid om figuren samen te stellen waarvan de 0^e-versie (de getrokken lijn) de gehele lokale variabiliteit toont. Dat is dan niets anders dan het tijdsverloop van de amplitude van een station t.o.v. diens gemiddelde over 1971-1997. In de volgende 1^e stap wordt daar het deel bevat in de eerste hoofdrichting vanaf getrokken (de onderbroken lijn). Daaruit wordt in de 2^e stap vervolgens het deel bevat in de 2^e hoofdrichting verwijderd, waarmee de gehele variabiliteit minus die bevat in de 1^e én 2^e hoofdrichting overblijft (niet meer in de figuur). Dit voortzettend wordt geleidelijk de variabiliteit gereduceerd. Zoals boven al aangegeven (onder 2.1) zou dan tijdens dit 'fileren' de lokale variabiliteit die niet in het ensemble is bevat moeten verschijnen. Anderzijds, mocht lokale variabiliteit zeer groot zijn (t.o.v. de ensemble variabiliteit) dan moet dit al bij de hogere orde PCA-komponenten worden herkend. In de richtingen $r=(r_{01}, r_{02}, r_{03}, \dots, r_{12})$ van die PCA-komponenten moeten de r -entries domineren die verwijzen naar zo'n lokaal station(s).

Dit 'fileren' van de amplitudes is telkens weergegeven op het 3e blad in de Figuren B.1a-d tot en met B.12a-d waarbij de plots in eerste instantie zijn beperkt tot de reductie met het lokale (stations)gemiddelde en vervolgens de 1^e hoofdkomponent.

(2.3) Hoofd/Substructuren van de fases (stationsgewijs)

Zie (2.2) maar nu voor fases in plaats van de amplitudes.

In de volgende sectie worden al deze aspecten per komponent nagegaan en worden de bevindingen weergegeven. Een samenvatting/synthese is daarna in sectie 3.4 te vinden.

B.0.2 Observaties per getijkomponent; 6 stations, 1971-1997

B.0.2.1 M_2

De resultaten van de PCA analyse van M_2 zijn samengevat in Figuren B.1(ad) (waarvan Figuur B.1a echter in tabelvorm is weergegeven).

1 Statistische karakteristiek van het ensemble

Zie 'Figuur' B.1a

- Monotone toename amplitudes in oostelijke richting (van 167.3 in Cadzand tot 207.5cm in Bath); idem hun range (5.2-16.6cm). Fysisch: opslingering van M_2 in Westerschelde estuarium in oostelijke richting.
- Monotone toename fases in oostelijke richting (49.2-93.4°). Dit is als verwacht uit looptijden van de getijgolf. De range van de fases verloopt minder monotoon (zie b.v. Terneuzen ten opzichte van Vlissingen en Hansweert).
- Relatief sterke positieve (auto)correlatie van de amplitudes van de stations. Fysisch betekent dit dat als van één station de amplitude toeneemt, ook de amplitudes van de andere stations toenemen.

- Relatief sterke positieve (auto)correlatie van de fases van de stations in de meest oostelijke posities
- Sterkste negatieve (kruis)korrelatie van de amplitudes en fases wordt gevonden voor de 3 meest oostelijke stations. Dit betekent dat als amplituden toenemen dat dan fases afnemen (dit komt overeen met een grotere voortplantingssnelheid van de getijgolf in het estuarium als de amplitude toeneemt).

2 Resultaten PCA-analyse

2.1 Variatie langs de hoofdrichtingen

Zie 'Figuur' B.1b

- Duidelijke trend in temporele variatie langs eerste hoofdrichting (verklaart 50.6% van de totale variabiliteit). Deze trend bestaat uit een sterke daling over de periode 1971-1982, gevolgd door een vervlakking met een sterke dip voor 1987-1988, en vervolgens een stijgende tendens. De 1^e hoofdrichting r is uniform in amplitudes, en uniform in fases van de drie meest oostelijke stations (de r -componenten van de fases hebben een teken tegengesteld aan die van de amplituden: gevolg van grotere voortplantingssnelheid bij grotere amplituden). In de eerste hoofdrichting lijkt derhalve een trendbreuk waar te nemen tussen/om en nabij 1982-1986. Daarnaast een sterke 'signifikante' dip/piek (zeg dynamiek) voor 1988. Duidelijke monotone en lineaire trend in 3e hoofdrichting vanaf 1976. Deze 3e hoofdrichting wordt gedomineerd door amplitude en fase (A, F) van Westkapelle.

2.2 Hoofd/Substructuren van de amplitudes (stationsgewijs)

Zie 'Figuur' B.1c

T.a.v. de temporele variaties rond het gemiddelde (over 1971-1997) kan voor de amplitudes het volgende worden opgemerkt:

- In alle stations vormen de 1987-1988 samples een duidelijke piek. Deze stijgt voor de stations in oostelijke richting steeds extremer boven de 'achtergrond' uit. Met het verwijderen van de eerste principale component wordt deze piek in alle stations sterk gereduceerd en verdwijnt qua significantie naar de achtergrond fluctuaties. M.a.w. een sterke ensemble-karakteristiek.
- Voorafgaand aan de piek van 1987-1988 wordt meteen hieraan voorafgaand een dip gevonden voor 1985-1986. Dit is het meest uitgesproken voor Hansweert. Met het verder reduceren van de signalen met opvolgende principale componenten handhaaft de dip zich het langst voor Hansweert.
- Voor alle stations wordt een stijgende trend in de tijdsevolutie van de amplitudes gevonden. Deze trend wordt steeds sterker in oostelijke richting. In Bath is deze versterking het grootst maar treedt echter profiel-vervlakking op vanaf 1980 (maar waar de piek van 1987-1988 nog steeds ver bovenuit steekt).
- Lokaal piekje van 1996 voor Cadzand tot en met Hansweert wordt niet in Bath teruggevonden
- Piek rond 1979 in Cadzand vervlakt en wordt breder voor de stations in oostelijke richting.

2.3 Hoofd/Substructuren van de fases (stationsgewijs)

Zie 'Figuur' B.1d

T.a.v. de temporele variaties rond het gemiddelde (over 1971-1997) kan voor de fases het volgende worden opgemerkt:

- De stations hebben gemeen dat rond 1988 (zie amplitudes) overal de minimale fase wordt aangenomen, terwijl de fases telkens in 1975 à 1976 maximaal zijn. Vooral in Westkapelle en Terneuzen is dat maximum veel hoger dan de fases in de direkt omliggende jaren. Na 1988 wordt overal weer een 'recovery' van de fases gevonden, d.w.z. na de dalende trend over 1974-1986 stijgen de fases weer over de periode 1986-1997. De tuning van het minimum is het sterkst voor de meest oostelijke stations, en is minder herkenbaar voor Cadzand (meer 'jagged', grillig temporeel fase-profiel). Verwijdering van de PC-1 heeft nauwelijks effect in Cadzand, hetgeen aangeeft dat de fases in Cadzand zich vrij onafhankelijk gedragen van het ensemblegemiddelde.
- Na geleidelijke reductie met opvolgende hoofdkomponenten blijkt vooral een piek (met duidelijke tuning) in het fase-profiel voor Bath in 1982 'heel lang' persistent. Met PC-8 en PC-9 (reductie met hoofdkomponenten 8 en 9) wordt deze pas 'gepoetst'. In de twee voorafgaande stations Hansweert en Terneuzen lijkt rond 1982 daarentegen eerder een kleine dip in het tijdsverloop van de Fase-profielen te zien.

B.0.2.2 S₂

De resultaten van de PCA analyse van S₂ zijn samengevat in Figuren B.2(ad) (waarvan Figuur B.2a weer in tabelvorm is weergegeven).

1 Statistische karakteristiek van het ensemble

Zie 'Figuur' B.2a

- Monotone toename van de amplitudes in oostelijke richting vanaf Vlissingen (48.0cm tot 53.8cm in Bath). Idem voor de range van de amplitudes. In Cadzand is de amplitude iets lager dan in Vlissingen (47.1cm) terwijl die van Westkapelle aanzienlijk lager is (42.6cm).
- Monotone toename fases in oostelijke richting (105.2°-156.5°). De range van de fases verloopt minder monotoon (zie b.v. Terneuzen ten opzichte van Vlissingen en Hansweert). Deze tendenzen werden ook voor M₂ gevonden.
- Relatief sterke positieve (auto)correlatie van de amplitudes van de stations, maar lager dan die bij M₂.
- Relatief sterke positieve (auto)correlatie van de fases van de stations.
- Sterkste negatieve (kruis)korrelatie van de amplitudes en fases wordt gevonden voor de 3 meest oostelijke stations. Zwakke (negatieve) correlatie van de amplituden en fases van de westelijke stations.

2 Resultaten PCA-analyse

2.1 Variatie langs de hoofdrichtingen

Zie 'Figuur' B.2b

- Duidelijke trend in temporele variatie langs eerste hoofdrichting (verklaart 42.5% van de totale variabiliteit) die lijkt op de vorm gevonden voor M₂. Grootste verschillen zijn echter additionele pieken te 1984 en 1993. De 1^e hoofdrichting r is uniform in amplitudes (met Cadzand en Westkapelle echter ondervetegenwoordigd), èn uniform in fases van alle stations (de r-komponenten van de fases hebben weer een teken tegengesteld aan die van de amplituden). In de eerste hoofdrichting lijkt dus weer een trendbreuk waar te nemen tussen/om

en nabij 1982-1986. Daarnaast wordt weer, net zoals in M_2 , een sterke 'signifikante' dip gevonden voor 1988. De evolutie langs de 2e en 3e hoofdrichtingen (respektievelijk 21.2% en 14.0%) is voor S_2 sterk gelijkvormig met die gevonden voor M_2 . In het bijzonder is er weer een lineaire trend in 3e hoofdrichting vanaf 1976 waar te nemen. In de 4e hoofdrichting treedt rond 1976 een trendbreuk op.

2.2 Hoofd/Substructuren van de amplitudes (stationsgewijs)

Zie 'Figuur' B.2c

T.a.v. de temporele variaties rond het gemiddelde (over 1971-1997) kan voor de amplitudes het volgende worden opgemerkt:

- De evolutie van S_2 van de diverse stations lijkt veel op die voor M_2 . In het bijzonder wordt weer voor 1987-1988 een piek gevonden die in oostelijke richting steeds dominanter de kop opsteekt. Dit patroon wordt echter overal sterk gereduceerd met het verwijderen van de eerste hoofdkomponent (dus: ensemble karakteristiek, waarin de oostelijke stations sterk doorspreken).
- Daarnaast wordt een sterk 'bergplateau' gedurende de periode 1979-1982 waargenomen, met uitzondering misschien van Westkapelle. Alleen voor de oostelijke stations wordt deze structuur met het verwijderen van de eerste hoofdkomponent in belangrijke mate gereduceerd.
- Voor de oostelijke stations wordt een stijgende trend in het tijdsverloop $A(t)$ gevonden (A =amplitude). Deze trend wordt steeds groter in oostelijke richting. In Bath is deze versterking het grootst maar treedt echter weer profiel-vervlakking op vanaf 1980 (maar waar de piek van 1987-1988 nog steeds ver bovenuit steekt) gevolgd door afname vanaf 1990.
- Met het successievelijk reduceren van de amplitudes met de eerste PCA-komponenten blijkt de piek te Bath in 1973 (omvattende de periode 1971-1974) het langst persistent. Pas met PCA-komponent 7 wordt deze 'gepoetst'.

2.3 Hoofd/Substructuren van de fases (stationsgewijs)

Zie 'Figuur' B.2d

T.a.v. de temporele variaties rond het gemiddelde (over 1971-1997) kan voor de fases het volgende worden opgemerkt:

- De temporele variaties van de fases lijken qua vorm voor S_2 voor alle stations sterk op die gevonden voor M_2 . Deze overeenkomst van vorm lijkt sterker te zijn dan de overeenkomst gevonden voor de amplitudes. De oostelijke stations hebben weer gemeen dat rond 1988 (zie amplitudes) overal de minimale fase wordt aangenomen.
- Belangrijkste verschil met M_2 is dat de fase toename vanaf 1988 naar 1997 voor S_2 veel sterker zijn.
- Met het reduceren van de fases met successievelijke PCA-komponenten worden geen eenduidige substructuren gevonden.

B.0.2.3 N_2

De resultaten van de PCA analyse van N_2 zijn samengevat in Figuren B.3(ad) (waarvan Figuur B.3a weer in tabelvorm is weergegeven).

1 Statistische karakteristiek van het ensemble

Zie 'Figuur' B.3a

- Monotone toename amplitudes in oostelijke richting vanaf Cadzand (27.9cm tot 33.3cm in Bath). Idem voor de range van de amplitudes.
- Monotone toename fases in oostelijke richting (23.9-69.8°). De range van de fases verloopt eveneens monotoon.
- Sterke positieve (auto)correlatie van de amplitudes van de stations.
- Sterke positieve (auto)correlatie van de fases van de stations.
- Opvallend is dat amplitudes en fases vrijwel **volledig ongekorreleerd** blijken te zijn.

2 Resultaten PCA-analyse

2.1 Variatie langs de hoofdrichtingen

Zie 'Figuur' B.2b

- Een grillige, fluktuerende temporele variatie wordt gevonden langs de eerste hoofdrichting (deze verklaart 46.0% van de totale variabiliteit) en er is geen trend waar te nemen. Deze hoofdrichting wordt geheel door de amplituden opgespannen (met alle stations in gelijke mate), en bevat niet, of althans verwaarloosbaar, de fases.
- Een sterk periodiek-achtige tijdsevolutie (periode ongeveer 4.5 jaar) wordt gevonden langs de 2e hoofdrichting (deze verklaart 42.7% van de totale variabiliteit). De periodieke oscillaties lijken gesuperponeerd te zijn op een lineaire trend. De tweede hoofdrichting wordt geheel door de fases opgespannen (en weer uniform t.a.v. de zes stations). Dit werpt de vraag op of hier mogelijk een in de getijanalyse niet geïdentificeerde component naast N_2 in N_2 doorspreekt.
- De 3e hoofdrichting (4.0%) bevat nog enige fijnstructuur over 1972-1976 en is daarna zo goed als 0.

2.2 Hoofd/Substructuren van de amplitudes (stationsgewijs)

Zie 'Figuur' B.3c

T.a.v. de temporele variaties rond het gemiddelde (over 1971-1997) kan voor de amplitudes het volgende worden opgemerkt:

- De grillige structuur van de tijdsevolutie langs de eerste hoofdkomponent wordt in vrijwel dezelfde vorm voor de amplitudes gevonden. Dat is niet verwonderlijk gezien de samenstelling van de eerste hoofdrichting (gedomineerd door de amplitudes) en diens hoge fraktie van de totale variabiliteit.
- Opvallend zijn de hoge amplitudes in 1980 en de lage amplitudes in 1973 die voor alle stations worden gevonden.
- Met het verwijderen van de informatie bevat in de eerste PCA-komponent zijn de fluktuaties sterk gereduceerd. Er is dus een sterk ensemblegedrag. Opvallend is de trend die overblijft voor Bath.

2.3 Hoofd/Substructuren van de fases (stationsgewijs)

Zie 'Figuur' B.3d

T.a.v. de temporele variaties rond het gemiddelde (over 1971-1997) kan voor de fases het volgende worden opgemerkt:

- Wat hierboven voor de amplitudes werd gevonden geldt mutatis mutandis eveneens voor de fases.
- Toch zijn er nog subtiele verschillen. De temporele evolutie die langs de tweede hoofdrichting wordt gevonden representeert vooral het faseverloop van de drie oostelijke

stations, maar is hoewel nog sterk overeenkomstig, in iets mindere mate zo sterk gelijkend op het faseverloop van de westelijke stations. Daarnaast lijken vooral voor de oostelijke stations de periodieke fluktuaties gesuperponeerd te zijn op een monotoon en lineair dalende trend over de periode 1976-1997.

B.0.2.4 M₄

De resultaten van de PCA analyse van M₄ zijn samengevat in Figuren B.4(ad) (waarvan Figuur B.4a weer in tabelvorm is weergegeven).

1 Statistische karakteristiek van het ensemble

Zie 'Figuur' B.4a

- Geen monotoon verloop van amplituden en hun range in oostwaartse richting. Grootste amplitude (en extremen) in Westkapelle (gemiddelde is 13.6cm) terwijl daar kleinste range wordt gevonden, namelijk 1.5cm (bij min=12.8, en max=14.3cm). Grootste amplitude range is in Terneuzen (2.4cm, bij min=10.7 en max=13.1cm) terwijl daar na Cadzand juist de kleinste gemiddelde amplitude wordt gevonden.
- Vrijwel monotoon verloop van de fases (van gemiddelde 91.8° te Cadzand, tot gemiddeldes 170.1° en 168.1° te Hansweert en Bath), maar niet voor hun range. Grootste range=22.3° in Hansweert, laagste range=7.6° te Vlissingen.
- Amplituden zijn positief gekorreleerd, en veel sterker voor westelijke dan voor oostelijke stations. De korrelaties van de M₄-amplituden lijken zwakker dan voor b.v. M₂.
Idem voor Fases. Merk echter op: negatieve korrelatie voor de fases van Hansweert en Bath.
- Amplitudes en fases zijn redelijk sterk en positief gekorreleerd voor de westelijke stations.

2 Resultaten PCA-analyse

2.1 Variatie langs de hoofdrichtingen

Zie 'Figuur' B.4b

- Zeer duidelijke trend wordt waargenomen in de temporele variatie langs de eerste hoofdrichting van 1971 tot 1984 à 1986 (45.4%; opvallend is dat de amplituden van Hansweert en Bath ontbreken in 1e hoofdrichting, terwijl hun fases wel vertegenwoordigd zijn. Daarbij is weer opvallend dat zij tegengesteld van teken zijn). Een grillige evolutie (sterke opvolgende pieken en dalen, vooral in de periode 1971-1976, gevolgd door een monotone tendens over 1977-1997) wordt langs de tweede hoofdrichting (28.2%) gevonden. Redelijk gladde opgaande en weer neergaande tendens in 4e hoofdrichting (4.9%).

2.2 Hoofd/Substructuren van de amplitudes (stationsgewijs)

Zie 'Figuur' B.4c

T.a.v. de temporele variaties rond het gemiddelde (over 1971-1997) kan voor de amplitudes het volgende worden opgemerkt:

- Duidelijk stijgende trends over 1971-1996 voor de drie westelijke stations. Hierin sterke dips te 1974 die ook elders, behalve in Bath, wordt gevonden. Overal wordt weer zoals in M₂ een uitgesproken piek-structuur in de amplitude-profielen gevonden rond periode 1986-

1988. Voor Bath is deze structuur echter kleiner dan pieken te 1972 en 1994-95. De piek in 1994 wordt ook voor Vlissingen en de overige oostelijke stations gevonden.

- De PC-1 verklaart vrijwel geen gedrag van Bath en Hansweert.
- De grillige vorm voor het amplitude profiel van Hansweert lijkt in tegenstelling tot de westelijke amplitude-profielen eerder dalend van vorm te zijn.
- De piek van 1972 in Bath is meest extreem en wordt elders niet in die mate teruggevonden (enigszins in Hansweert).
- Met het geleidelijk verwijderen van hoofdkomponenten worden eerst de grote trends in de 4 westelijke stations weggefilterd en pas later de grote fluctuaties van Hansweert en Bath.
- Er lijken geen echt lang persistente structuren te worden gevonden bij het geleidelijk verwijderen van hoofdkomponenten

2.3 Hoofd/Substructuren van de fases (stationsgewijs)

Zie 'Figuur' B.4d

T.a.v. de temporele variaties rond het gemiddelde (over 1971-1997) kan voor de fases het volgende worden opgemerkt:

- In de faseprofielen lijkt een duidelijke trendbreuk op te treden tussen 1976 en 1982. De grootste en meest consistente dynamiek wordt hierbij voor Hansweert gevonden: afname van ongeveer 14° in 1971 naar ongeveer -6° in 1982, gevolgd door een geleidelijke toename naar ongeveer -4° in 1987. Dat dalen en weer toenemen wordt in zekere mate voor de overige stations gevonden, behalve Bath waar in het geheel een stijgende tendens is te zien. I.h.b. betekent dit dat voor Bath gedurende 71-82 niet de dalende tendens van Terneuzen en Hansweert is te zien.
- Met het verder verwijderen van hoofdkomponenten blijft in Hansweert het langst een significant residu 'in leven' gekenmerkt met een zekere (maar significante?) dip in de overgang 1982 naar 1983. Dit zou te maken kunnen hebben met eenzelfde bevinding voor M_2 , maar deze tendens lijkt te zwak om als significant te kunnen worden opgevat.

B.0.2.5 MS_4

De resultaten van de PCA analyse van MS_4 zijn samengevat in Figuren B.5(ad) (waarvan Figuur B.5a weer in tabelvorm is weergegeven).

1 Statistische karakteristiek van het ensemble

Zie 'Figuur' B.5a

- De amplituden variëren niet monotoon langs de Westerschelde. De grootste waarde wordt gevonden te Westkapelle (tot 9.7cm), de laagste te Hansweert. Grootste range te Bath (1.6cm).
- De fases verlopen vrijwel monotoon langs de Westerschelde (154.6° als gemiddelde van Cadzand, en 229.5° als gemiddelde van Bath), zij het dat die van Bath (gemiddelde 229.5° , range 14.4°) enigszins kleiner is dan die van Hansweert (gemiddelde 232.0° , range 21.2°). Ranges hebben geen monotoon verloop.
- Alleen in het westelijk deel zijn de amplitudes van de stations positief en redelijk sterk gekorreleerd; in het oostelijk deel is de korrelatie zwakker maar nog steeds positief van teken.

- De fases zijn zwakker gekorreleerd, maar weer positief en het sterkst in het Westelijk deel. In het oostelijk deel zijn de fases van b.v. Bath en Hansweert negatief gekorreleerd (lineaire regressiecoëfficiënt is -0.59).
- Amplitude-fase kruiskorrelaties zijn het sterkst voor de fase van Cadzand met de amplitudes van Cadzand tot en met Vlissingen-Hansweert (negatieve korrelatie). Daarnaast relatief sterke (negatieve) korrelatie tussen enerzijds een der amplitudes van Cadzand tot en met Terneuzen, en anderzijds de fase van Hansweert, of de fase van Bath (waarbij die korrelatie dan opvallend genoeg positief is)

2 Resultaten PCA-analyse

2.1 Variatie langs de hoofdrichtingen

Zie 'Figuur' B.5b

- Een duidelijke en stijgende temporele trend wordt gevonden langs de eerste hoofdrichting (55.7%) tot 1986, met onderweg daarop gesuperponeerd een uitgesproken lokale piek te 1974. Na 1986 weer een dalende trend, zij het met pieken en dalen daarop gesuperponeerd. De variaties in de diverse hoofdrichtingen lijken minder goed interpreteerbaar. In hoofdrichting 5 (echter: 2.5%) is een uitgesproken piekje te zien rond 1977.

2.2 Hoofd/Substructuren van de amplitudes (stationsgewijs)

Zie 'Figuur' B.5c

T.a.v. de temporele variaties rond het gemiddelde (over 1971-1997) kan voor de amplitudes het volgende worden opgemerkt:

- Een duidelijk stijgende trend is te zien in de amplitudes van de vier meest westelijke stations. Hansweert is grilliger, terwijl de vorm van Bath enigszins lijkt op diens vorm bij M_4 (d.w.z. een diep dal rond 1979). Opvallend is verder een overeenkomstig overall extreem gevormd door 1990-1991 in Cadzand tot en met Hansweert. Met het verwijderen van de 1e hoofdkomponent zijn de trends verdwenen maar is Bath nog nauwelijks gereduceerd. Met het verwijderen van 4 hoofdkomponenten fluktuëren de amplitudes binnen ongeveer -0.2 en +0.2cm en lijken geen persistente of interpreteerbare structuren meer aanwezig.

2.3 Hoofd/Substructuren van de fases (stationsgewijs)

Zie 'Figuur' B.5d

T.a.v. de temporele variaties rond het gemiddelde (over 1971-1997) kan voor de fases het volgende worden opgemerkt:

- Meest opvallend is dat de fases lijken op die van M_4 , met i.h.b. de veel grotere dynamiek voor Hansweert, en de stijgende trend voor Bath.
- In de successievelijke reductie met hoofdkomponenten lijkt een structuur van 1982-1986 persistent in het faseprofiel van Hansweert.

B.0.2.6 MN_4

De resultaten van de PCA analyse van MN_4 zijn samengevat in Figuren B.6(ad) (waarvan Figuur B.6a weer in tabelvorm is weergegeven).

1 Statistische karakteristiek van het ensemble

Zie 'Figuur' B.6a

- De amplituden variëren niet monotoon langs de Westerschelde. De grootste waarde wordt gevonden te Westkapelle (tot 4.6cm), de laagste te Vlissingen. Grootste range te Bath (1.7cm).
- De fases verlopen vrijwel monotoon langs de Westerschelde, uitgezonderd Hansweert waar de fase groter is dan die voor Bath (144.4° resp. 140.4°). Daarnaast is het opvallend dat de range te Bath aanzienlijk kleiner is dan die voor Hansweert.
- De amplitudes van de stations zijn positief en redelijk sterk gekorreleerd; in het oostelijk deel is de correlatie zwakker dan voor westelijk deel.
- De fases zijn onderling iets zwakker gekorreleerd dan de amplituden, maar weer positief en het sterkst in het westelijk deel. In het oostelijk deel zijn de fases van b.v. Bath en Hansweert vrijwel ongekorreleerd.
- Amplitude-Fase kruiskorrelaties zijn relatief zwak.

2 Resultaten PCA-analyse

2.1 Variatie langs de hoofdrichtingen

Zie 'Figuur' B.6b

- Voor de eerste hoofdrichting (47.7%) wordt een structuur gezien met een dalende trend over de periode 1971-1984, gevolgd door een stijgende tendens tot ongeveer 1992, gevolgd door een dalende tendens. De 1e hoofdrichting is 'uniform' in fases en amplitudes, waarbij het opvallend is dat deze tegen de verwachting in alle hetzelfde teken hebben.
- De temporele fluktuaties langs de 2e hoofdrichting (31.3%) zijn dermate grillig dat niet van een duidelijke tendens kan worden gesproken.
- Een duidelijke stijgende temporele trend zonder wezenlijke fluktuaties wordt gevonden langs de derde hoofdrichting (13.7%).

2.2 Hoofd/Substructuren van de amplitudes (stationsgewijs)

Zie 'Figuur' B.6c

T.a.v. de temporele variaties rond het gemiddelde (over 1971-1997) kan voor de amplitudes het volgende worden opgemerkt:

- Een zeer grillige, sterk fluktuerende tijdsevolutie wordt waargenomen voor alle stations. Opvallend is het afwijkend gedrag van Terneuzen: deze vertoont een stijgende trend voor de amplituden terwijl de overige stations, en met name de oostelijke, een dalende trend laten zien.

2.3 Hoofd/Substructuren van de fases (stationsgewijs)

Zie 'Figuur' B.6d

T.a.v. de temporele variaties rond het gemiddelde (over 1971-1997) kan voor de fases het volgende worden opgemerkt:

- Net zoals voor de amplituden wordt een grillige tijdsevolutie voor de fases waargenomen. Nu is het echter Bath dat dissonneert in de zin dat hier een stijgende trend voor de fases wordt gevonden, terwijl een dalende trend voor Terneuzen en Hansweert is te zien. Dit verschil tussen Hansweert en Bath komt nog uitdrukkelijker tot uiting na reductie met de informatie van de 2e hoofdkomponent (niet in de figuur).
- Opvallend is de sterke dip die voor alle stations in 1984 is te zien.

B.0.2.7 M₆

De resultaten van de PCA analyse van M₆ zijn samengevat in Figuren B.7(ad) (waarvan Figuur B.7a weer in tabelvorm is weergegeven).

1 Statistische karakteristiek van het ensemble

Zie 'Figuur' B.7a

- De amplituden variëren niet monotoon langs de Westerschelde: vanaf Cadzand (9.7cm) nemen zij af tot Vlissingen (8.5cm) om daarna weer monotoon toe te nemen tot Bath (12.3cm). Bij de ranges valt de kleinere waarde van Hansweert t.o.v. Terneuzen en Bath op.
- De fases verlopen monotoon toenemend langs de Westerschelde. Opvallend is de bijzonder lage range van Bath t.o.v. Hansweert en Terneuzen.
- De amplitudes van de stations zijn positief maar in beperkte mate met elkaar gekorreleerd.
- De fases van de stations zijn positief maar in beperkte mate met elkaar gekorreleerd.
- Amplitude-Fase kruiskorrelaties zijn relatief zwak en wisselend van teken.

2 Resultaten PCA-analyse

2.1 Variatie langs de hoofdrichtingen

Zie 'Figuur' B.7b

- Langs de eerste hoofdrichting (34.7%) wordt een oscillerende temporele structuur gevonden die op een enigszins dalende trend is gesuperponeerd.
- Eenzelfde karakter zij het minder monotoon is te zien langs de 2e hoofdrichting (24.9%). Hierin zijn uitgesproken pieken waar te nemen voor 1975 en 1992.
- Een meer reguliere evolutie met een duidelijke lineaire trend wordt gevonden langs de 3e hoofdrichting (17.5%).
- Ook langs de 4e (8.9%) en in zekere mate de 5e (5.3%) hoofdrichting wordt een redelijke gladde reguliere tijdsevolutie gezien.

2.2 Hoofd/Substructuren van de amplitudes (stationsgewijs)

Zie 'Figuur' B.7c

T.a.v. de temporele variaties rond het gemiddelde (over 1971-1997) kan voor de amplitudes het volgende worden opgemerkt:

- Voor alle stations bevat de tijdsevolutie van de amplitude grillige, oscillerende substructuren. Hierbij gedragen de 6 stations zich opvallend verschillend.
- In het bijzonder wordt voor Westkapelle een duidelijk dalende trend waargenomen terwijl voor Terneuzen die trend onmiskenbaar stijgend is. Voor Bath is de sterke toename van de amplitude gedurende 1986-1988 bijzonder opvallend. Het bijzondere van deze dynamiek handhaaft zich langdurig bij het verwijderen van de PCA-komponenten.

2.3 Hoofd/Substructuren van de fases (stationsgewijs)

Zie 'Figuur' B.7d

T.a.v. de temporele variaties rond het gemiddelde (over 1971-1997) kan voor de fases het volgende worden opgemerkt:

- Net zoals voor de amplituden wordt een zekere grilligheid in de tijdsevolutie voor de fases waargenomen, en gedragen de stations zich opvallend verschillend (i.h.b. over de periode 1971-1976). Wel zijn iets duidelijker substructuren te ontdekken.

- Voor Hansweert is de sterke trendbreuk gedurende 1978-1980 zeer opmerkelijk waarin de fase ongeveer 10° afneemt. Het bijzondere is dat deze dynamiek voor de 'naburige' stations niet wordt gevonden. De sterke piek in het faseprofiel voor Bath rond 1982 wordt eveneens in geen der andere station gezien.
- Deze bevindingen houden 'enige tijd stand' bij het successievelijk verwijderen van de informatie bevat in de opvolgende PCA-hoofdkomponenten.

B.0.2.8 2MS₆

De resultaten van de PCA analyse van 2MS₆ zijn samengevat in Figuren B.8(ad) (waarvan Figuur B.8a weer in tabelvorm is weergegeven).

1 Statistische karakteristiek van het ensemble

Zie 'Figuur' B.8a

- De range van de amplitudes is zeer beperkt: 0.65cm te Cadzand bij een minimum van 9.51cm en een maximum van 10.16cm. Voor Hansweert is de range van de amplitudes 1.1cm.
- Grootste (gemiddelde) amplitude wordt voor Bath gevonden (11.7cm), en laagste voor Vlissingen (8.71cm).
- De fases nemen monotoon toe in de oostelijke richting (zie gemiddelde van 124.3° voor Cadzand, terwijl dat voor Bath 307.6° is). De ranges nemen niet monotoon toe (b.v. 5.44° voor Cadzand, 17.36° voor Hansweert, en 8.64° voor Bath).
- Matige, positieve correlatie van de amplituden van de stations.
- Fasen lijken sterker met elkaar gekorreleerd dan de onderlinge correlatie van de amplitudes, maar in absolute zin is de fasecorrelatie matig tot zwak. Deze fasecorrelatie is positief lijkt het sterkst voor de fases van de oostelijke stations.
- Amplitudes en fases zijn relatief zwak gekorreleerd.

2 Resultaten PCA-analyse

2.1 Variatie langs de hoofdrichtingen

Zie 'Figuur' B.8b

- De temporele variatie langs 1e hoofdrichting (32.8%) is grillig van vorm. Hierin wordt een dalende tendens gevonden over de periode 1971-1982.
- Een sterke piek in 1973, en een sterke dip in 1988 zijn erg opvallende kenmerken in de temporele variatie langs 2e hoofdrichting (27.6%).
- Een zekere monotone, en stijgende tendens wordt gevonden langs 3e hoofdrichting (18.2%).

2.2 Hoofd/Substructuren van de amplitudes (stationsgewijs)

Zie 'Figuur' B.8c

T.a.v. de temporele variaties rond het gemiddelde (over 1971-1997) kan voor de amplitudes het volgende worden opgemerkt:

- Voor alle stations bevat het temporele verloop van de amplituden grillige fluktuaties. In de amplitudes variaties van Cadzand en Vlissingen zijn geen structurele temporele trends te herkennen. Dat is wel het geval voor de overige stations. Het meest duidelijk is de dalende trend voor Westkapelle, terwijl stijgende trends voor Terneuzen, en in mindere mate voor Bath, worden gevonden.

Hansweert lijkt in tegenstelling tot zijn burens Terneuzen over het geheel een meer dalende trend te vertonen, waarbij verder met name een 'inzinking' optreedt gedurende de periode 1975-1980. Deze is in geen van de andere stations te zien. Daarbij is de daaraan voorafgaande piek te 1973 opvallend groot voor Hansweert. Deze lokale piek is in mindere mate ook in andere stations aanwezig, en na correctie voor de eerste 3 à 4 hoofdkomponenten is deze dan ook weggefilterd.

- Met het successievelijk verwijderen hoofdkomponenten lijken geen eenduidige, persistente structuren te worden gevonden.

2.3 Hoofd/Substructuren van de fases (stationsgewijs)

Zie 'Figuur' B.8d

T.a.v. de temporele variaties rond het gemiddelde (over 1971-1997) kan voor de fases het volgende worden opgemerkt:

- De plotselinge afname van de fase in Hansweert in de periode 1980-1982 van M4, MS4 en MS6 is ook in MS6 zichtbaar.

- In alle fase profielen wordt een minimum in 1988 gevonden; dit bevindt zich binnen een dal over de periode 1986(1982?)-1993 dat in alle profielen is te zien. Hierin vormt 1986 overal een meer of minder lokaal maximum. Ook is voor alle oostelijke stations een kleinere dip te zien te 1995.

- Met het successievelijk verwijderen hoofdkomponenten lijken geen persistente structuren te worden gevonden (wel blijkt de variabiliteit het langst persistent voor de drie oostelijke stations).

B.0.2.9 2MN₆

De resultaten van de PCA analyse van 2MN₆ zijn samengevat in Figuren B.9(ad) (waarvan Figuur B.9a weer in tabelvorm is weergegeven).

1 Statistische karakteristiek van het ensemble

Zie 'Figuur' B.9a

- De range van de amplitudes is beperkt: 0.75cm te Cadzand bij een minimum van 4.79cm en een maximum van 5.54cm. Voor Hansweert is de range van de amplitudes 1.2cm.

- Vanaf Vlissingen nemen de amplitudes monotoon toe in oostelijke richting. Net zoals voor MS₆ wordt de grootste (gemiddelde) amplitude voor Bath gevonden (hier 6.53cm), en de laagste voor Vlissingen (hier 4.56cm).

- De fases nemen monotoon toe in de oostelijke richting (zie gemiddelde van 47.1° voor Cadzand, terwijl dat voor Bath 227.4° is). De ranges nemen niet monotoon toe (b.v. 5.15° voor Cadzand, 13.6° voor Hansweert, en 10.3° voor Bath).

- Grote positieve correlatie van de amplituden van de diverse stations.

- Fasen zijn onderling veel zwakker gekorreleerd dan de amplitudes. Het teken van die fase-fase correlaties is bovendien wisselend.

- Amplitudes en fases zijn matig onderling gekorreleerd en met wisselend teken.

2 Resultaten PCA-analyse

2.1 Variatie langs de hoofdrichtingen

Zie 'Figuur' B.9b

- De temporele variatie langs 1e hoofdrichting (44.2%) laat een structuur zien van een monotone toename over de periode 1971 tot ongeveer 1978, gevolgd door een min of meer monotone afname tot 1986, weer gevolgd door een monotone toename tot 1997. Rond deze trends zijn matige fluktuaties te zien. De eigenvektor bij deze PCA-komponent bevat slechts amplitudes zodat de gevonden tijdsevolutie de voornaamste dynamiek van de amplitudes representeert.
- De temporele variatie langs de 2e hoofdrichting (20.6%) laat een duidelijke trend zien in de vorm van een monotoon dalende vorm over vrijwel de gehele periode 1971-1997. De hier bijbehorende eigenvektor bestaat voornamelijk uit de fases van Cadzand, Terneuzen, en vooral Hansweert, zodat de variatie langs de tweede hoofdrichting de voornaamste fase-karakteristiek van die stations weergeeft.
- In de overige hoofdrichtingen zijn geen duidelijke trends waarneembaar en wordt het patroon beheerst door op en neer gaande fluktuaties.

2.2 Hoofd/Substructuren van de amplitudes (stationsgewijs)

Zie 'Figuur' B.9c

T.a.v. de temporele variaties rond het gemiddelde (over 1971-1997) kan voor de amplitudes het volgende worden opgemerkt:

- Voor alle stations wordt in de tijdsevolutie van de amplitudes de trend herkend (afgezien van teken, dat hier tegengesteld is) die was te zien in de tijdsvariatie langs de eerste hoofdrichting. Dit was als verwacht gezien de dominantie van de amplitudes in de eerste hoofdrichting.
- Na correctie voor de eerste PCA-hoofdrichting is een dalende trend te zien voor Westkapelle en Hansweert, terwijl de trends voor Terneuzen en Bath duidelijk stijgend zijn. Ook blijkt dat (na verwijdering van de 1e PCA-hoofdkomponent) de 'berg' over 1986-1992 te Bath nog niet geheel verdwenen zodat deze in Bath relatief sterker aanwezig is dan in de andere stations. Dit verschijnsel handhaaft zich gedurende enige tijd bij het verder verwijderen van successievelijke hoofdkomponenten.

2.3 Hoofd/Substructuren van de fases (stationsgewijs)

Zie 'Figuur' B.9d

T.a.v. de temporele variaties rond het gemiddelde (over 1971-1997) kan voor de fases het volgende worden opgemerkt:

- Het tijdsverloop van de $2MN_6$ -fases lijkt relatief veel op die van $2MS_6$, vooral voor Westkapelle, Terneuzen, Hansweert en (enigszins) Bath. Weer wordt b.v. (en vooral in de oostelijke stations) een minimum te 1988 gevonden.
- Weer is opvallend de sterke afname van de fase te Hansweert over de periode 1978-1982, en zonder dat dit in de 'naburige' stations is te zien. Eerder lijkt voor Bath namelijk hier een sterke toename van de fase te zien.
- Bij het verder reduceren van PCA-hoofdkomponenten worden geen overige eenduidig interpreteerbare tendensen gevonden.

B.0.2.10 $2SM_2$

De resultaten van de PCA analyse van $2SM_2$ zijn samengevat in Figuren B.10(ad) (waarvan Figuur B.10a weer in tabelvorm is weergegeven).

1 Statistische karakteristiek van het ensemble

Zie 'Figuur' B.10a

- Amplituden en range van de amplituden nemen toe in oostelijke richting (afgezien van Cadzand). Range is 2.0cm voor Bath, bij een gemiddelde amplitude aldaar van 5.2cm.
- (Gemiddelde) fases nemen in oostelijke monotoon toe van 334.1° te Cadzand tot 384.8° (ofwel 24.8° na reductie met 360°). Range te Cadzand is 19°, terwijl die voor Hansweert 15° en voor Bath 19° is. Dus geen strikt monotoon toenemend verloop.
- Amplitudes van de stations zijn onderling zeer sterk positief gekorreleerd.
- Fases van de stations zijn onderling zeer sterk positief gekorreleerd
- Zeer opvallend is dat de amplituden en fases van de diverse stations vrijwel volledig ongekorreleerd zijn.

2 Resultaten PCA-analyse

2.1 Variatie langs de hoofdrichtingen

Zie 'Figuur' B.10b

- De eerste twee hoofdkomponenten verklaren al 92.2% van de totale variabiliteit.
- In de 1e hoofdrichting (48.3%, geheel gedomineerd door amplitudes) wordt een dalende trend gevonden voor de periode 1971-1980, gevolgd door een stijgende trend tot 1990, en daarna een dalende trend to 1997. Vanwege de dominantie van de amplitudes in de 1e PCA-hoofdrichting, en de hoge mate van variabiliteit die hiermee wordt verklaard, geeft deze hoofdrichting vrijwel volledig het (uniforme) temporele verloop van de amplitudes weer.
- In de tijdsevolutie langs de 2e hoofdrichting (43.9%, gedomineerd door fases) worden grote ruisachtige variaties waargenomen, met een grote piek in 1978, en een grote dip in 1995. Met enige goede wil kan misschien een licht dalend trend (waarop die fluktuaties gesuperponeerd zijn) worden herkend. Vanwege de dominantie van de fases in de 2e PCA-hoofdrichting, en de hoge fraktie van de totale variabiliteit die hiermee wordt verklaard, geeft deze hoofdrichting in hoge mate het (uniforme) temporele verloop van de fases weer.

2.2 Hoofd/Substructuren van de amplitudes (stationsgewijs)

Zie 'Figuur' B.10c

T.a.v. de temporele variaties rond het gemiddelde (over 1971-1997) kan voor de amplitudes het volgende worden opgemerkt:

- Zeer gelijkvormige temporele variatie van de amplitudes over de 6 stations. Dit bevestigt de hierboven uitgesproken verwachting gezien de eigenschappen van de eerste hoofdrichting.
- Na verwijdering 1e (en 2e) hoofdrichting is er voor Hansweert een duidelijk dalende trend voor de amplitude. Voor Vlissingen is er een lichte toename
- Nadat deze trend verwijderd is lijken geen persistente structuren meer te worden gevonden.

2.3 Hoofd/Substructuren van de fases (stationsgewijs)

Zie 'Figuur' B.10d

T.a.v. de temporele variaties rond het gemiddelde (over 1971-1997) kan voor de fases het volgende worden opgemerkt:

- Gelijkvormige temporele variaties van de fases over de periode 1971-1997 voor alle 6 stations, zij het iets minder uniform dan voor de amplituden werd gevonden. Met het

verwijderen van de informatie bevat in de 2e hoofdrichting is veel van de variabiliteit verdwenen.

- Na successievelijk verwijdering van verdere hoofdrichtingen lijken geen persistente en interpreteerbare structuren meer te worden gevonden.

B.0.2.11 MU2 (μ_2)

De resultaten van de PCA analyse van MU2 zijn samengevat in Figuren B.11(ad) (waarvan Figuur B.11a weer in tabelvorm is weergegeven).

1 Statistische karakteristiek van het ensemble

Zie 'Figuur' B.11a

- Monotone toename van amplituden en hun range in oostelijke richting (gemiddelde voor Cadzand is 11.1cm, met range 1.95cm, gemiddelde voor Bath is 19.9cm en range is 3.13cm).

- Relatief sterke, positieve onderlinge correlatie voor de amplituden.

- Monotone toename van de fases in oostelijke richting (gemiddelde voor Cadzand is 157.5°, en gemiddelde voor Bath is 188.0°). De range van de fases varieert maar weinig en niet geheel monotoon (12.2° voor Cadzand, 12.0° voor Vlissingen, 10.8° voor Hansweert, en 12.9° voor Bath).

- Relatief sterke, positieve correlatie voor de fases.

- Matige, positieve correlatie van amplituden en fases (regressiecoëfficiënten kleiner dan ongeveer 0.5).

2 Resultaten PCA-analyse

2.1 Variatie langs de hoofdrichtingen

Zie 'Figuur' B.11b

- Zeer regelmatige oscillatie in temporele variatie langs 1e hoofdrichting (62.8%, hetgeen erg veel is gezien de waarden die 'elders' worden gevonden: M6, fases van N2) met een periode van ongeveer 4.5 jaar. Het 'gemiddelde niveau' lijkt een trendbreuk te hebben rond 1987: het gemiddelde niveau stijgt monotoon tot 1986, neemt dan instantaan sterk af, en neemt daarna weer toe.

- In de 2e hoofdrichting (32.0%) is minder temporele structuur (veel grillige variaties) al lijkt ook hier rond 1986 een trendbreuk enigszins herkenbaar.

- In de 3e hoofdrichting (1.9%) is een duidelijke trend herkenbaar (fluctuaties rond een dalend 'gemiddelde'), die vanaf 1986 lijkt te 'verzadigen'.

2.2 Hoofd/Substructuren van de amplitudes (stationsgewijs)

Zie 'Figuur' B.11c

T.a.v. de temporele variaties rond het gemiddelde (over 1971-1997) kan voor de amplitudes het volgende worden opgemerkt:

- Een grote uniformiteit wordt voor de diverse stations waargenomen voor de tijdsevolutie van de amplitudes. Deze is sterk en periodiek van karakter met de periode van ongeveer 4.5 jaar die al bij de analyse van de temporele variatie langs de 1e hoofdrichting werd gevonden.

- Na successievelijk verwijdering van hoofdrichtingen lijken geen persistente structuren te worden gevonden.

2.3 Hoofd/Substructuren van de fases (stationsgewijs)

Zie 'Figuur' B.11d

T.a.v. de temporele variaties rond het gemiddelde (over 1971-1997) kan voor de fases het volgende worden opgemerkt:

- Grote uniformiteit van het temporele fase verloop voor de diverse stations. De fases tenderen toe te nemen over de periode 1971-1986, daarna abrupt af te nemen in 1986 à 1987, en daarna weer toe te gaan nemen over de periode 1989-1997.
- Na verwijdering van de eerste twee hoofdrichtingen lijkt een fijnstructuur te bestaan uit een licht stijgende trend in Cadzand, tegelijk met een lichte afname in Hansweert, in combinatie met een wat grotere afname in Bath. Deze trends zijn echter niet bovenmatig persistent, en verdwijnen al na het weglaten van meer hoofdrichtingen.

B.0.2.12 2MN₂

De resultaten van de PCA analyse van 2MN₂ zijn samengevat in Figuren B.12(ad) (waarvan Figuur B.12a weer in tabelvorm is weergegeven).

1 Statistische karakteristiek van het ensemble

Zie 'Figuur' B.12a

- De amplituden en hun range nemen monotoon toe in oostelijke richting (gemiddelde Cadzand is 12.1cm met range 1.4cm; gemiddelde Bath is 17.65cm met range 2.4cm)
- Fases nemen monotoon toe in oostelijke richting (gemiddelde Cadzand is 247° met range 6.1°; gemiddelde Bath is 288.7° met range 7.0°). De range is niet monotoon stijgend in oostelijke richting (het maximum is 10.5° te Terneuzen).
- Voor de amplituden wordt sterke positieve onderlinge correlatie gevonden.
- Voor de fases wordt een redelijk positieve onderlinge correlatie gevonden.
- De amplitudes en fases zijn onderling slechts in beperkte mate (positief) gekorreleerd.

2 Resultaten PCA-analyse

2.1 Variatie langs de hoofdrichtingen

Zie 'Figuur' B.12b

- Langs de 1e hoofdrichting (55%, en die uniform is opgebouwd uit amplituden en fases, opmerkelijk genoeg beide met het zelfde teken) en de 2e hoofdrichting (33.1%, weer uniform opgebouwd uit amplituden en fases, maar nu wel met tegengesteld teken) worden grillige, sterk oscillerende temporele variaties gevonden, en lijken zich daaronder geen meer structurele trends waarneembaar.
- Een duidelijke trend, zij het beperkt qua omvang, wordt gezien langs de 3e hoofdrichting (3.9%).

2.2 Hoofd/Substructuren van de amplitudes (stationsgewijs)

Zie 'Figuur' B.12c

T.a.v. de temporele variaties rond het gemiddelde (over 1971-1997) kan voor de amplitudes het volgende worden opgemerkt:

- Voor alle stations wordt een gelijkvormig verloop van de (t.o.v. gemiddelde) temporele amplitude variaties waargenomen. Dit is echter zeer grillig/sterk fluktuierend van vorm. Voor de oostelijke stations lijkt een licht stijgende trend waarneembaar. Deze is voor Bath in zekere mate persistent (1971-1978) na verdere reductie van hoofdkomponenten.

2.3 Hoofd/Substructuren van de fases (stationsgewijs)

Zie 'Figuur' B.12d

T.a.v. de temporele variaties rond het gemiddelde (over 1971-1997) kan voor de fases het volgende worden opgemerkt:

- Een uniform, maar zeer grillig fluktuierend tijdsverloop van de fases rond een gemiddelde wordt hier gevonden. De grootste gelijkvormigheid geldt voor de oostelijke stations. Daarbij wordt overal een groot negatief extreem in 1984 gevonden, en het positieve extreem te 1979 is vooral in Hansweert en Bath erg dominant.
- Geen duidelijke persistente substructuren na verdere eliminatie van hoofdrichtingen.

Case : Westerschelde,
 PCA analysis AMPLITUDES M2 + PHASES M2

Stations: Cadzand, West-Kapelle, Vlissingen, Terneuzen, Hansweert, Bath

Entries : 1 2 3 4 5 6 AMPL.
 7 8 9 10 11 12 PHASES

Period : 1971-1987

Prepared: 17 nov. 1998

by : Henk van den Boogaard

PCA --- A N A L Y S I S

input data >

number of samples read from file : 0027

dimension of each sample : 0012

dimension of input part of each sample: 0012

dimension of output part of each sample: 0000

scaling option for inputs : z

scaling option for outputs : z

M₂

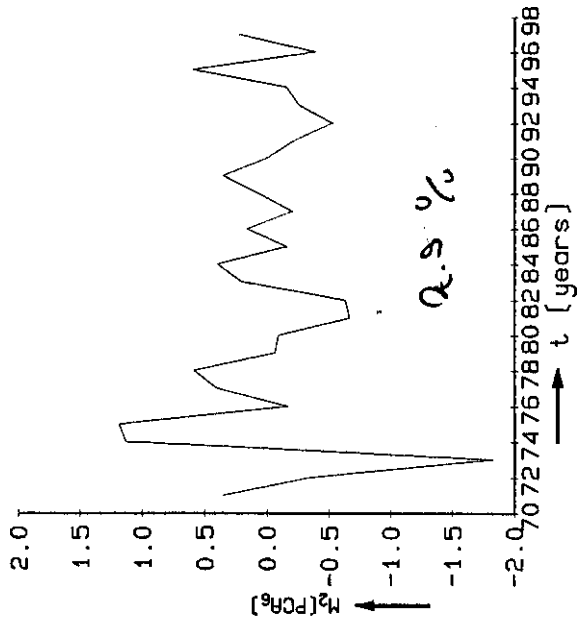
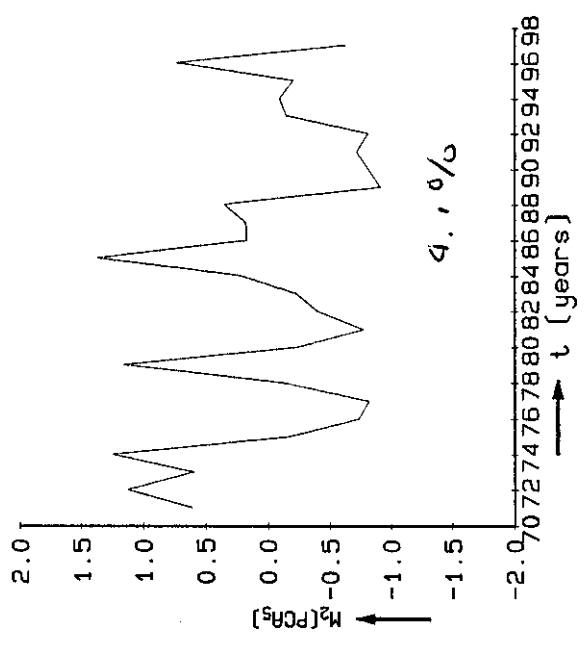
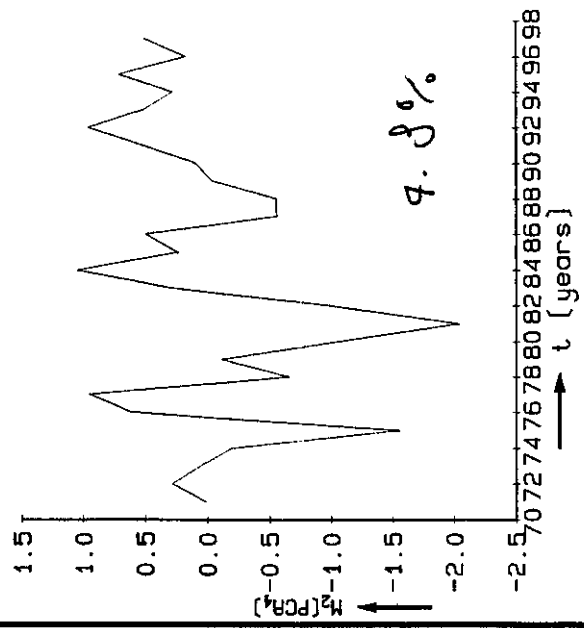
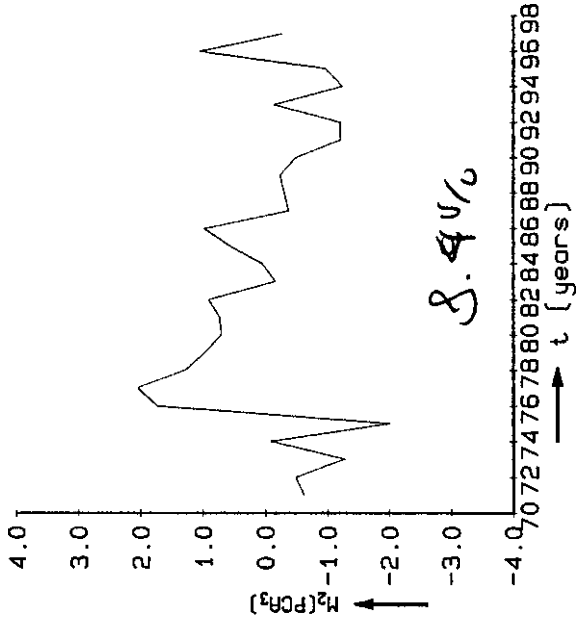
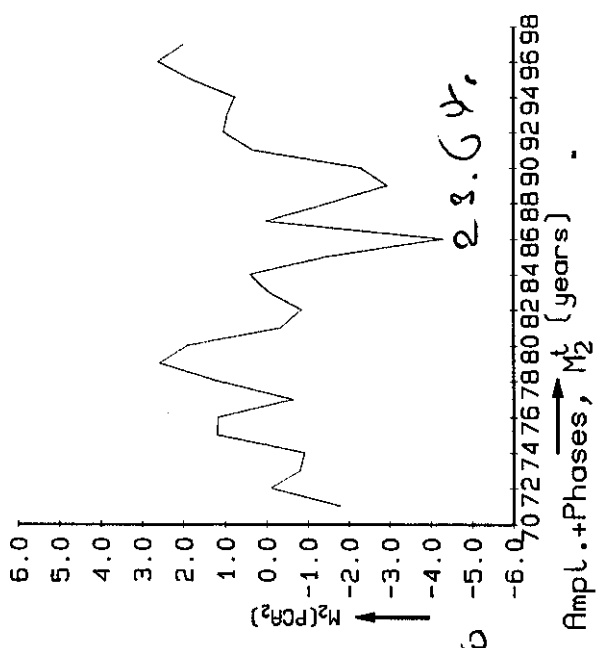
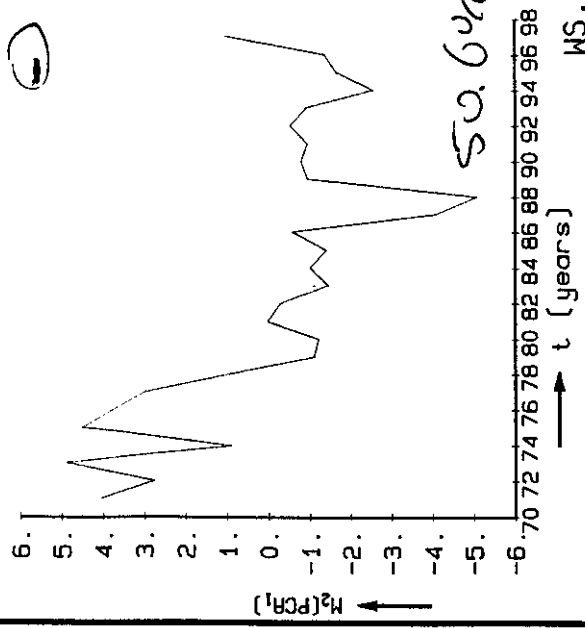
Means and standard deviations of the components of nonscaled ensemble:

nr.	mean	stand_dev.	variance	min.	max.	range
01>	167.3	1.289	1.660	165.2	170.4	5.194
02>	153.4	1.035	1.070	151.4	155.5	4.103
03>	174.1	1.230	1.512	171.8	176.0	4.153
04>	186.8	1.510	2.279	183.6	189.6	5.987
05>	197.6	2.009	4.035	194.4	201.7	7.272
06>	207.5	4.275	18.28	197.1	213.7	16.63
07>	49.23	0.4641	0.2154	48.31	50.02	1.710
08>	53.57	0.6929	0.4801	52.28	55.87	3.590
09>	59.30	0.6339	0.4018	58.08	60.40	2.320
10>	68.98	0.8336	0.6949	67.54	71.68	4.140
11>	79.95	0.9743	0.9492	78.20	81.96	3.760
12>	93.38	0.9928	0.9856	91.35	95.17	3.820

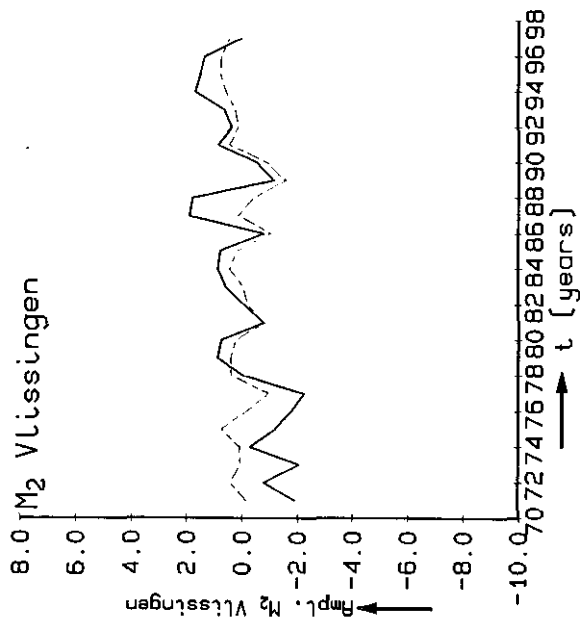
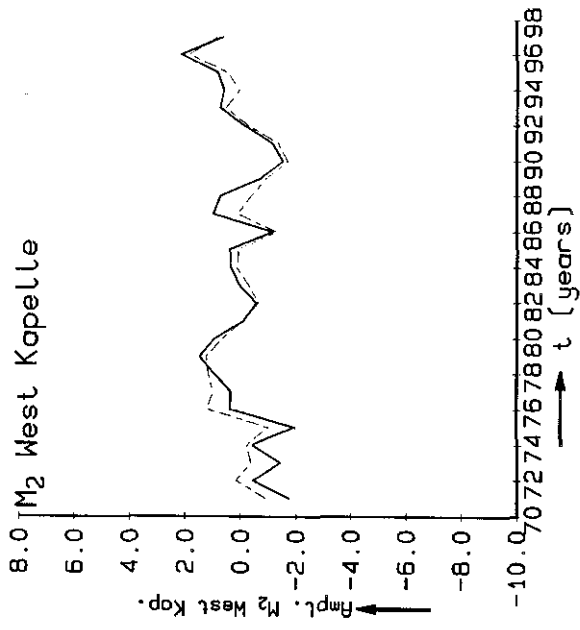
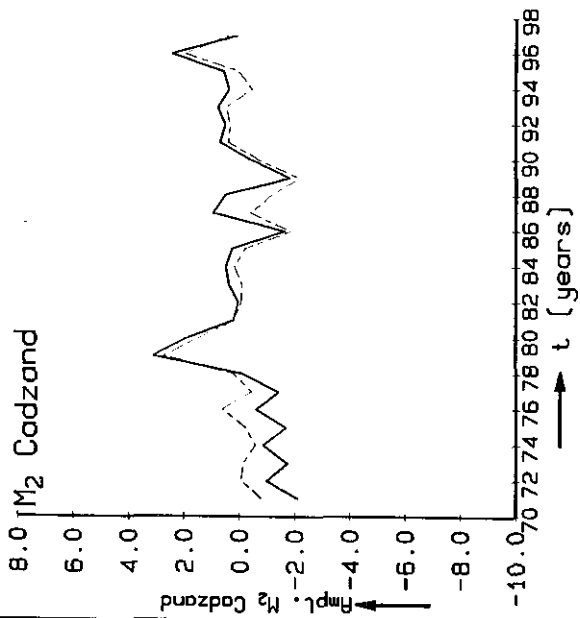
2nd moment matrix $\langle x(i)x(j) \rangle$ of non-scaled ensemble:

	01	02	03	04	05	06
01	0.2906E+05	0.2664E+05	0.3024E+05	0.3245E+05	0.3432E+05	0.3605E+05
02	0.2664E+05	0.2443E+05	0.2773E+05	0.2976E+05	0.3147E+05	0.3305E+05
03	0.3024E+05	0.2773E+05	0.3147E+05	0.3377E+05	0.3572E+05	0.3752E+05
04	0.3245E+05	0.2976E+05	0.3377E+05	0.3625E+05	0.3834E+05	0.4026E+05
05	0.3432E+05	0.3147E+05	0.3572E+05	0.3834E+05	0.4055E+05	0.4259E+05
06	0.3605E+05	0.3305E+05	0.3752E+05	0.4026E+05	0.4259E+05	0.4474E+05
07	8552.	7842.	8900.	9552.	0.1010E+05	0.1061E+05
08	9306.	8532.	9684.	0.1039E+05	0.1099E+05	0.1154E+05
09	0.1030E+05	9445.	0.1072E+05	0.1150E+05	0.1217E+05	0.1278E+05
10	0.1198E+05	0.1099E+05	0.1247E+05	0.1338E+05	0.1415E+05	0.1486E+05
11	0.1389E+05	0.1273E+05	0.1445E+05	0.1551E+05	0.1640E+05	0.1723E+05
12	0.1622E+05	0.1487E+05	0.1688E+05	0.1811E+05	0.1916E+05	0.2012E+05
	07	08	09	10	11	12
01	8552.	9306.	0.1030E+05	0.1198E+05	0.1389E+05	0.1622E+05
02	7842.	8532.	9445.	0.1099E+05	0.1273E+05	0.1487E+05
03	8900.	9684.	0.1072E+05	0.1247E+05	0.1445E+05	0.1688E+05
04	9552.	0.1039E+05	0.1150E+05	0.1338E+05	0.1551E+05	0.1811E+05
05	0.1010E+05	0.1099E+05	0.1217E+05	0.1415E+05	0.1640E+05	0.1916E+05

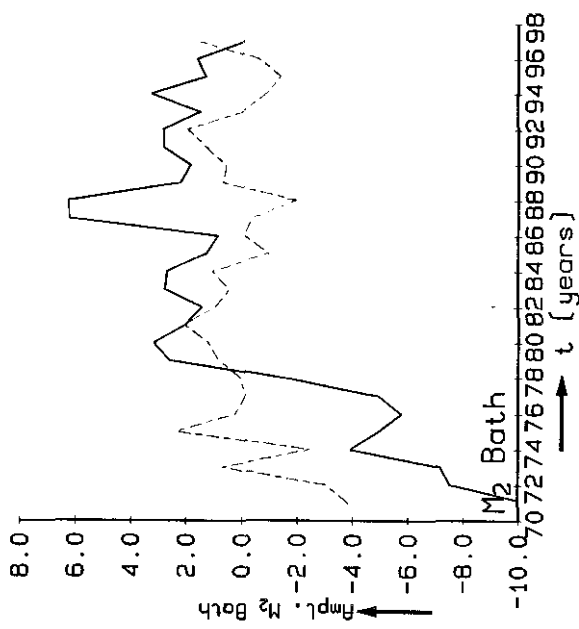
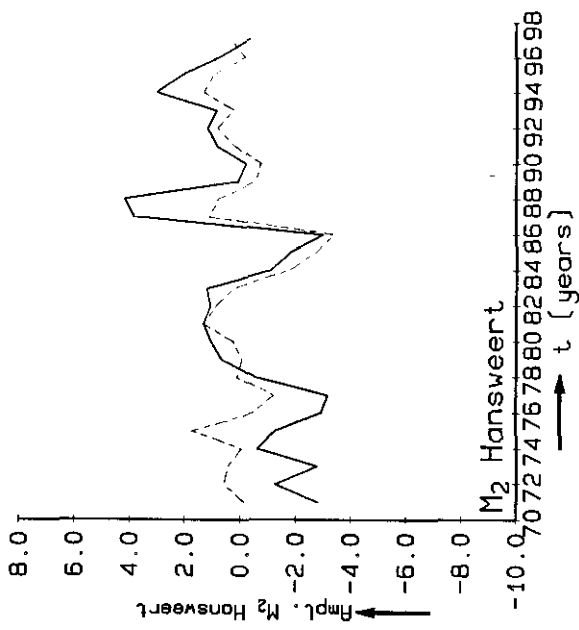
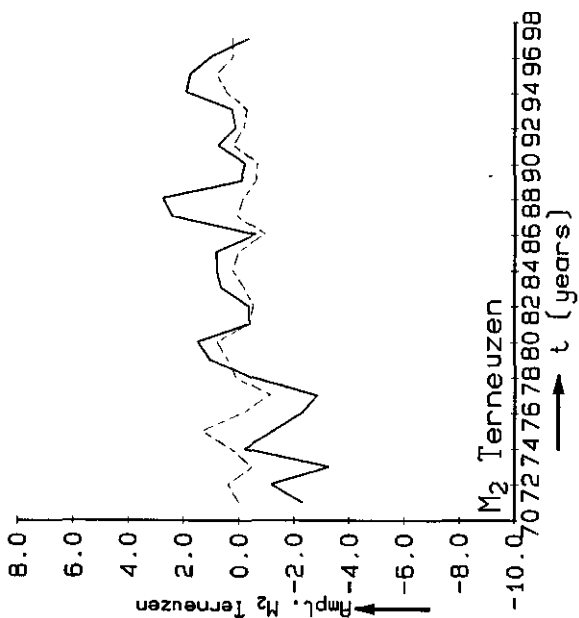
$\Sigma_i = 99.0$



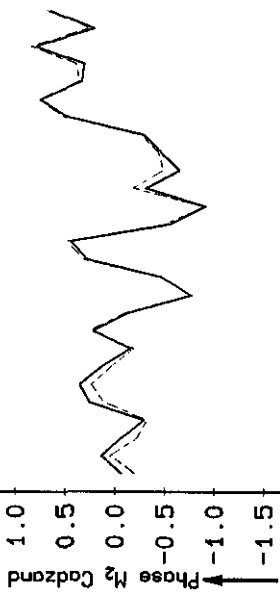
MS, Ampl. + Phases, M_2^2



Reconstructed AMPLITUDES $-[0,0]$ and $-[0,1]$ after PCA analysis A+P

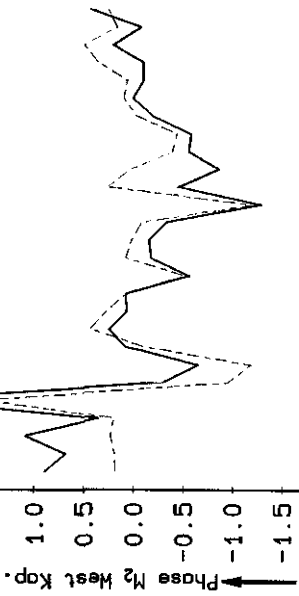


2.5 M₂ Cadzand



2.5 70 72 74 76 78 80 82 84 86 88 90 92 94 96 98
→ t (years)

2.5 M₂ West Kapelle



2.5 70 72 74 76 78 80 82 84 86 88 90 92 94 96 98
→ t (years)

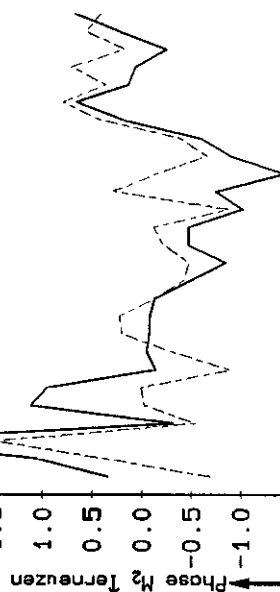
2.5 M₂ Vlissingen



2.5 70 72 74 76 78 80 82 84 86 88 90 92 94 96 98
→ t (years)

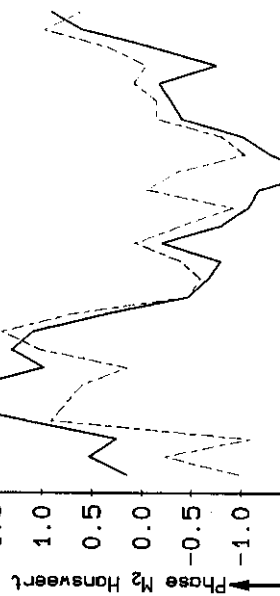
Reconstructed PHASES $-[0,0]$ and $-[0,1]$ after PCA analysis R.+P.

2.5



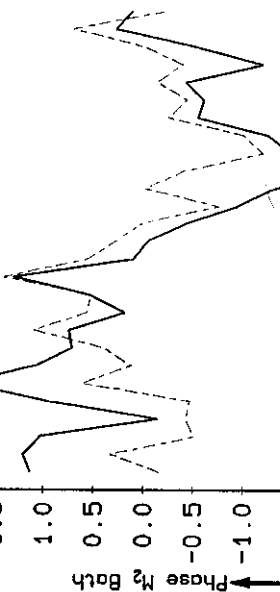
2.5 70 72 74 76 78 80 82 84 86 88 90 92 94 96 98
→ t (years)

2.5



2.5 70 72 74 76 78 80 82 84 86 88 90 92 94 96 98
→ t (years)

2.5



2.5 70 72 74 76 78 80 82 84 86 88 90 92 94 96 98
→ t (years)

```

-----
Case      : Westerschelde,
           PCA analysis AMPLITUDES S2 + PHASES S2
Stations: Cadzand, West-Kapelle, Vlissingen, Terneuzen, Hansweert, Bath
Entries  :   1           2           3           4           5           6   AMPL.
           7           8           9          10          11          12   PHASES
Period   : 1971-1987
Prepared: 16 nov. 1998
by       : Henk van den Boogaard
-----

```

PCA --- A N A L Y S I S

```

input data >
number of samples read from file : 0027
dimension of each sample : 0012
dimension of input part of each sample: 0012
dimension of output part of each sample: 0000
scaling option for inputs : z
scaling option for outputs : z

```

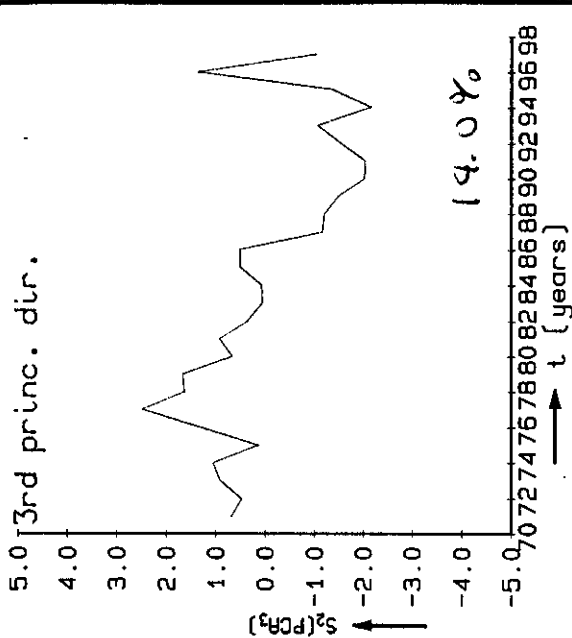
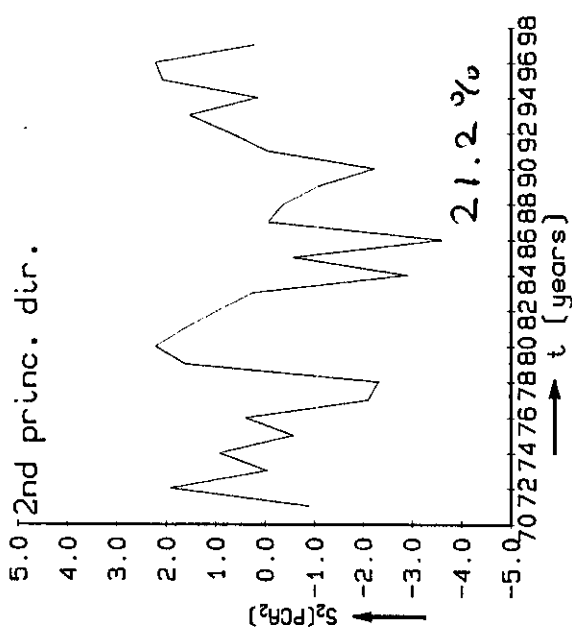
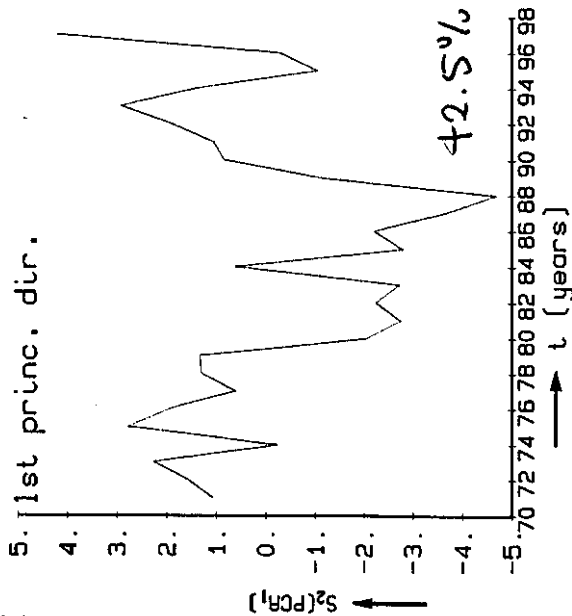
S₂

Means and standard deviations of the components of nonscaled ensemble:

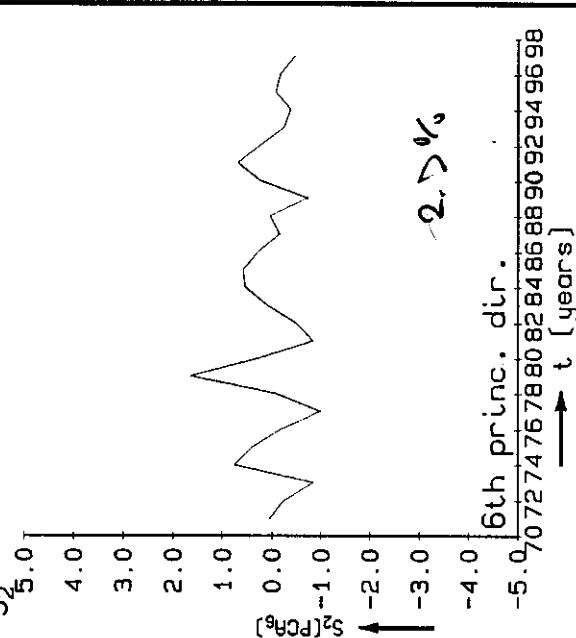
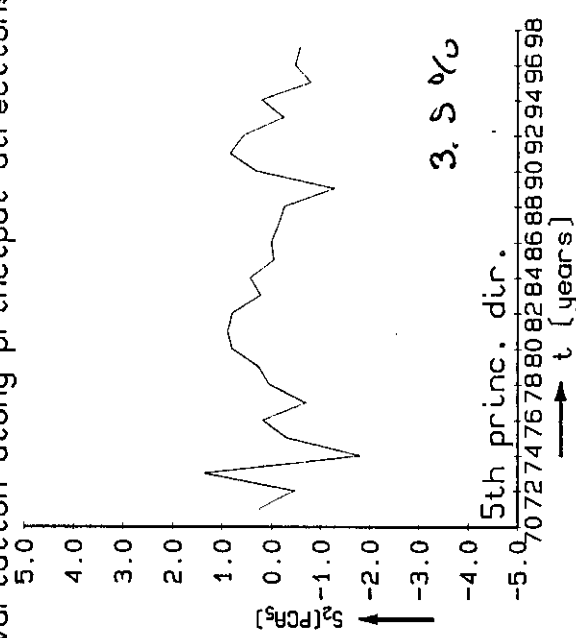
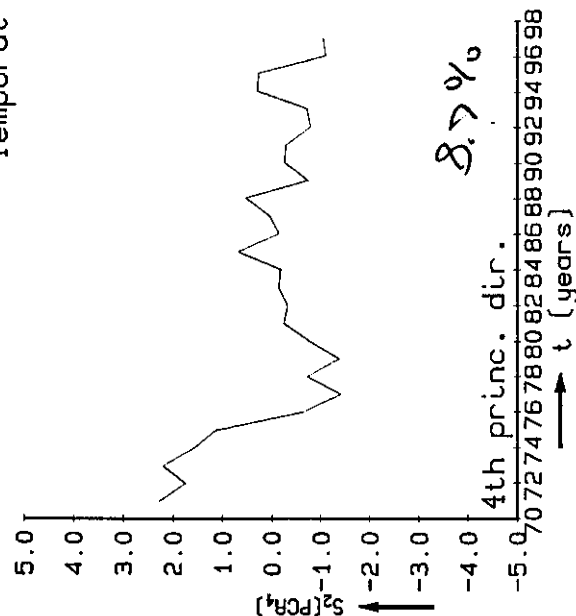
nr.	mean	stand_dev.	variance	min.	max.	range
01>	47.14	0.3602	0.1298	46.66	48.00	1.341
02>	42.62	0.2580	0.6656E-01	42.06	43.20	1.135
03>	47.99	0.2798	0.7826E-01	47.54	48.42	0.8730
04>	50.35	0.3912	0.1530	49.56	51.00	1.441
05>	52.13	0.5777	0.3337	51.09	53.15	2.059
06>	53.77	1.099	1.208	51.33	55.52	4.186
07>	105.2	0.7899	0.6239	103.8	106.7	2.960
08>	109.4	0.8296	0.6882	107.9	111.1	3.230
09>	116.6	0.8120	0.6593	115.1	118.2	3.110
10>	128.5	1.068	1.140	126.9	131.1	4.140
11>	141.4	1.113	1.239	139.5	143.2	3.720
12>	156.5	0.8976	0.8058	154.3	158.1	3.830

2nd moment matrix <x(i)x(j)> of non-scaled ensemble:

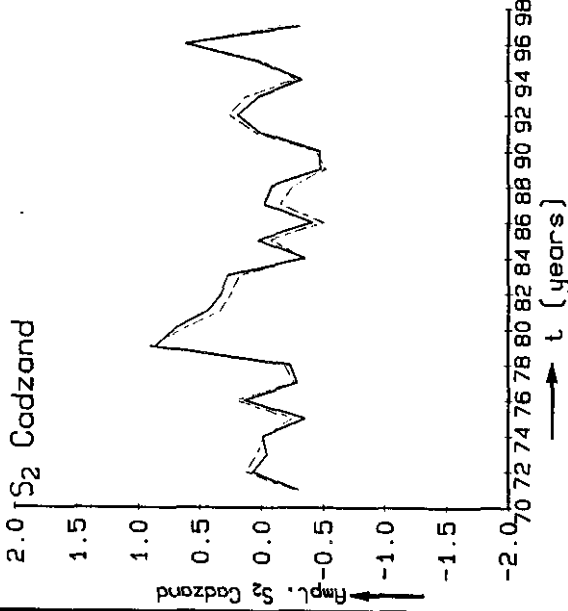
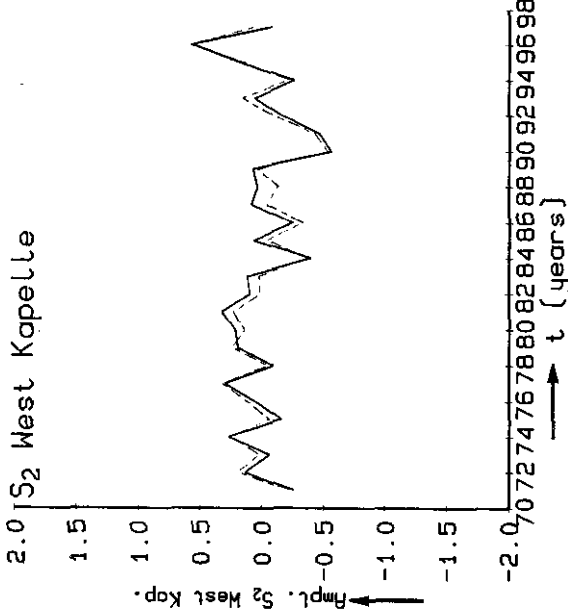
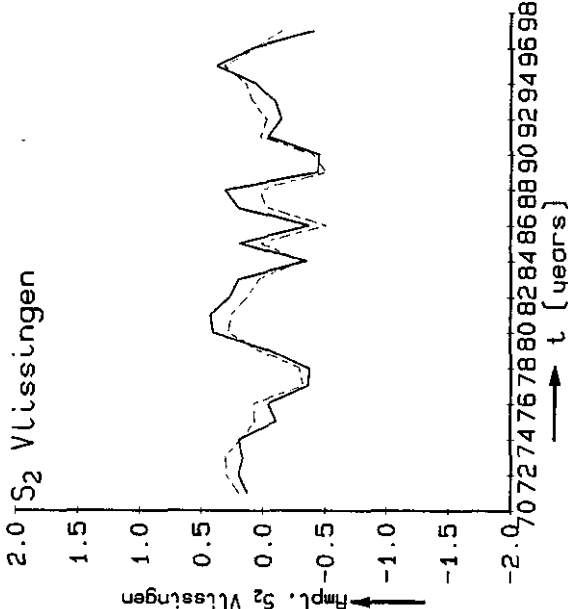
	01	02	03	04	05	06
01	2308.	2087.	2349.	2465.	2552.	2632.
02	2087.	1887.	2124.	2229.	2307.	2380.
03	2349.	2124.	2392.	2510.	2598.	2680.
04	2465.	2229.	2510.	2633.	2726.	2812.
05	2552.	2307.	2598.	2726.	2822.	2911.
06	2632.	2380.	2680.	2812.	2911.	3004.
07	5149.	4656.	5242.	5501.	5694.	5874.
08	5355.	4842.	5452.	5720.	5922.	6108.
09	5707.	5160.	5810.	6095.	6310.	6509.
10	6289.	5687.	6403.	6718.	6955.	7173.
11	6924.	6261.	7049.	7396.	7656.	7897.
12	7661.	6927.	7799.	8183.	8471.	8738.
	07	08	09	10	11	12
01	5149.	5355.	5707.	6289.	6924.	7661.
02	4656.	4842.	5160.	5687.	6261.	6927.
03	5242.	5452.	5810.	6403.	7049.	7799.
04	5501.	5720.	6095.	6718.	7396.	8183.
05	5694.	5922.	6310.	6955.	7656.	8471.



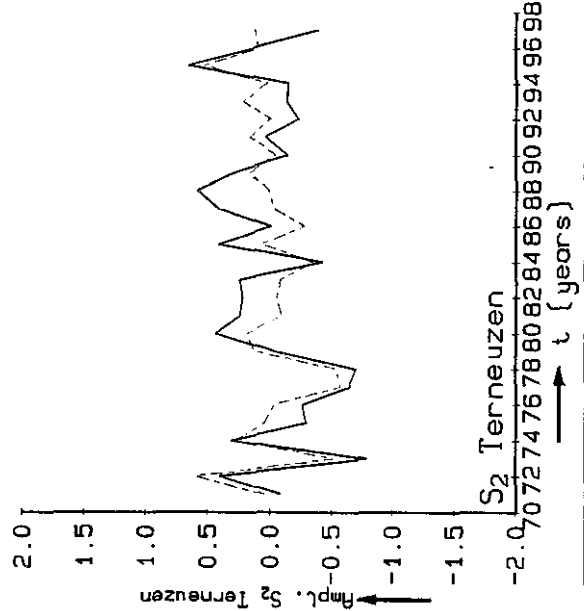
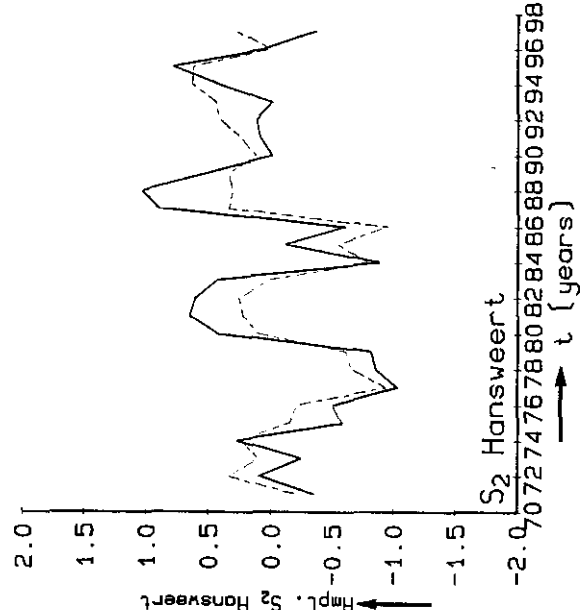
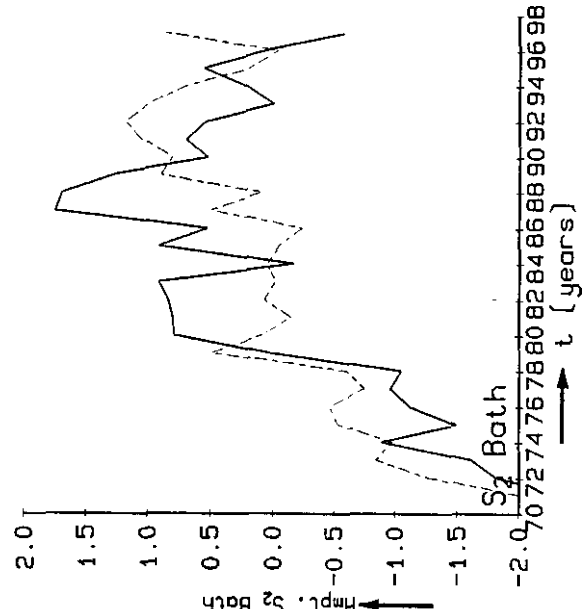
Temporal variation along principal directions S_2



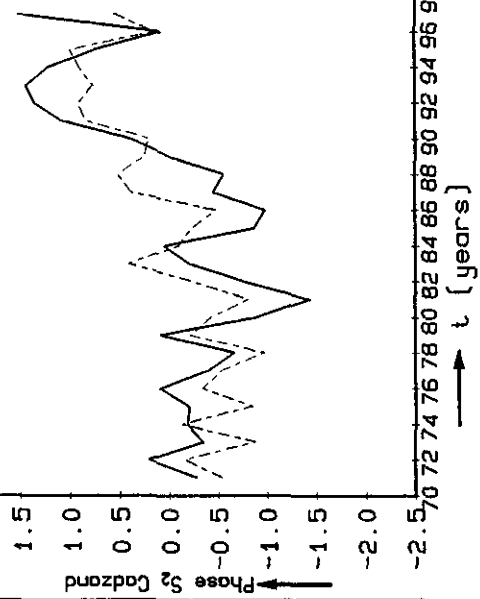
$\Sigma_1^6 = 93.0\%$



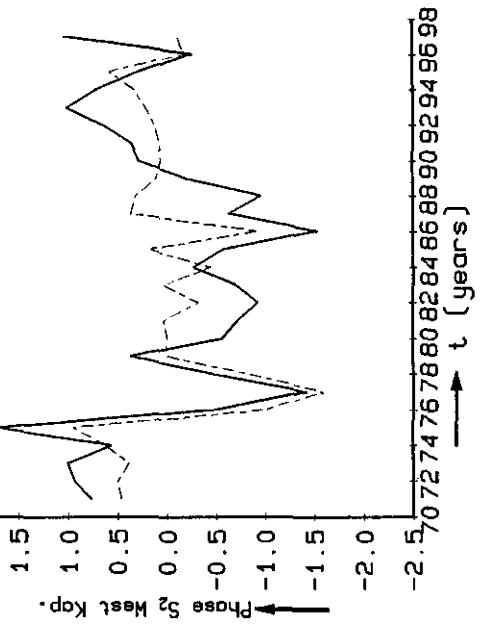
Reconstructed AMPLITUDES $-[0,0]$ and $-[0,1]$ after PCA analysis A+P



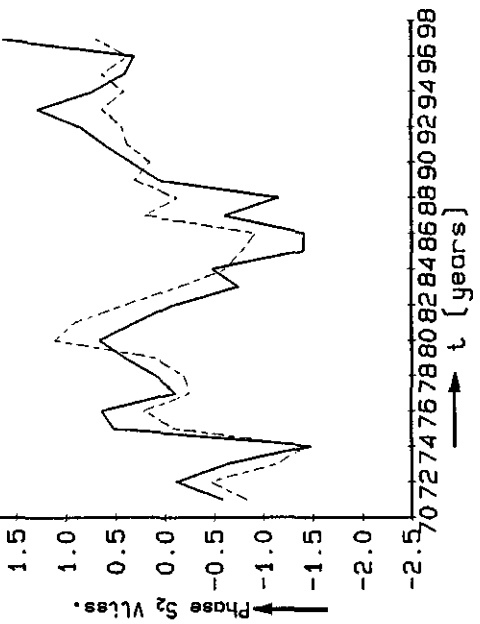
S₂ Cadzand



S₂ West Kapelle

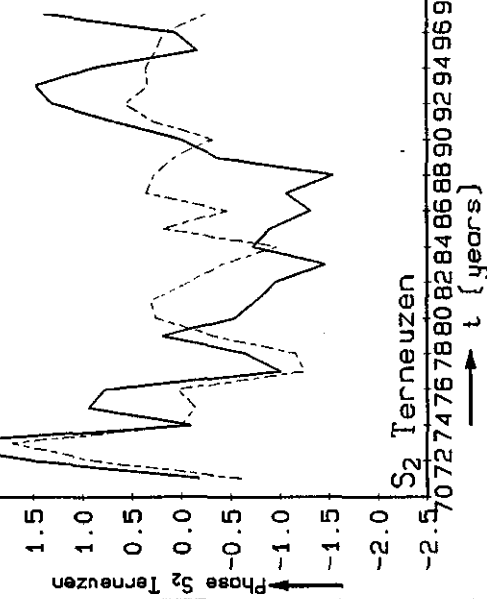


S₂ Vlissingen

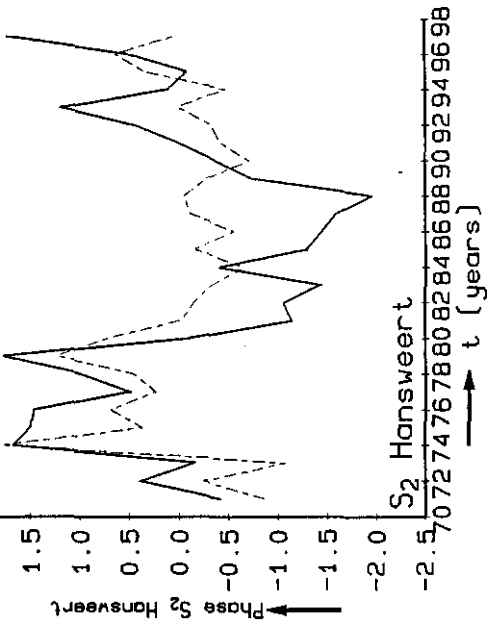


Reconstructed PHASES $-[0,0]$ and $-[0,1]$ after PCA analysis A.+P.

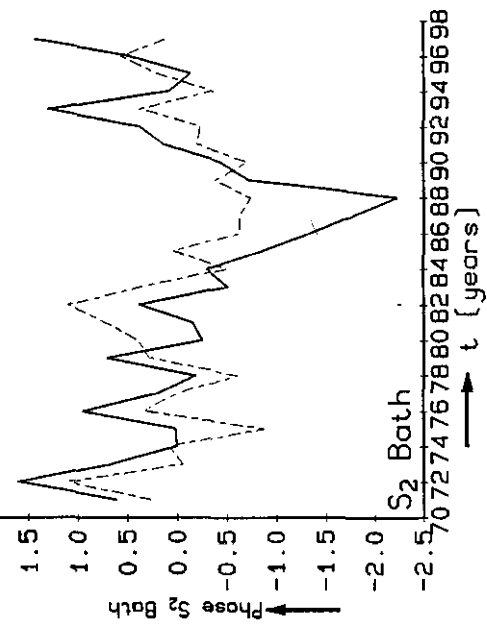
S₂ Terneuzen



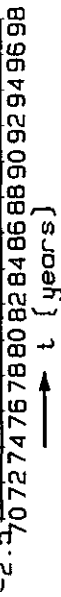
S₂ Hansweert



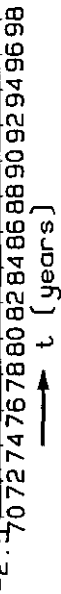
S₂ Bath



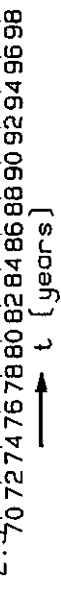
S₂ Terneuzen



S₂ Hansweert



S₂ Bath



Case : Westerschelde,
 PCA analysis AMPLITUDES N2 + PHASES N2

Stations: Cadzand, West-Kapelle, Vlissingen, Terneuzen, Hansweert, Bath

Entries : 1 2 3 4 5 6 AMPL.
 7 8 9 10 11 12 PHASES

Period : 1971-1987

Prepared: 25 nov. 1998

by : Henk van den Boogaard

PCA --- A N A L Y S I S

input data >

number of samples read from file : 0027

dimension of each sample : 0012

dimension of input part of each sample: 0012

dimension of output part of each sample: 0000

scaling option for inputs : z

scaling option for outputs : z

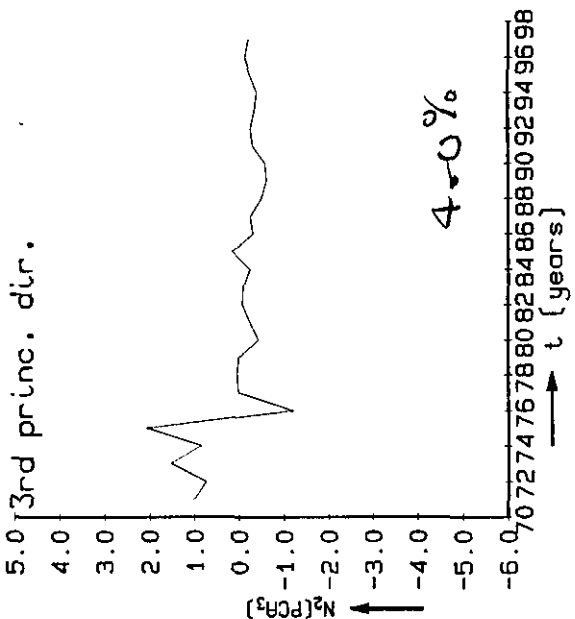
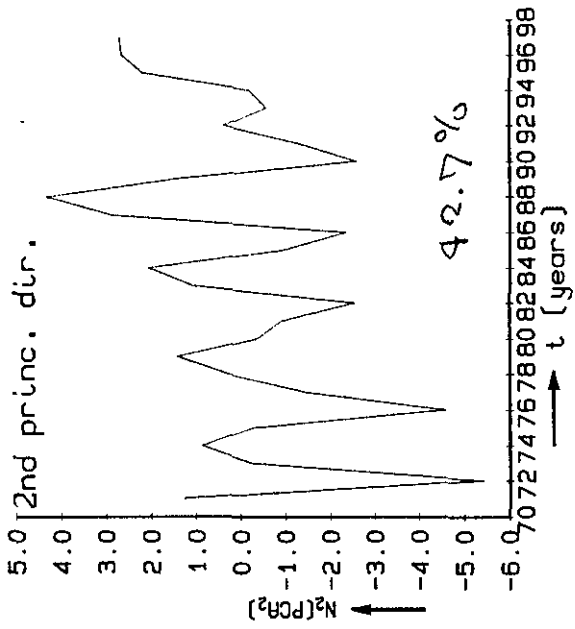
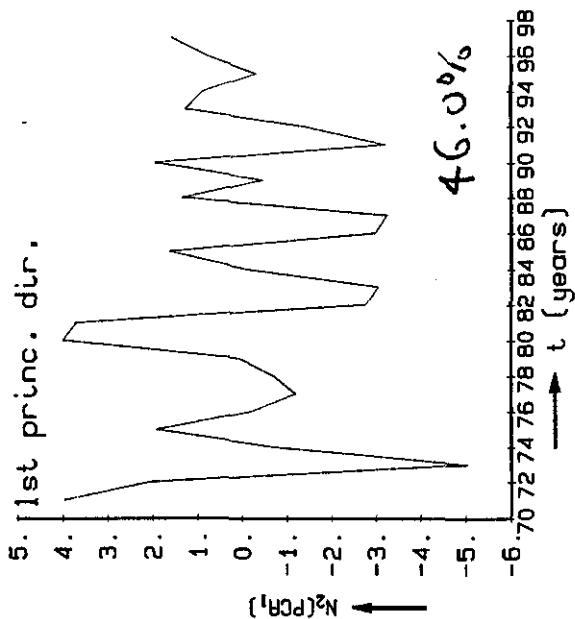
N₂

Means and standard deviations of the components of nonscaled ensemble:

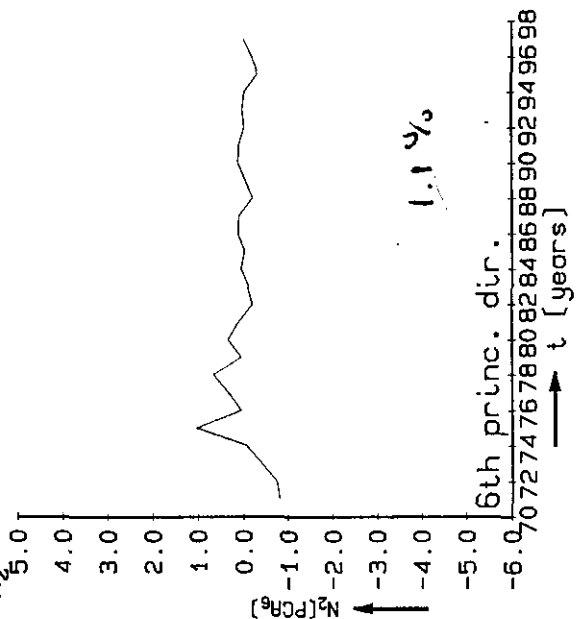
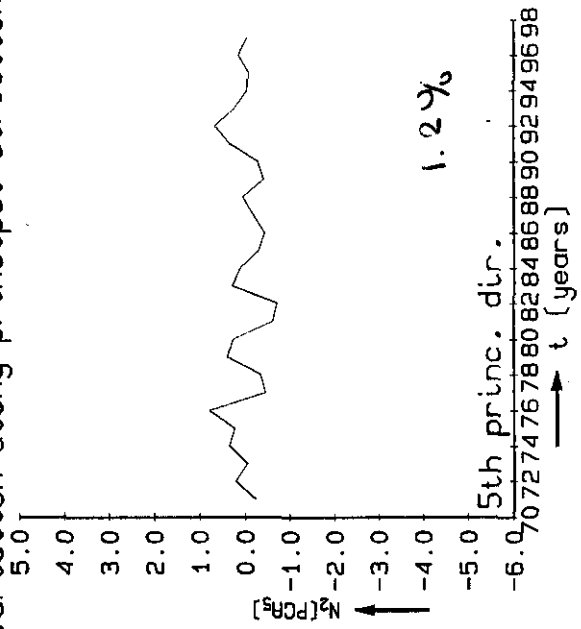
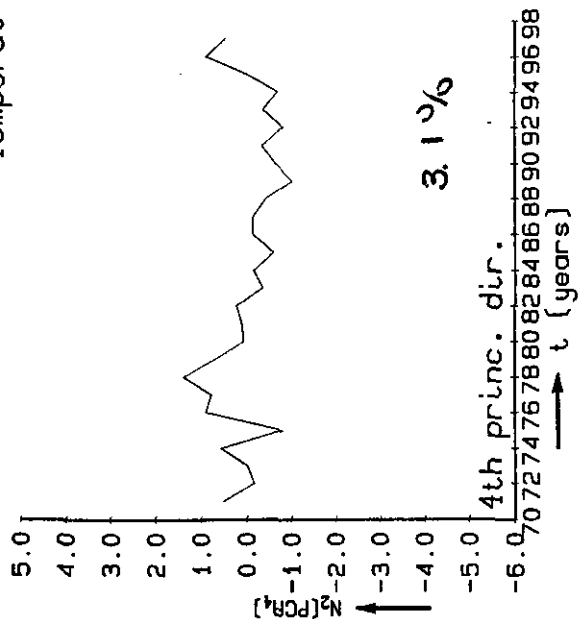
nr.	mean	stand_dev.	variance	min.	max.	range
01>	27.88	0.6386	0.4078	26.64	29.06	2.424
02>	25.40	0.5904	0.3486	24.28	26.49	2.211
03>	28.77	0.7347	0.5398	27.31	30.22	2.912
04>	30.45	0.8183	0.6696	28.73	31.89	3.162
05>	31.94	0.8940	0.7993	30.26	33.59	3.333
06>	33.31	1.073	1.151	30.60	35.26	4.663
07>	23.90	1.212	1.469	22.18	26.75	4.570
08>	27.78	1.375	1.891	25.45	31.10	5.650
09>	34.26	1.474	2.174	31.92	38.34	6.420
10>	44.76	1.810	3.275	41.45	49.11	7.660
11>	56.09	1.874	3.512	52.20	60.02	7.820
12>	69.80	2.302	5.298	65.18	75.04	9.860

2nd moment matrix $\langle x(i)x(j) \rangle$ of non-scaled ensemble:

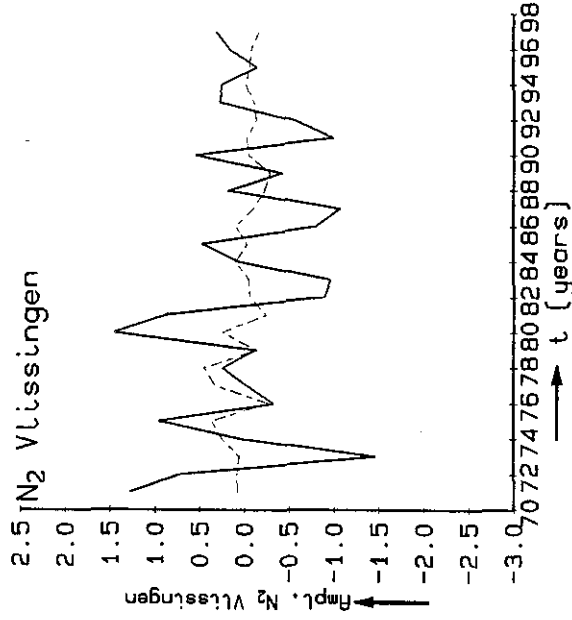
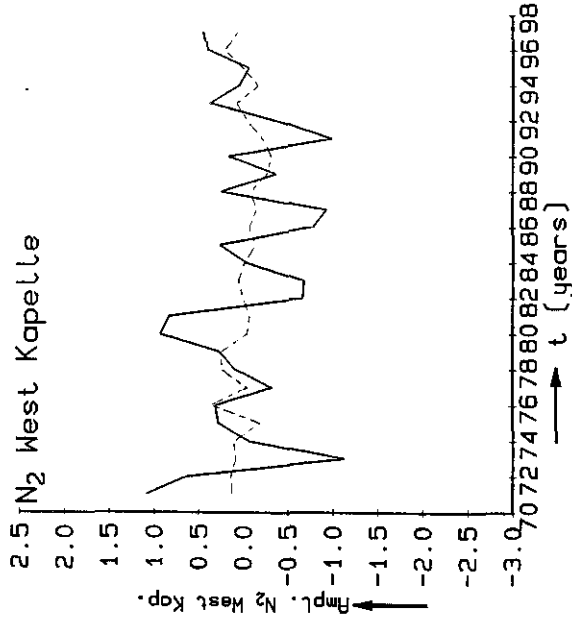
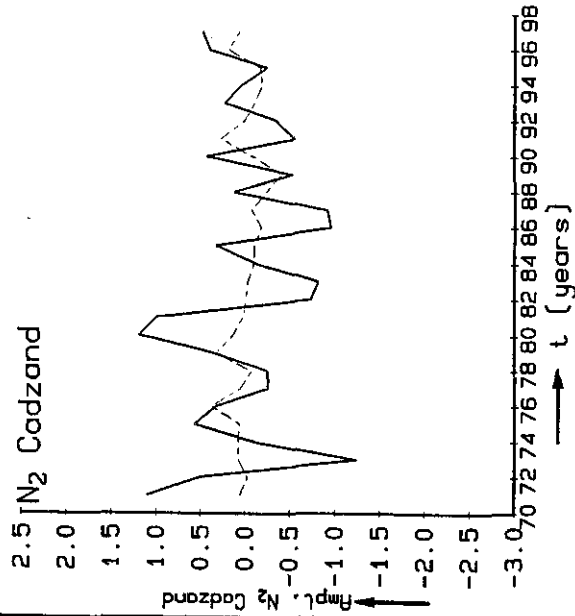
	01	02	03	04	05	06
01	807.4	735.8	833.3	882.1	925.0	964.8
02	735.8	670.5	759.4	803.8	843.0	879.2
03	833.3	759.4	860.1	910.4	954.8	995.8
04	882.1	803.8	910.4	963.7	1011.	1054.
05	925.0	843.0	954.8	1011.	1060.	1106.
06	964.8	879.2	995.8	1054.	1106.	1153.
07	691.8	630.4	713.9	755.8	792.6	826.7
08	804.3	732.9	830.1	878.7	921.5	960.9
09	992.0	904.0	1024.	1084.	1136.	1185.
10	1296.	1181.	1337.	1415.	1484.	1548.
11	1624.	1480.	1676.	1774.	1860.	1940.
12	2020.	1841.	2085.	2207.	2315.	2414.
	07	08	09	10	11	12
01	691.8	804.3	992.0	1296.	1624.	2020.
02	630.4	732.9	904.0	1181.	1480.	1841.
03	713.9	830.1	1024.	1337.	1676.	2085.
04	755.8	878.7	1084.	1415.	1774.	2207.
05	792.6	921.5	1136.	1484.	1860.	2315.



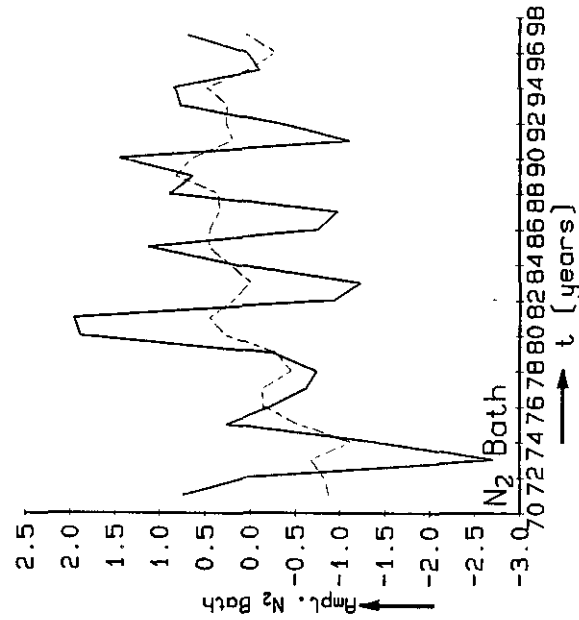
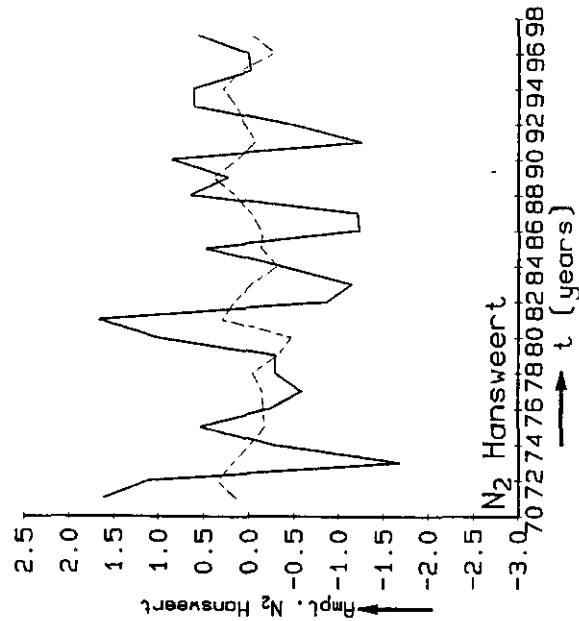
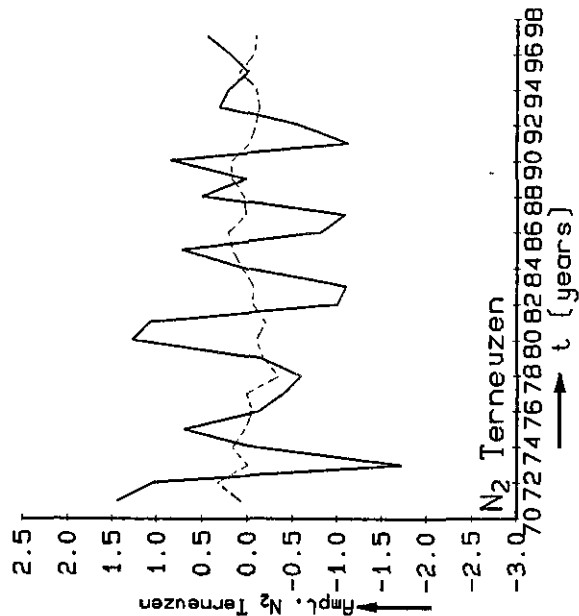
Temporal variation along principal directions N_2

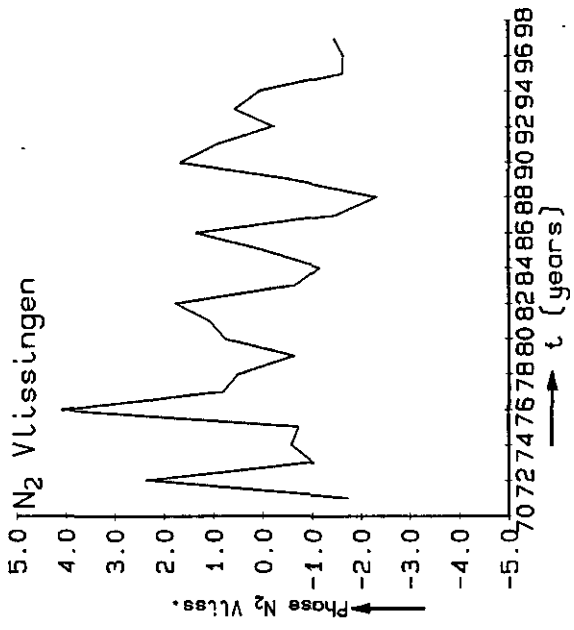
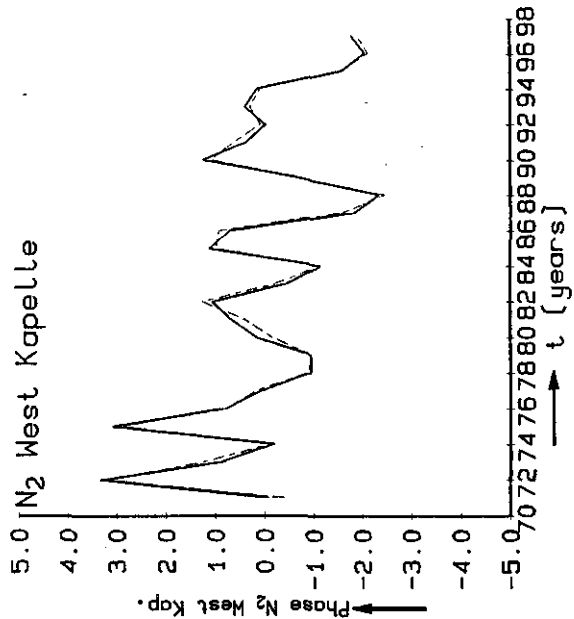
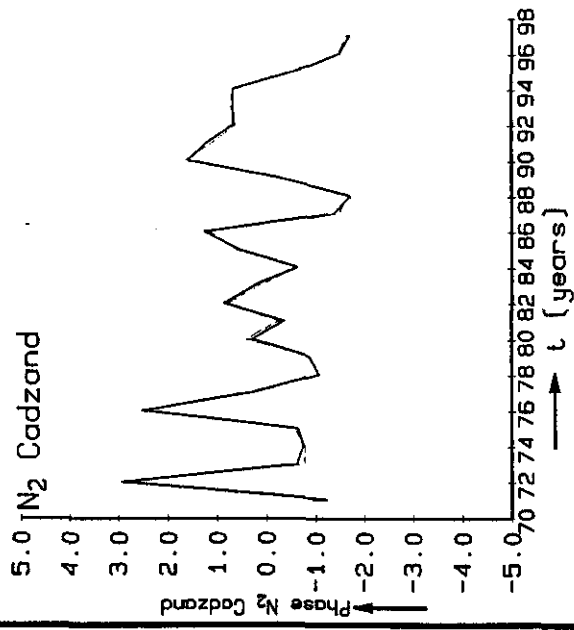


$\Sigma = 98.0\%$

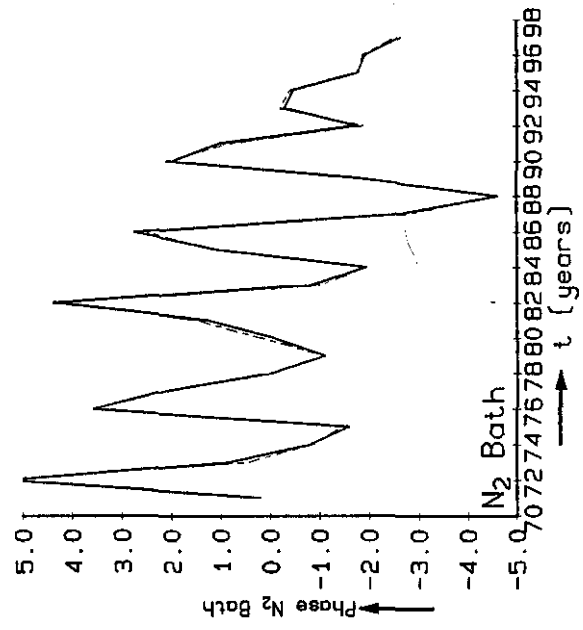
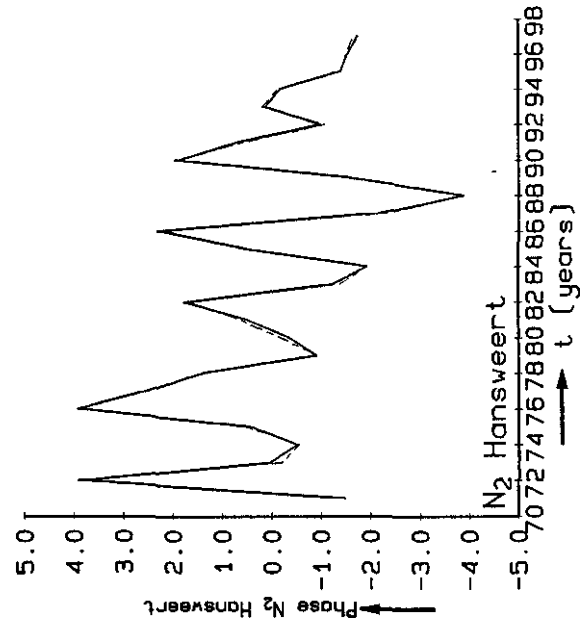
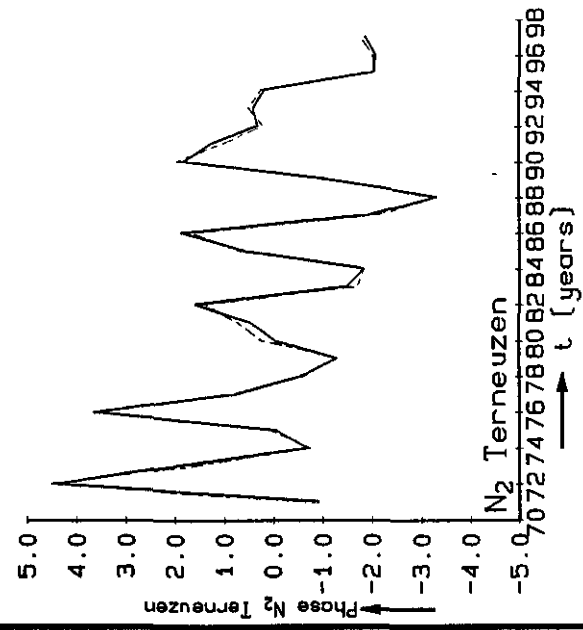


Reconstructed AMPLITUDES $-[0,0]$ and $-[0,1]$ after PCA analysis A+P





Reconstructed PHASES $-[0,0]$ and $-[0,1]$ after PCA analysis A.+P.



Case : Westerschelde,
 PCA analysis AMPLITUDES M4 + PHASES M4

Stations: Cadzand, West-Kapelle, Vlissingen, Terneuzen, Hansweert, Bath

Entries : 1 2 3 4 5 6 AMPL.
 7 8 9 10 11 12 PHASES

Period : 1971-1987

Prepared: 19 nov. 1998

by : Henk van den Boogaard

PCA --- A N A L Y S I S

input data >

number of samples read from file : 0027

dimension of each sample : 0012

dimension of input part of each sample: 0012

dimension of output part of each sample: 0000

scaling option for inputs : z

scaling option for outputs : z

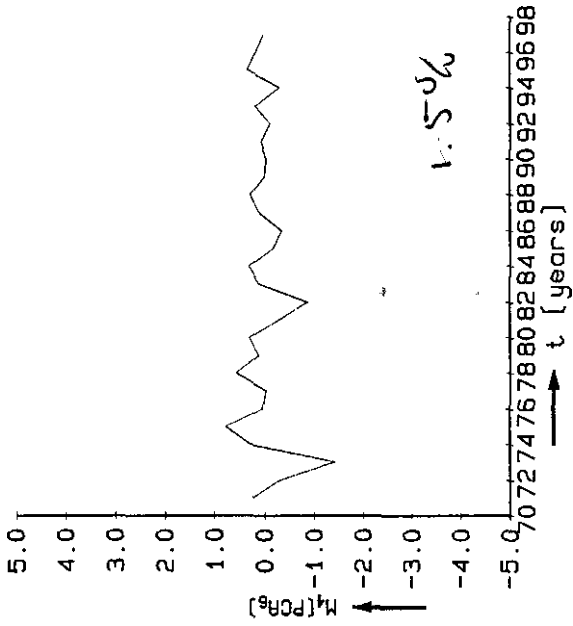
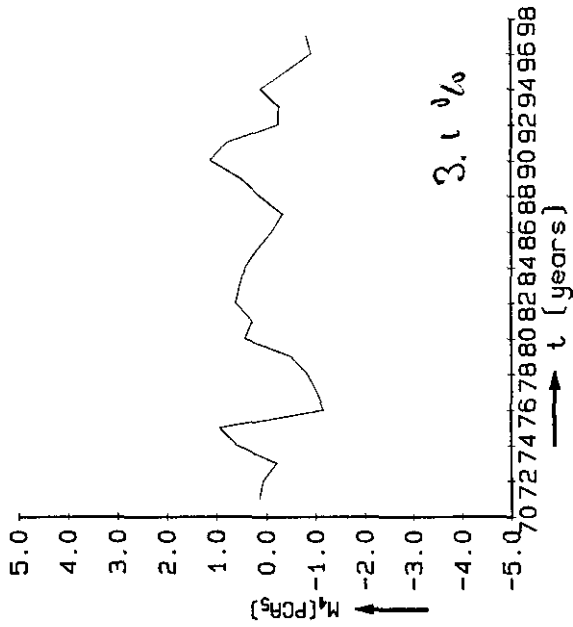
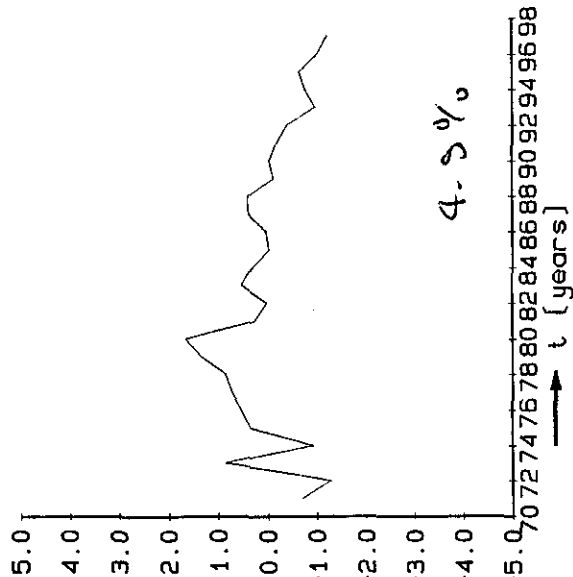
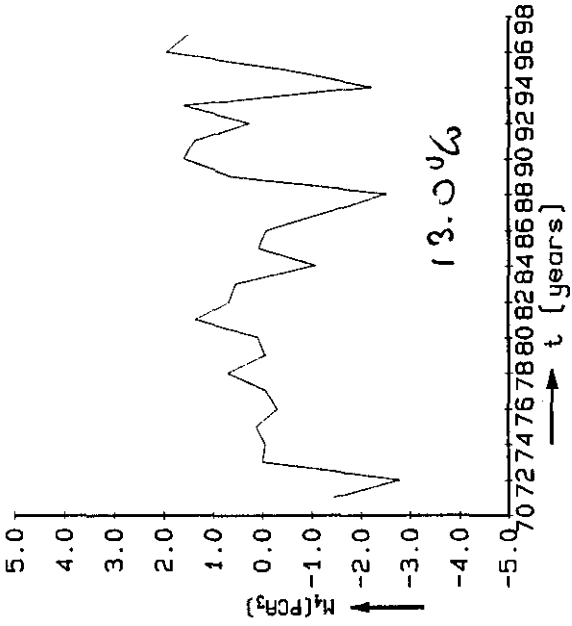
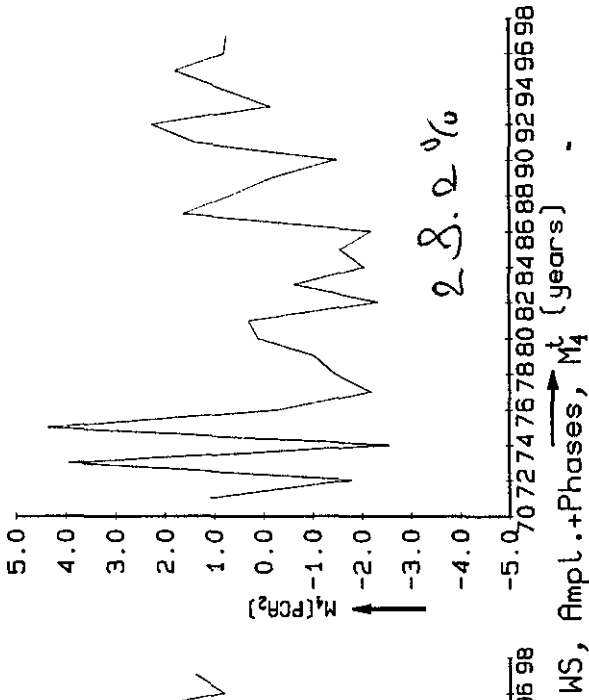
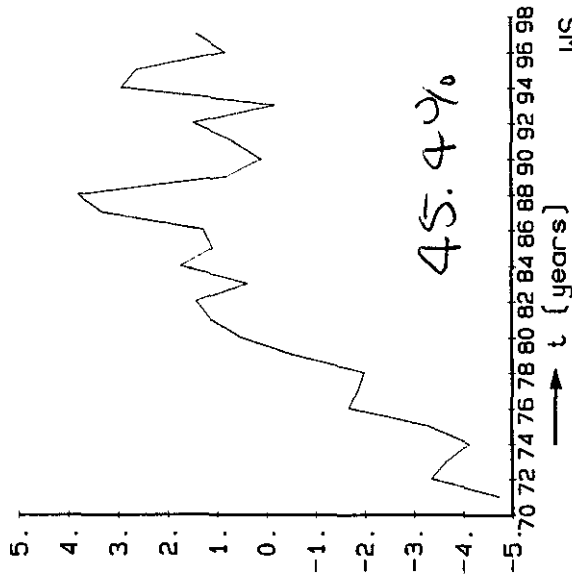
M4

Means and standard deviations of the components of nonscaled ensemble:

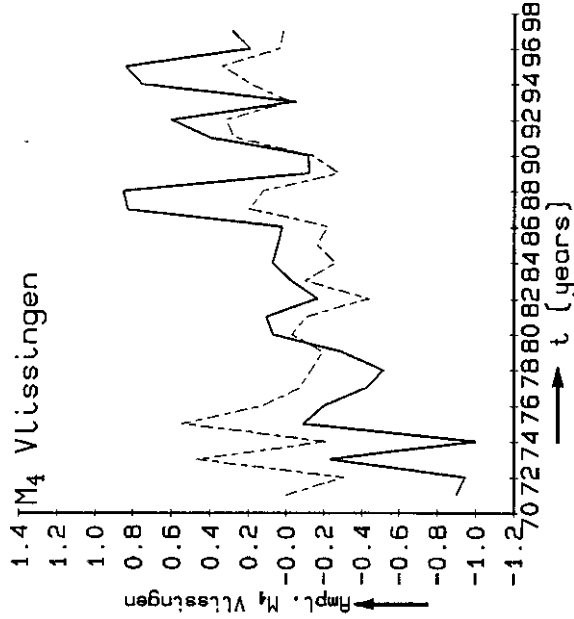
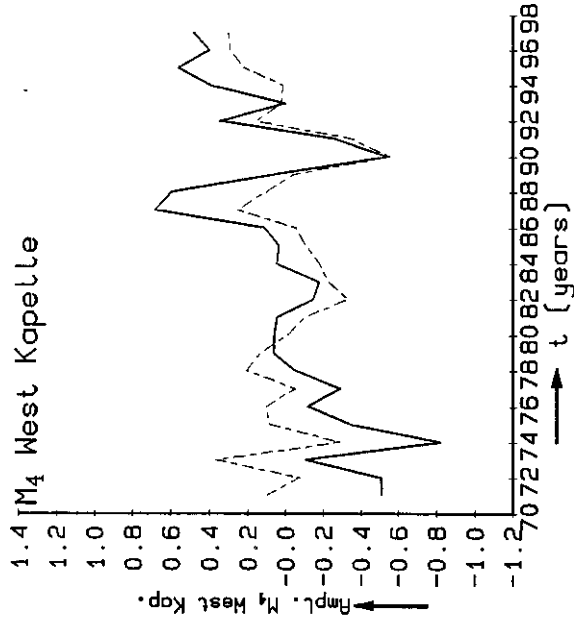
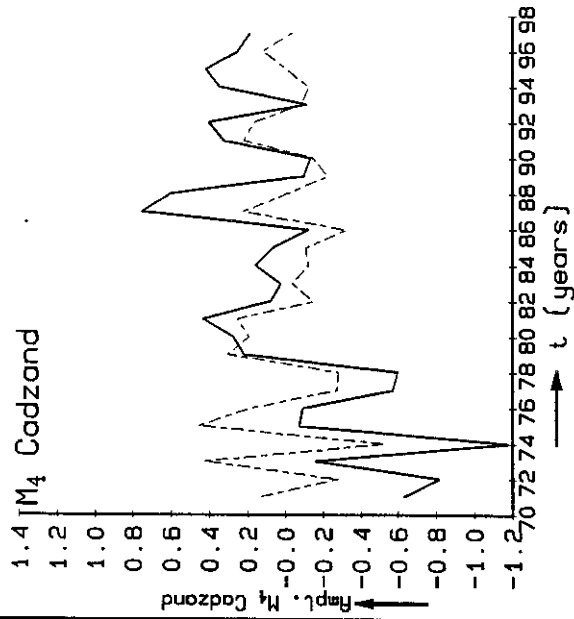
nr.	mean	stand_dev.	variance	min.	max.	range
01>	11.79	0.4455	0.1985	10.61	12.54	1.931
02>	13.62	0.3749	0.1405	12.80	14.30	1.501
03>	12.78	0.5086	0.2587	11.78	13.63	1.847
04>	11.86	0.6344	0.4024	10.74	13.12	2.376
05>	11.98	0.4433	0.1965	11.28	12.84	1.565
06>	12.10	0.5052	0.2552	11.41	13.29	1.873
07>	91.75	2.890	8.350	87.21	97.90	10.69
08>	96.42	3.045	9.270	90.92	105.8	14.83
09>	118.5	1.857	3.449	115.6	123.3	7.640
10>	135.1	3.558	12.66	130.8	148.5	17.78
11>	170.1	7.012	49.16	162.3	184.6	22.33
12>	168.1	4.276	18.29	160.7	175.3	14.65

2. moment matrix $\langle x(i)x(j) \rangle$ of non-scaled ensemble:

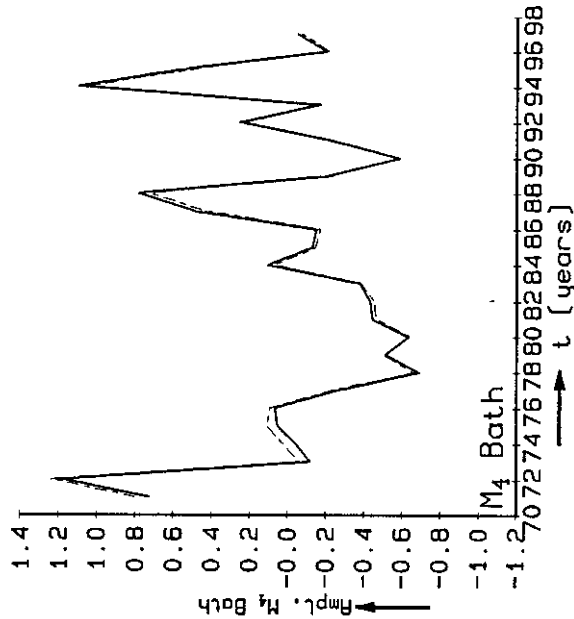
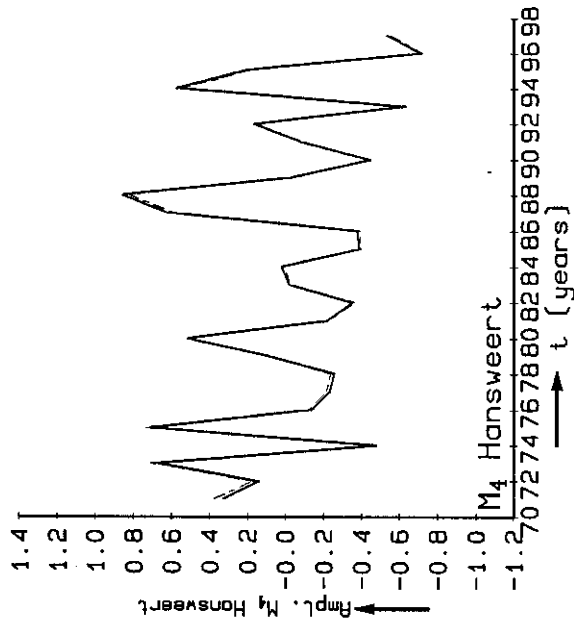
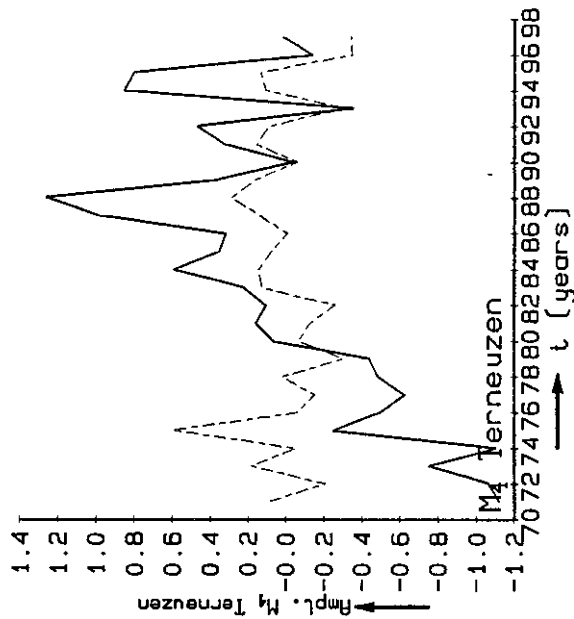
	01	02	03	04	05	06
01	144.5	166.9	156.6	145.4	146.7	148.2
02	166.9	192.8	180.9	167.9	169.5	171.3
03	156.6	180.9	169.8	157.6	159.1	160.7
04	145.4	167.9	157.6	146.4	147.6	149.1
05	146.7	169.5	159.1	147.6	149.3	150.7
06	148.2	171.3	160.7	149.1	150.7	152.4
07	1123.	1297.	1217.	1129.	1142.	1153.
08	1180.	1364.	1279.	1187.	1200.	1212.
09	1451.	1677.	1573.	1459.	1475.	1489.
10	1653.	1911.	1792.	1663.	1682.	1698.
11	2080.	2404.	2254.	2091.	2117.	2138.
12	2059.	2379.	2232.	2071.	2091.	2113.
01	1123.	1180.	1451.	1653.	2080.	2059.
02	1297.	1364.	1677.	1911.	2404.	2379.
03	1217.	1279.	1573.	1792.	2254.	2232.
04	1129.	1187.	1459.	1663.	2091.	2071.
05	1142.	1200.	1475.	1682.	2117.	2091.
06	1153.	1212.	1489.	1698.	2138.	2113.

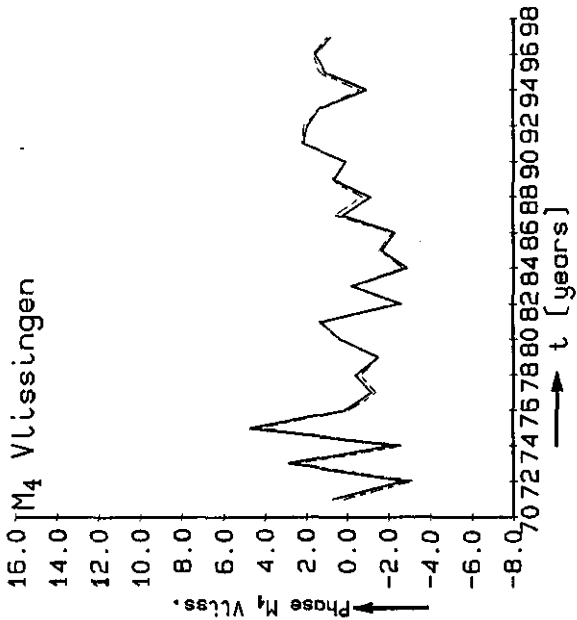
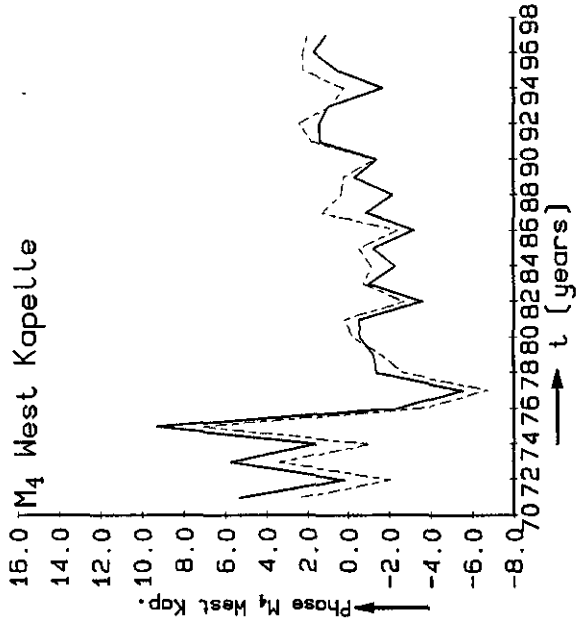
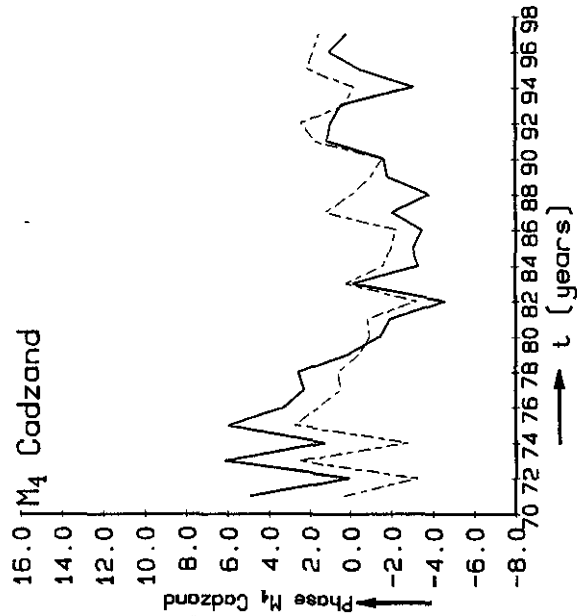


$$\sum_{i=1}^6 = 96.2\%$$

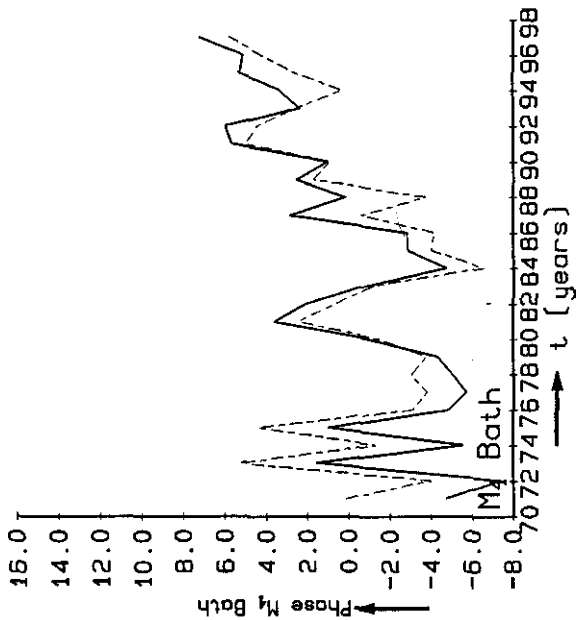
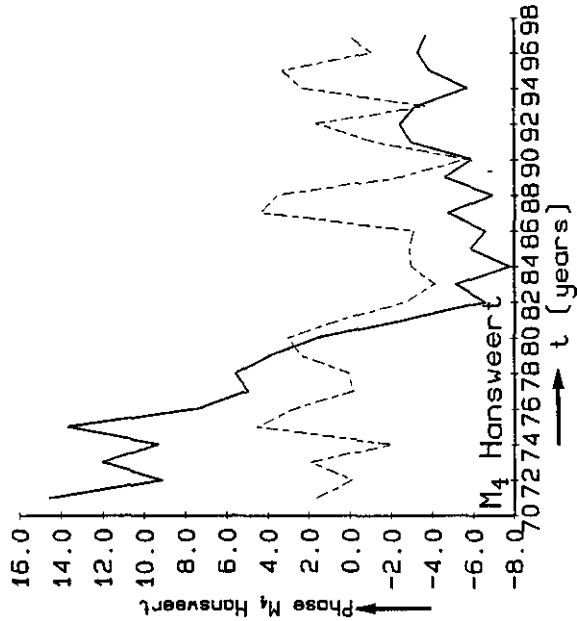
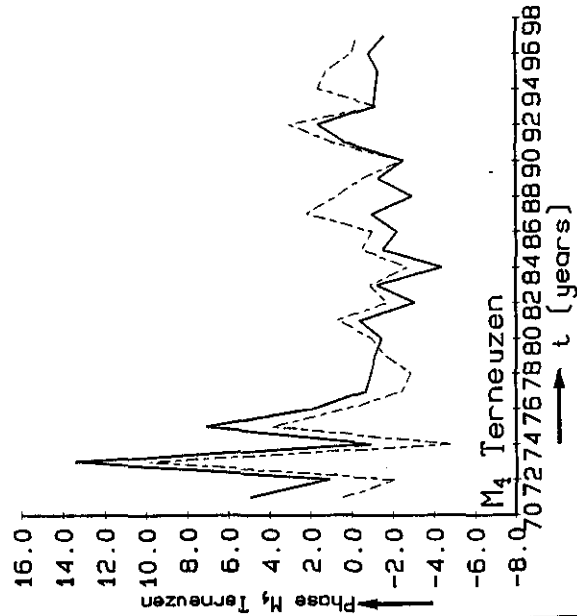


Reconstructed AMPLITUDES $-[0,0]$ and $-[0,1]$ after PCA analysis A+P





Reconstructed PHASES $-[0,0]$ and $-[0,1]$ after PCA analysis Amp.+Ph.



Case : Westerschelde,
 PCA analysis AMPLITUDES MS4 + PHASES MS4
 Stations: Cadzand, West-Kapelle, Vlissingen, Terneuzen, Hansweert, Bath
 Entries : 1 2 3 4 5 6
 7 8 9 10 11 12
 Period : 1971-1987
 Prepared: 20 nov. 1998
 by : Henk van den Boogaard

AMPL.
 PHASE

PCA --- A N A L Y S I S

input data >
 number of samples read from file : 0027
 dimension of each sample : 0012
 dimension of input part of each sample: 0012
 dimension of output part of each sample: 0000
 scaling option for inputs : z
 scaling option for outputs : z

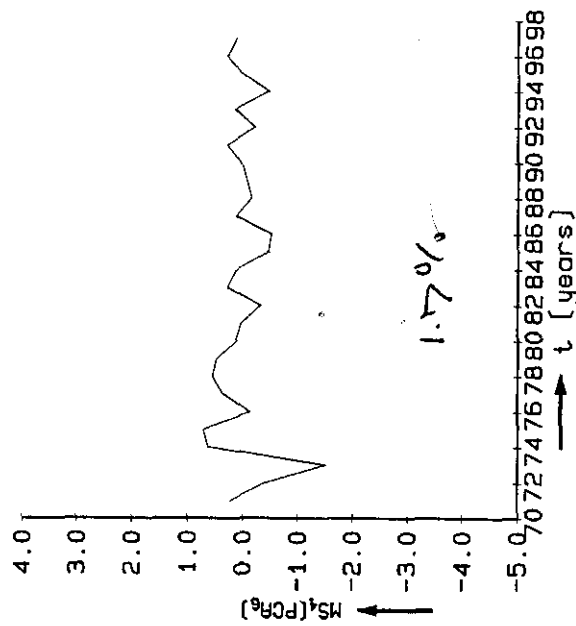
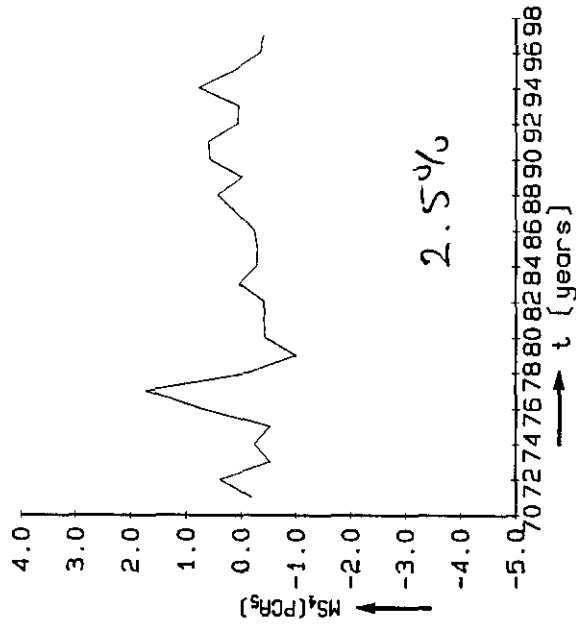
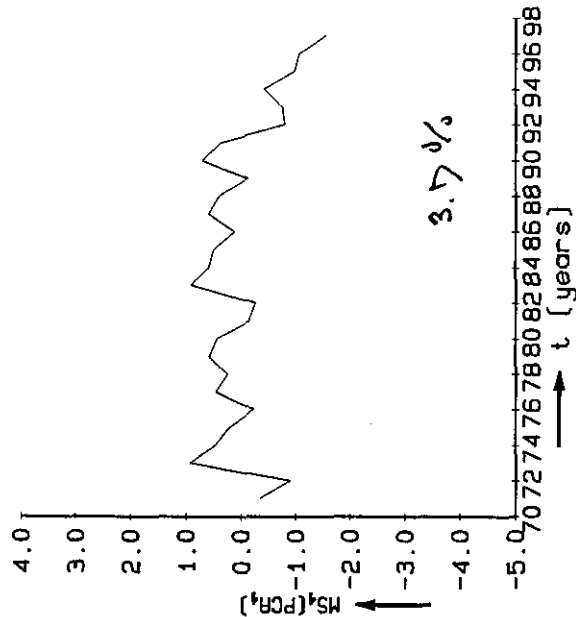
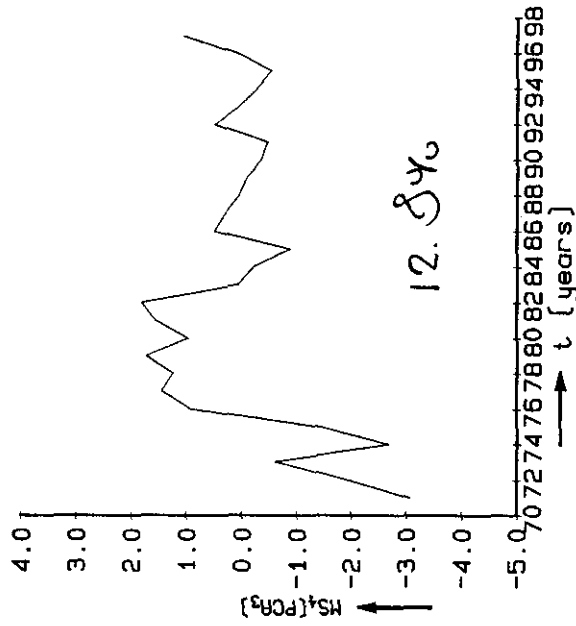
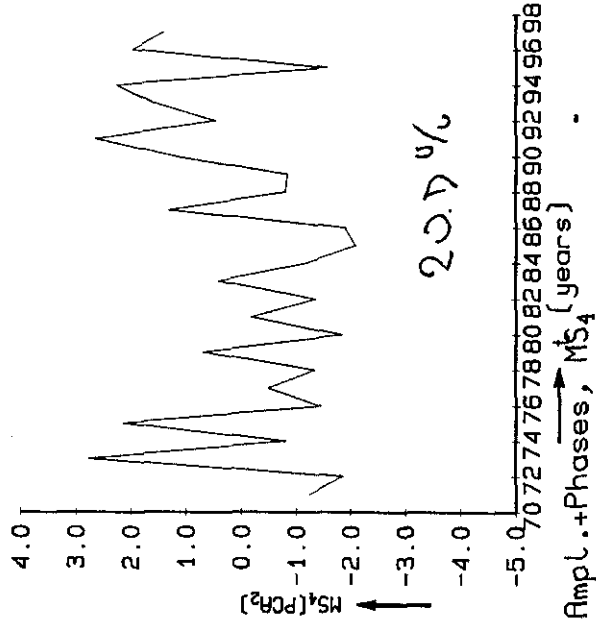
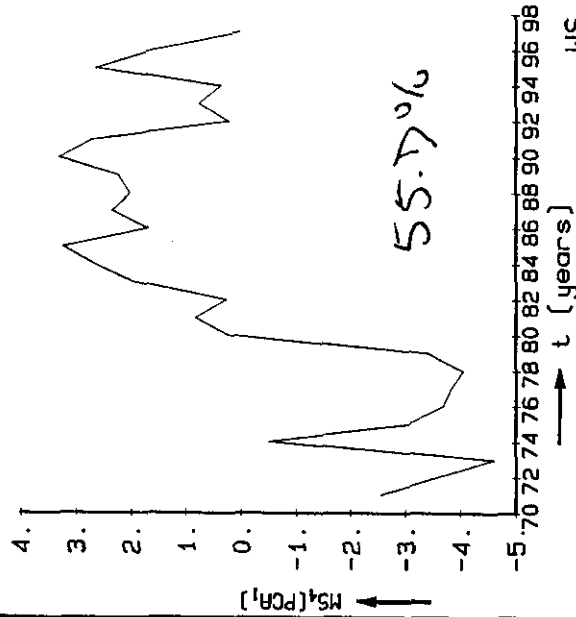
MS₄

Means and standard deviations of the components of nonscaled ensemble:

nr.	mean	stand dev.	variance	min.	max.	range
01>	8.233	0.2962	0.8775E-01	7.560	8.756	1.196
02>	9.219	0.2688	0.7227E-01	8.609	9.651	1.042
03>	8.578	0.3500	0.1225	7.916	9.189	1.273
04>	7.622	0.4477	0.2004	6.857	8.249	1.392
05>	7.428	0.2629	0.6913E-01	6.913	7.870	0.9570
06>	7.690	0.3904	0.1524	6.818	8.437	1.619
07>	154.6	3.184	10.14	149.0	160.4	11.47
08>	157.6	2.643	6.987	153.9	164.7	10.79
09>	179.3	2.105	4.432	175.0	182.5	7.570
10>	197.0	3.596	12.93	191.7	210.6	18.86
11>	232.0	7.198	51.81	223.7	244.8	21.16
12>	229.5	4.322	18.68	222.0	236.4	14.38

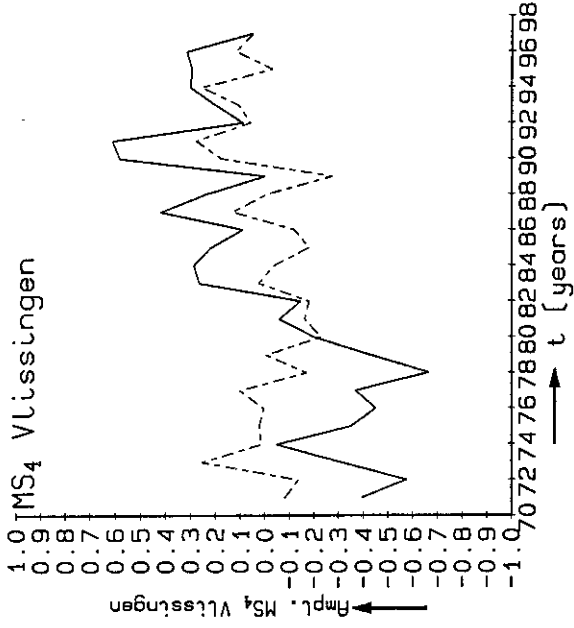
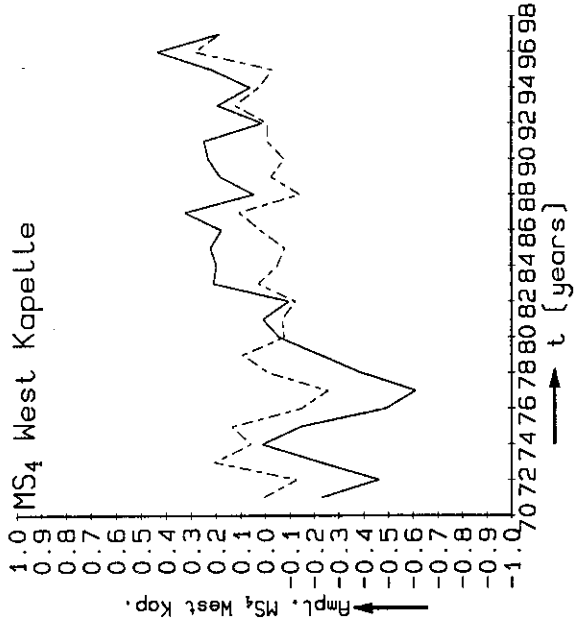
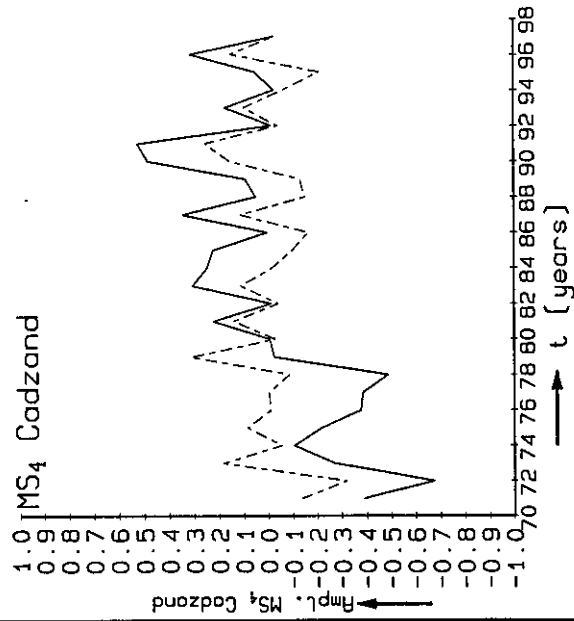
2nd moment matrix <x(i)x(j)> of non-scaled ensemble:

	01	02	03	04	05	06
01	70.48	78.89	73.43	65.28	63.56	65.76
02	78.89	88.33	82.21	73.07	71.16	73.66
03	73.43	82.21	76.53	68.04	66.23	68.56
04	65.28	73.07	68.04	60.53	58.88	60.92
05	63.56	71.16	66.23	58.88	57.36	59.37
06	65.76	73.66	68.56	60.92	59.37	61.57
07	1322.	1480.	1377.	1223.	1192.	1235.
08	1347.	1509.	1404.	1247.	1216.	1259.
09	1533.	1716.	1597.	1419.	1383.	1431.
10	1684.	1885.	1754.	1558.	1519.	1573.
11	1982.	2219.	2065.	1833.	1788.	1852.
12	1963.	2198.	2045.	1818.	1771.	1833.
	07	08	09	10	11	12
01	1322.	1347.	1533.	1684.	1982.	1963.
02	1480.	1509.	1716.	1885.	2219.	2198.
03	1377.	1404.	1597.	1754.	2065.	2045.
04	1223.	1247.	1419.	1558.	1833.	1818.
05	1192.	1216.	1383.	1519.	1788.	1771.
06	1235.	1259.	1431.	1573.	1852.	1833.

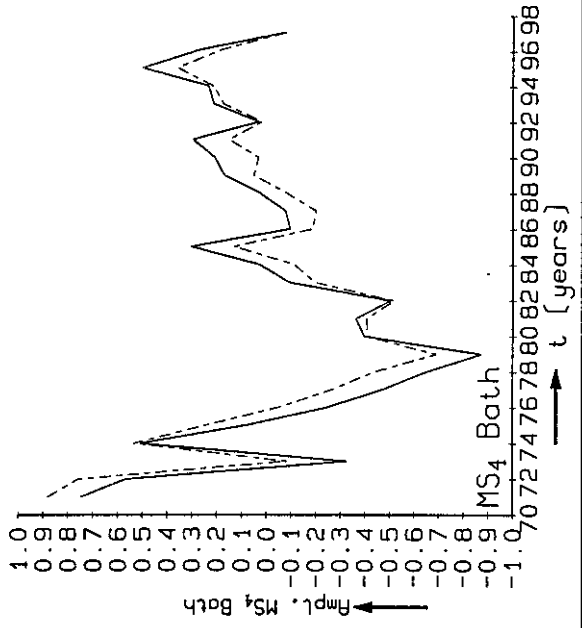
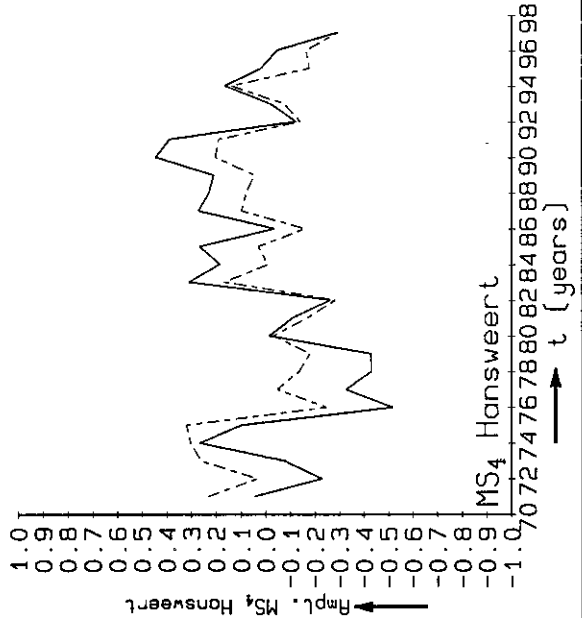
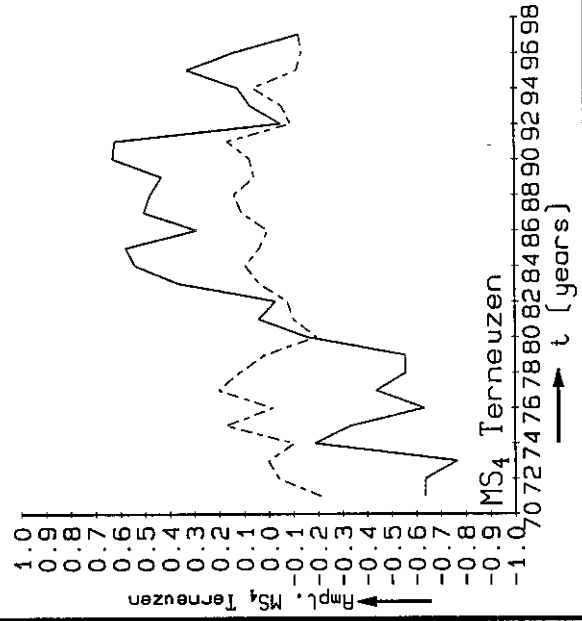


MS, Ampl. + Phases, MS₄

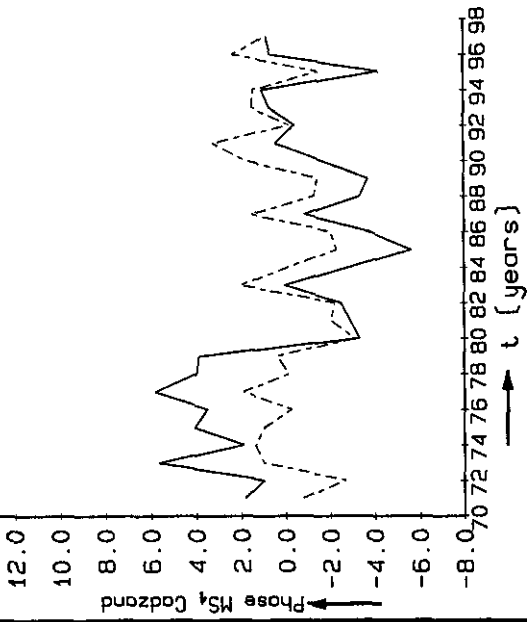
$\Sigma_i = 97.1$



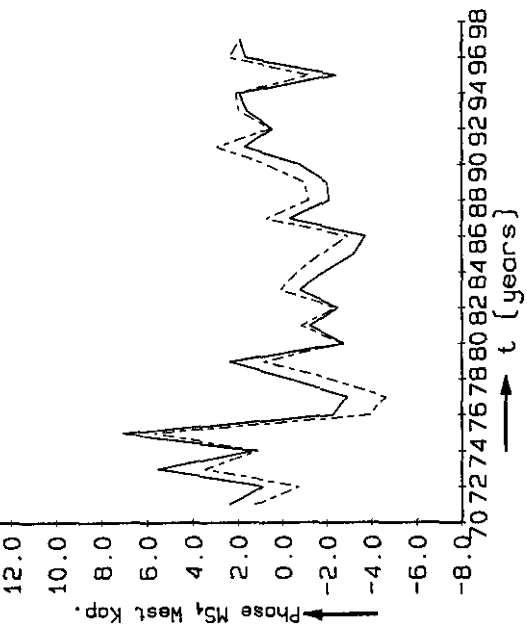
Reconstructed AMPLITUDES $-[0,0]$ and $-[0,1]$ after PCA analysis A+P



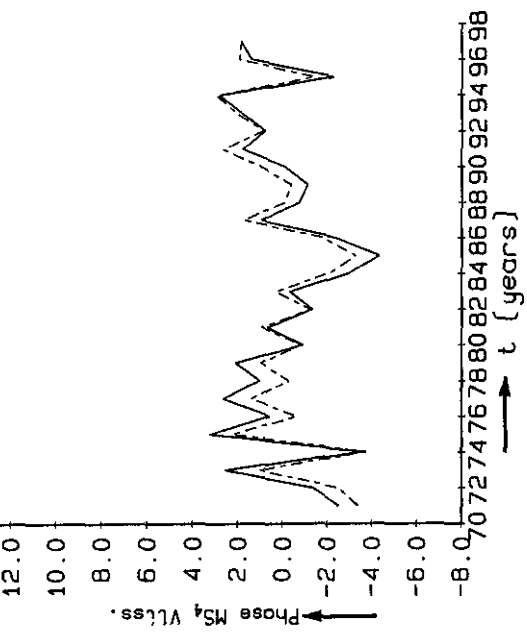
MS₄ Cadzand



MS₄ West Kapelle

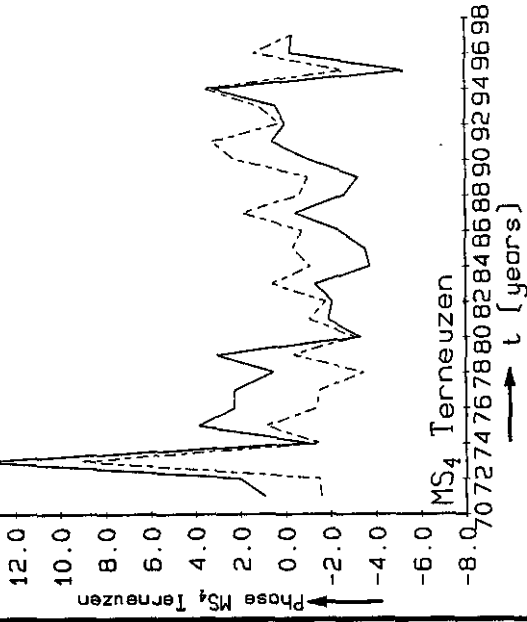


MS₄ Vlissingen

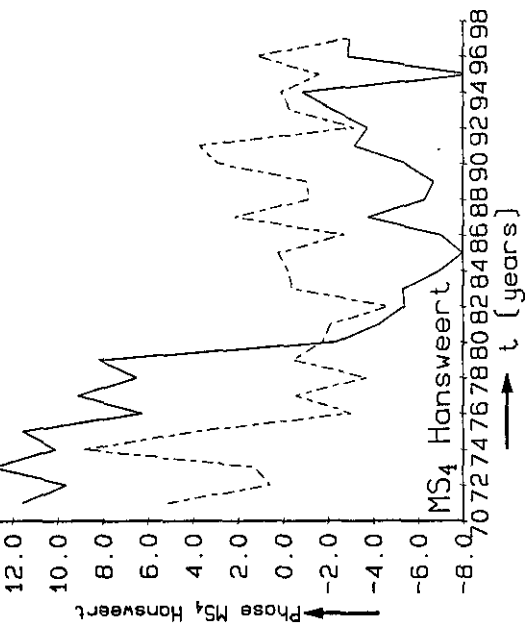


Reconstructed PHASES $-[0,0]$ and $-[0,1]$ after PCA analysis Amp.+Ph.

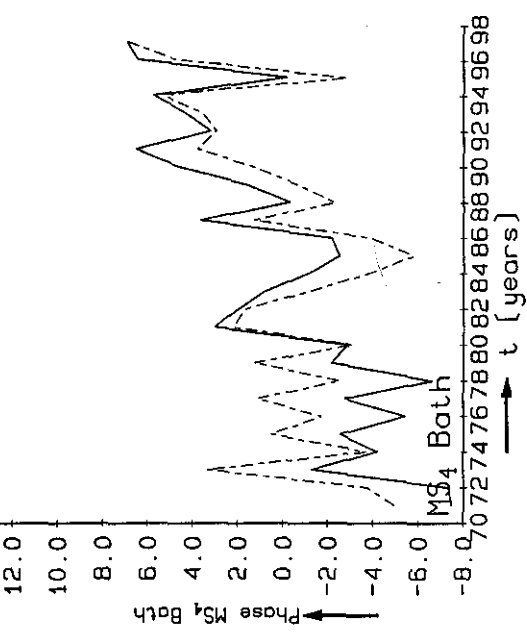
MS₄ Terneuzen



MS₄ Hansweert



MS₄ Bath



Case : Westerschelde,
PCA analysis AMPLITUDES MN4 + PHASES MN4
Stations: Cadzand, West-Kapelle, Vlissingen, Terneuzen, Hansweert, Bath
Entries : 1 2 3 4 5 6 AMPL.
7 8 9 10 11 12 PHASES
Period : 1971-1987
Prepared: 16 nov. 1998
by : Henk van den Boogaard

PCA --- A N A L Y S I S

input data >
number of samples read from file : 0027
dimension of each sample : 0012
dimension of input part of each sample: 0012
dimension of output part of each sample: 0000
scaling option for inputs : z
scaling option for outputs : z

MN₄

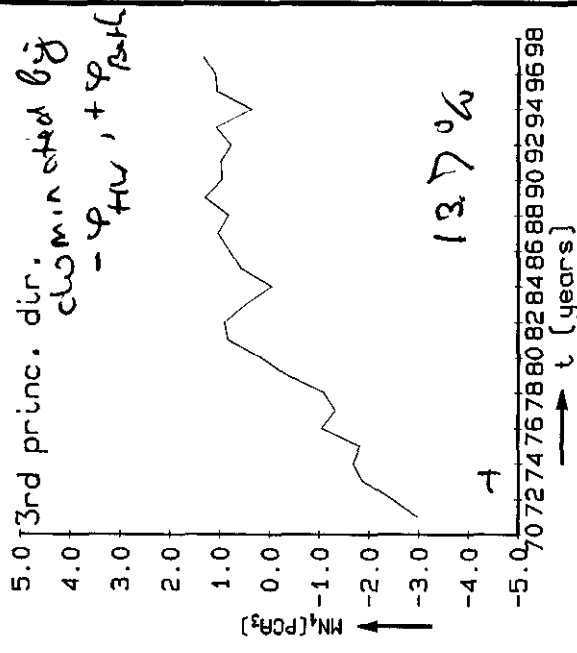
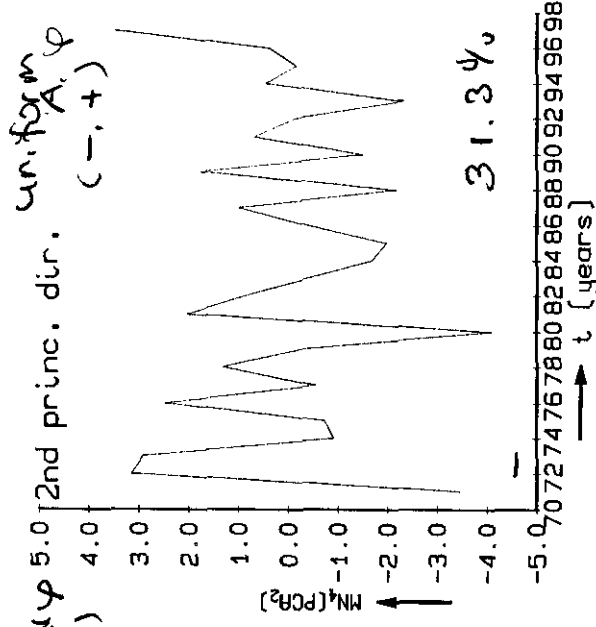
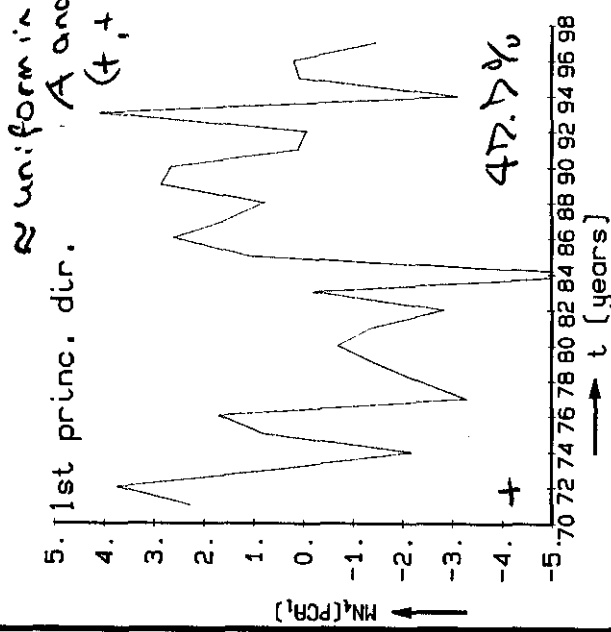
Means and standard deviations of the components of nonscaled ensemble:

nr.	mean	stand_dev.	variance	min.	max.	range
01>	3.971	0.2747	0.7545E-01	3.435	4.564	1.129
02>	4.627	0.2602	0.6773E-01	4.136	5.177	1.041
03>	4.264	0.2609	0.6809E-01	3.711	4.847	1.136
04>	3.859	0.2936	0.8618E-01	3.346	4.376	1.030
05>	3.914	0.3251	0.1057	3.333	4.673	1.340
06>	4.120	0.3438	0.1182	3.504	5.174	1.670
07>	67.72	4.495	20.21	58.89	78.87	19.98
08>	72.64	3.644	13.28	65.48	80.47	14.99
09>	93.71	3.853	14.85	86.30	100.6	14.26
10>	110.0	5.509	30.35	98.47	123.7	25.26
11>	144.4	7.538	56.82	129.2	165.2	36.01
12>	140.4	5.457	29.78	127.2	150.7	23.50

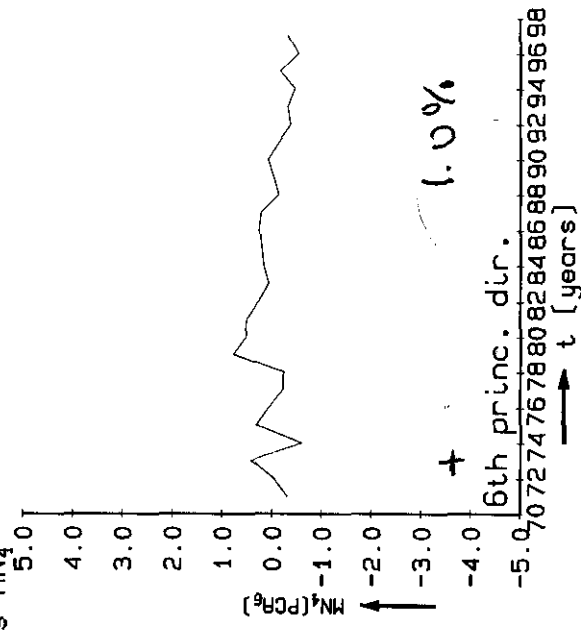
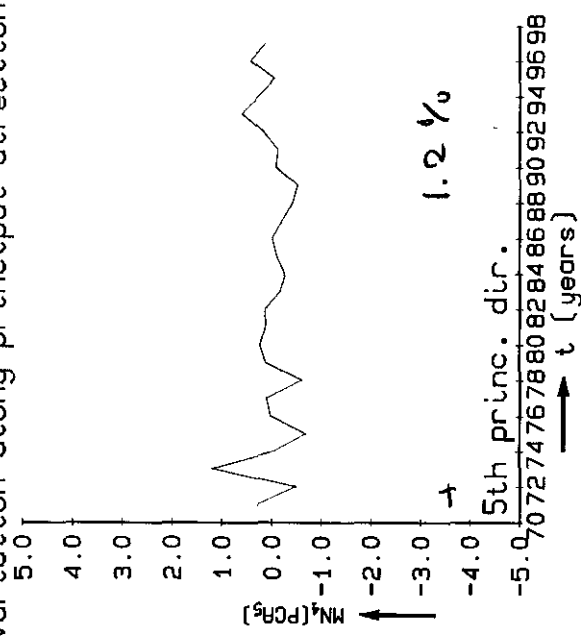
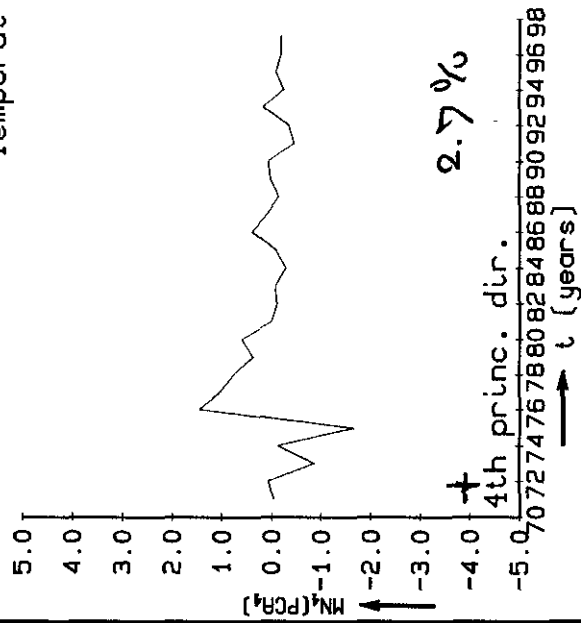
2nd moment matrix <x(i)x(j)> of non-scaled ensemble:

	01	02	03	04	05	06
01	16.45	19.15	17.65	15.98	16.21	17.04
02	19.15	22.30	20.56	18.61	18.87	19.85
03	17.65	20.56	18.95	17.16	17.40	18.30
04	15.98	18.61	17.16	15.55	15.75	16.56
05	16.21	18.87	17.40	15.75	16.01	16.84
06	17.04	19.85	18.30	16.56	16.84	17.74
07	279.5	325.6	300.0	271.2	275.4	289.5
08	299.9	349.4	322.0	291.2	295.6	310.8
09	386.7	450.6	415.2	375.6	380.8	400.4
10	454.1	529.0	487.4	440.7	447.5	470.5
11	595.9	694.3	639.6	578.3	587.9	618.5
12	579.7	675.3	622.4	563.2	570.8	600.2

	07	08	09	10	11	12
01	279.5	299.9	386.7	454.1	595.9	579.7
02	325.6	349.4	450.6	529.0	694.3	675.3
03	300.0	322.0	415.2	487.4	639.6	622.4
04	271.2	291.2	375.6	440.7	578.3	563.2
05	275.4	295.6	380.8	447.5	587.9	570.8



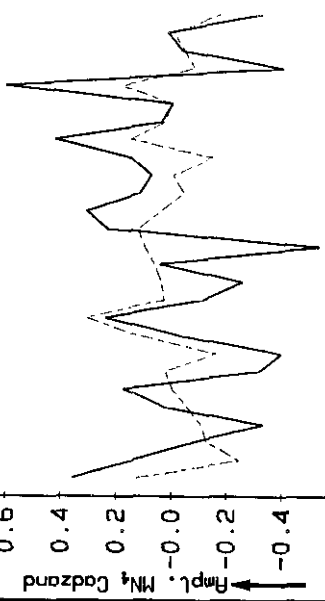
Temporal variation along principal directions MN_4



$\sum_i^6 = 97.6\%$

1.0 MN₄ Codzand

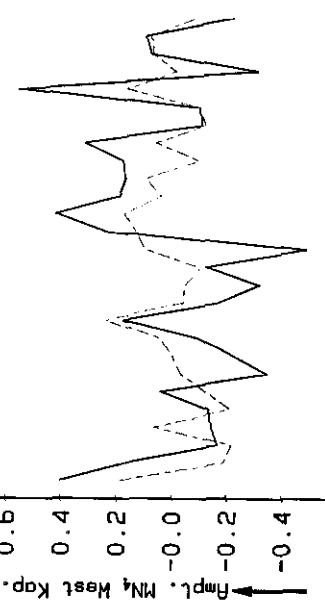
0.8
0.6
0.4
0.2
-0.0
-0.2
-0.4
-0.6



Ampl. MN₄ Codzand
t (years)

1.0 MN₄ West Kapelle

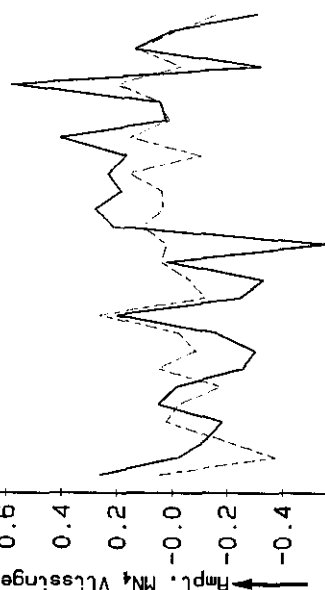
0.8
0.6
0.4
0.2
-0.0
-0.2
-0.4
-0.6



Ampl. MN₄ West Kap.
t (years)

1.0 MN₄ Vlissingen

0.8
0.6
0.4
0.2
-0.0
-0.2
-0.4
-0.6

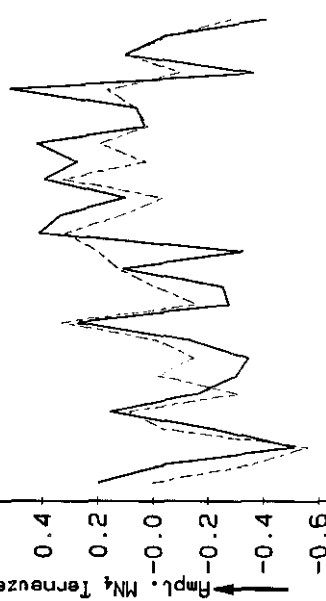


Ampl. MN₄ Vlissingen
t (years)

Reconstructed AMPLITUDES $-[0,0]$ and $-[0,1]$ after PCA analysis A+P

1.0 MN₄ Terneuzen

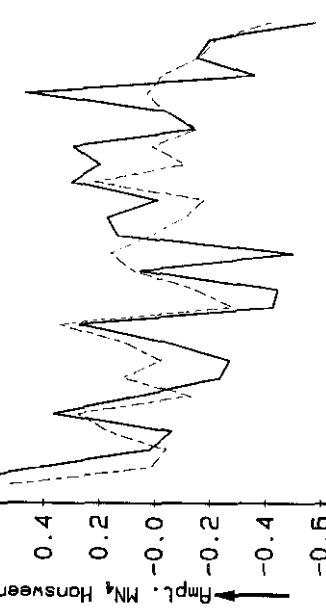
0.8
0.6
0.4
0.2
-0.0
-0.2
-0.4
-0.6



Ampl. MN₄ Terneuzen
t (years)

1.0 MN₄ Hansweert

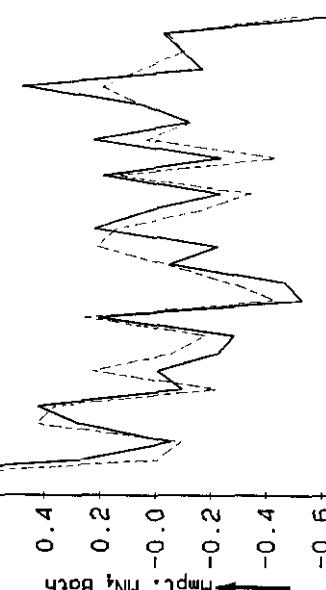
0.8
0.6
0.4
0.2
-0.0
-0.2
-0.4
-0.6



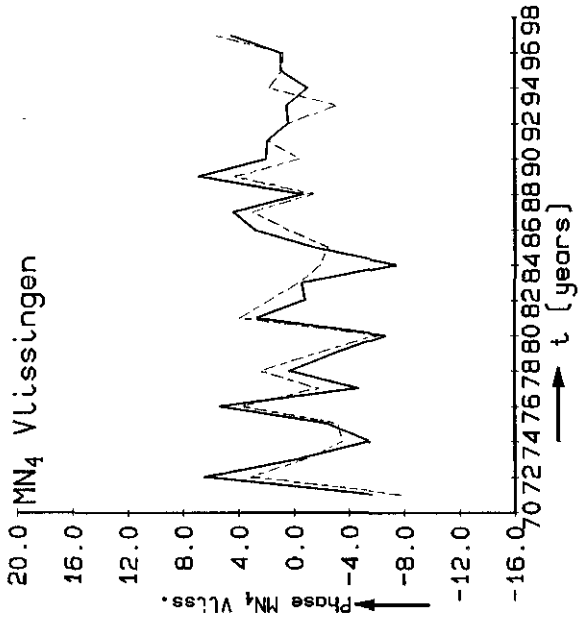
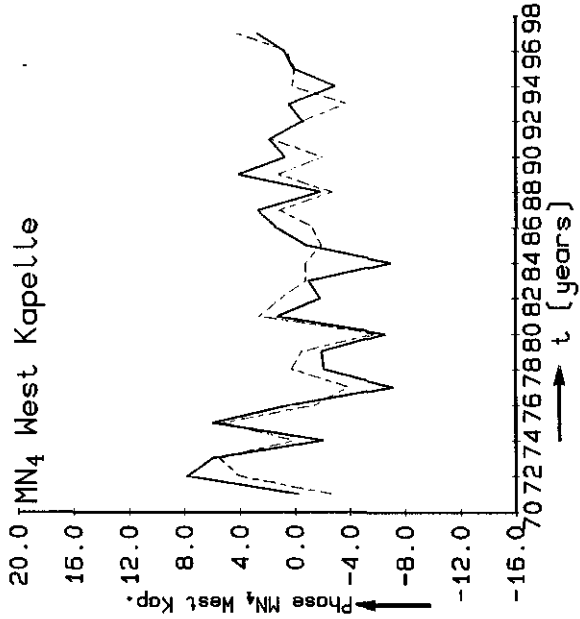
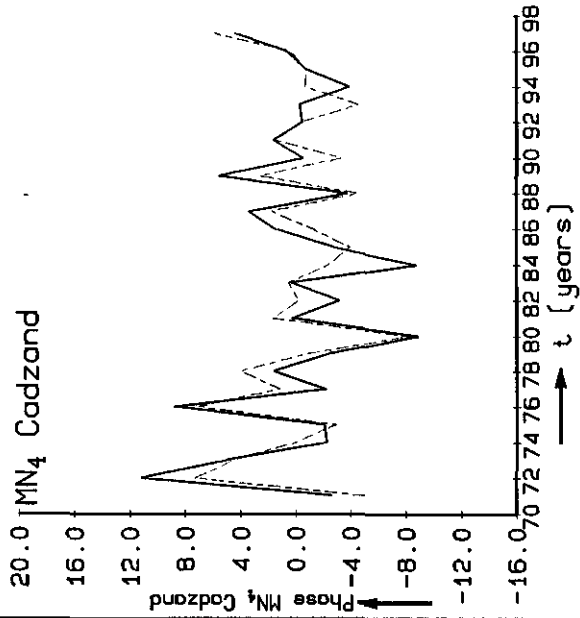
Ampl. MN₄ Hansweert
t (years)

1.0 MN₄ Bath

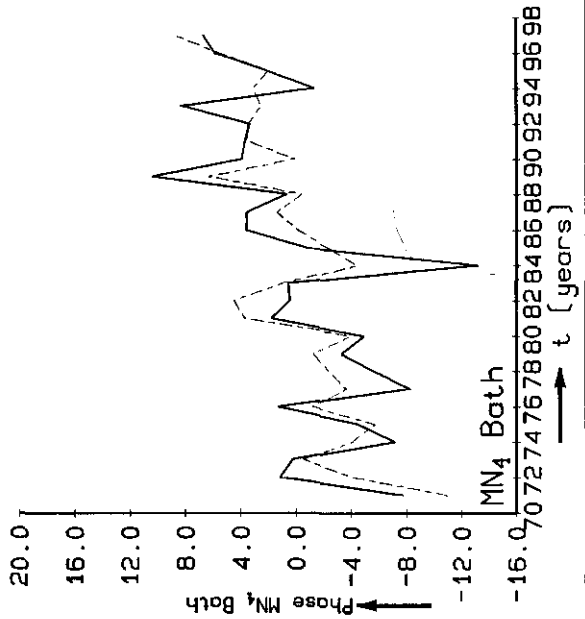
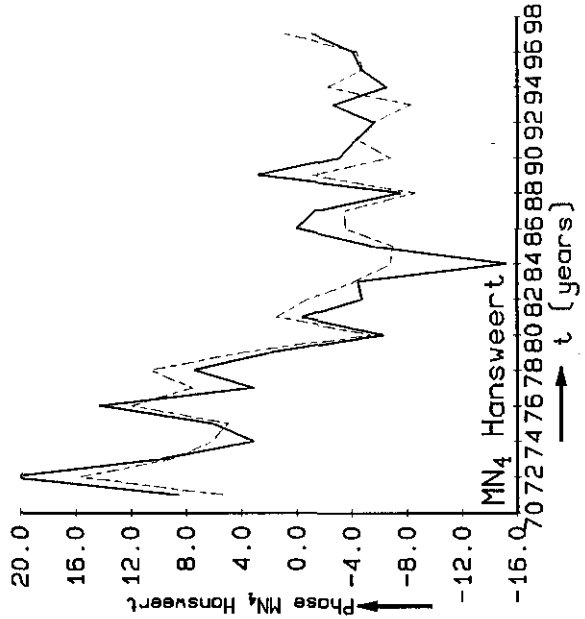
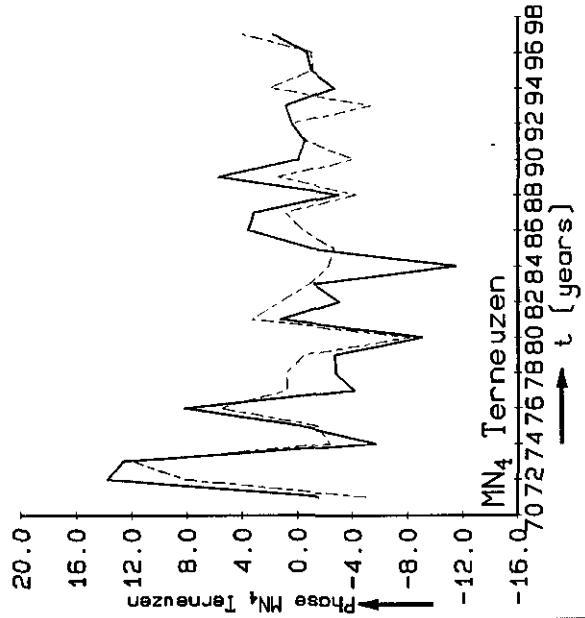
0.8
0.6
0.4
0.2
-0.0
-0.2
-0.4
-0.6



Ampl. MN₄ Bath
t (years)



Reconstructed PHASES $-[0,0]$ and $-[0,1]$ after PCA analysis R.+P.



Case : Westerschelde,
PCA analysis AMPLITUDES M6 + PHASES M6
Stations: Cadzand, West-Kapelle, Vlissingen, Terneuzen, Hansweert, Bath
Entries : 1 2 3 4 5 6 AMPL.
7 8 9 10 11 12 PHASES
Period : 1971-1987
Prepared: 16 nov. 1998
by : Henk van den Boogaard

PCA --- A N A L Y S I S

input data >
number of samples read from file : 0027
dimension of each sample : 0012
dimension of input part of each sample: 0012
dimension of output part of each sample: 0000
scaling option for inputs : z
scaling option for outputs : z

M6

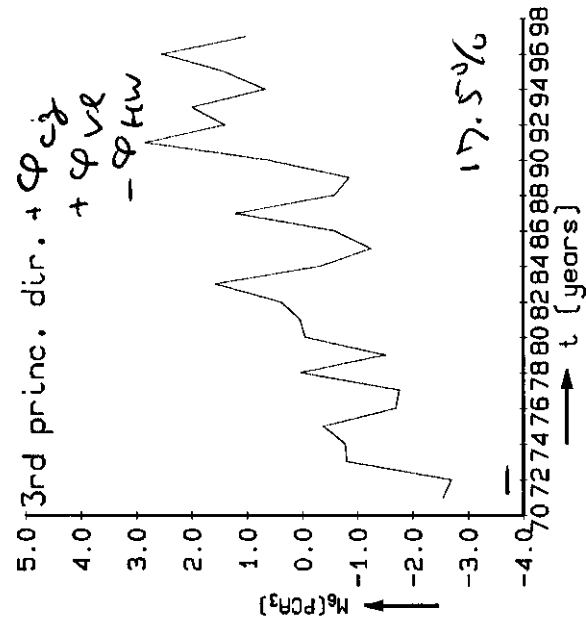
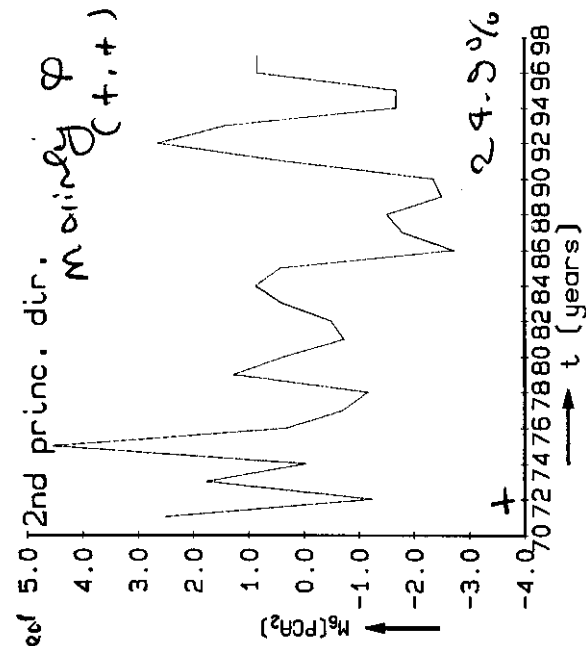
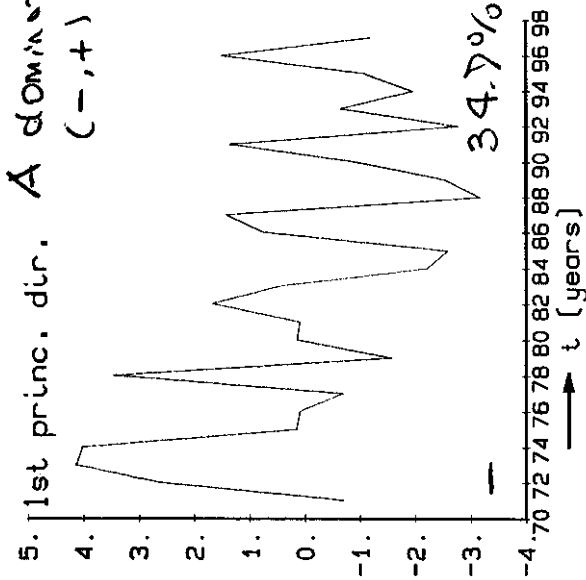
Means and standard deviations of the components of nonscaled ensemble:

nr.	mean	stand_dev.	variance	min.	max.	range
01>	9.694	0.2313	0.5352E-01	9.241	10.06	0.8230
02>	9.108	0.2273	0.5165E-01	8.668	9.563	0.8950
03>	8.520	0.1720	0.2959E-01	8.229	8.817	0.5880
04>	8.991	0.2508	0.6290E-01	8.483	9.403	0.9200
05>	9.627	0.1973	0.3893E-01	9.190	10.04	0.8490
06>	12.29	0.2995	0.8970E-01	11.71	12.84	1.129
07>	72.76	1.588	2.520	70.23	75.66	5.430
08>	80.77	3.061	9.368	76.12	89.86	13.74
09>	107.4	1.865	3.479	102.8	110.7	7.930
10>	152.6	2.876	8.269	148.2	162.5	14.38
11>	205.9	4.865	23.67	198.9	215.0	16.15
12>	254.6	2.078	4.319	250.3	259.1	8.800

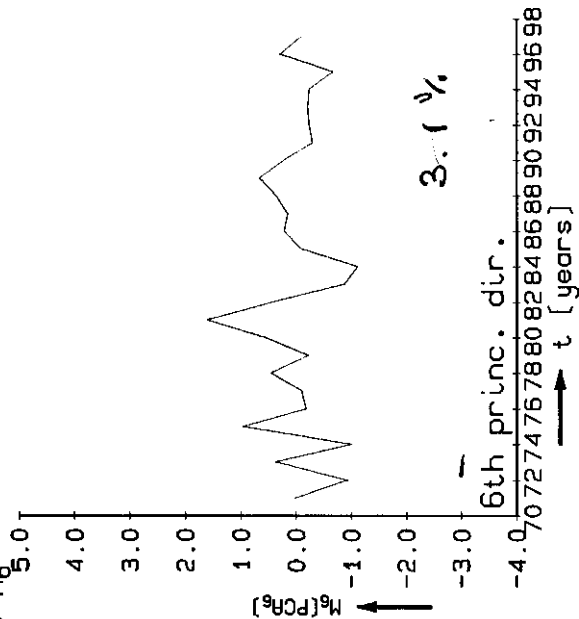
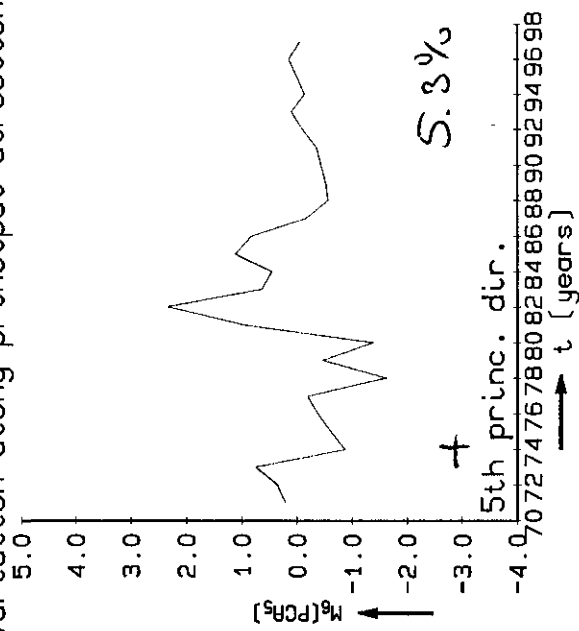
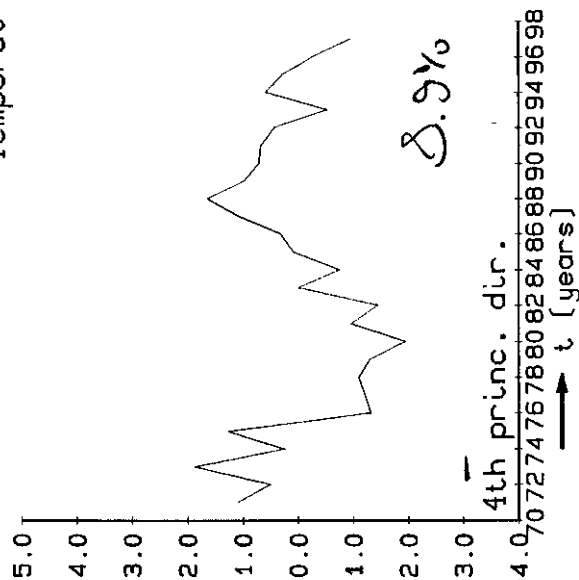
2. moment matrix <x(i)x(j)> of non-scaled ensemble:

	01	02	03	04	05	06
01	97.65	91.72	85.81	90.56	96.94	123.7
02	91.72	86.20	80.61	85.05	91.08	116.2
03	85.81	80.61	75.41	79.59	85.20	108.7
04	90.56	85.05	79.59	84.02	89.92	114.8
05	96.94	91.08	85.20	89.92	96.29	122.9
06	123.7	116.2	108.7	114.8	122.9	156.8
07	732.5	688.1	643.8	679.5	727.4	928.4
08	813.0	764.0	714.6	754.0	807.6	1030.
09	1082.	1016.	950.7	1003.	1074.	1371.
10	1536.	1443.	1350.	1424.	1525.	1946.
11	2072.	1948.	1821.	1922.	2058.	2626.
12	2563.	2408.	2252.	2377.	2545.	3248.
	07	08	09	10	11	12
01	732.5	813.0	1082.	1536.	2072.	2563.
02	688.1	764.0	1016.	1443.	1948.	2408.
03	643.8	714.6	950.7	1350.	1821.	2252.
04	679.5	754.0	1003.	1424.	1922.	2377.
05	727.4	807.6	1074.	1525.	2058.	2545.

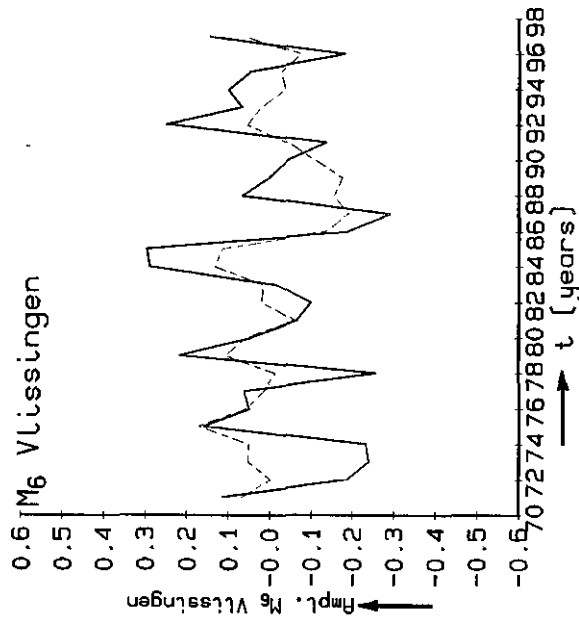
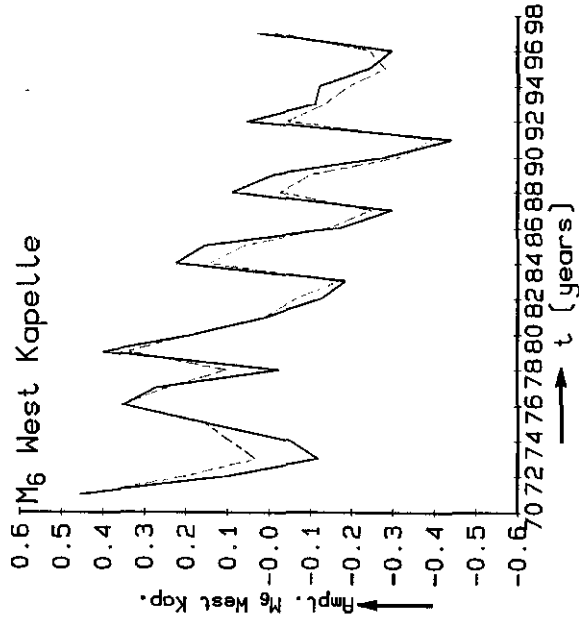
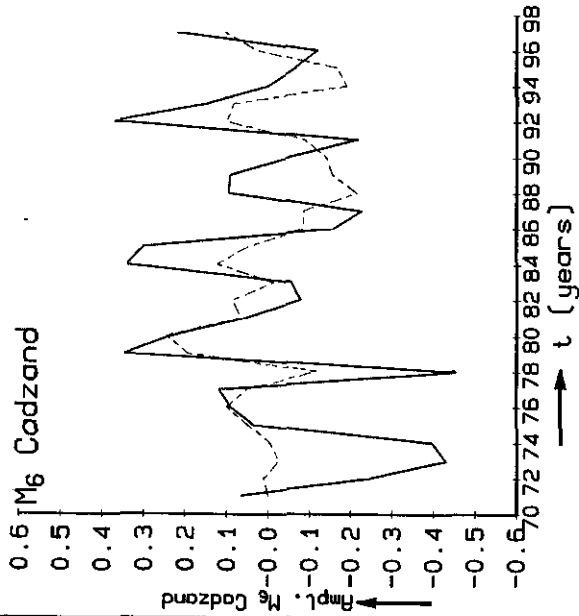
B.7a



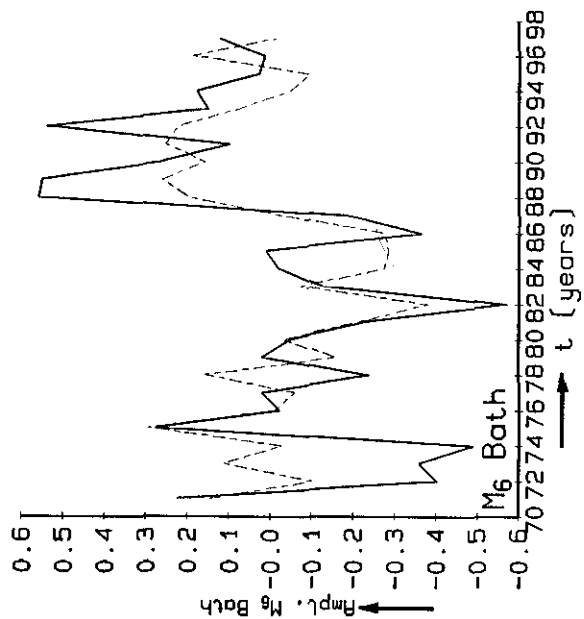
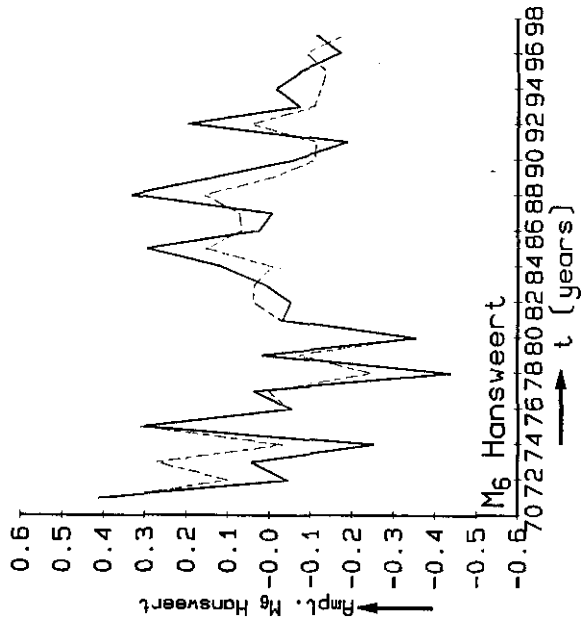
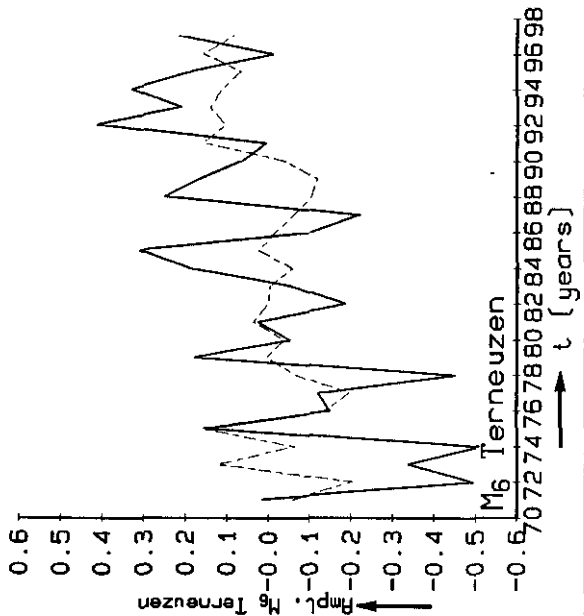
Temporal variation along principal directions M_6



$$\Sigma_1 = 94.4\%$$

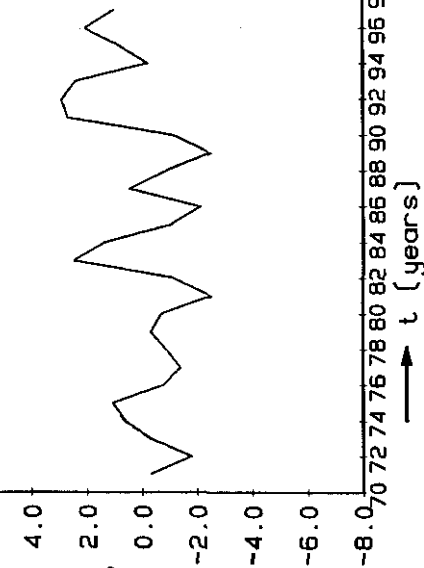


Reconstructed AMPLITUDES $-[0,0]$ and $-[0,1]$ after PCA analysis f_{+P}



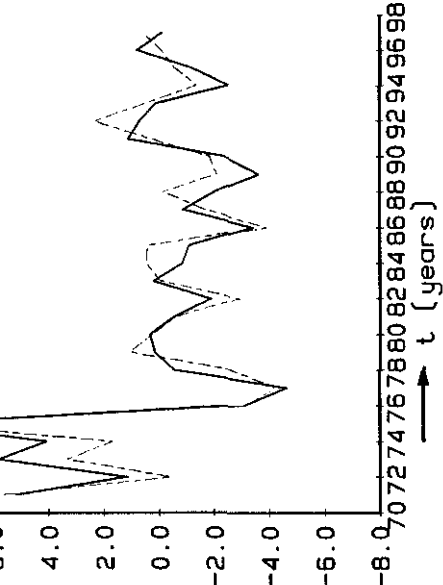
10.0 M₆ Cadzand

Phase M₆ Cadzand



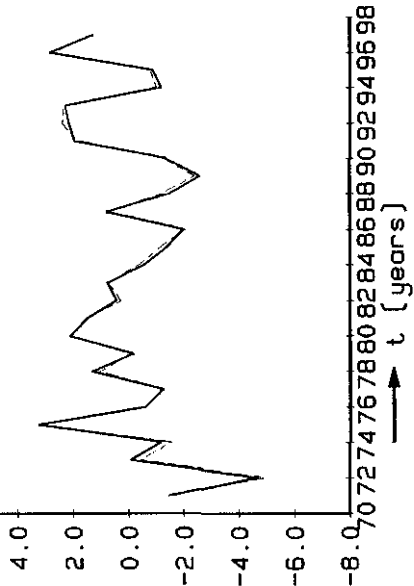
10.0 M₆ West Kapelle

Phase M₆ West Kap.



10.0 M₆ Vlissingen

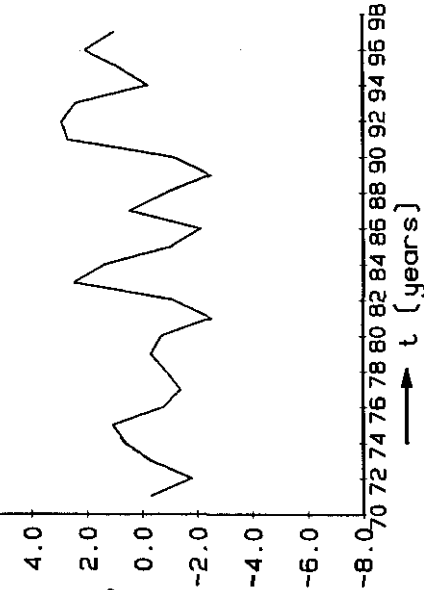
Phase M₆ Vliss.



Reconstructed PHASES $-[0,0]$ and $-[0,1]$ after PCA analysis R.+P.

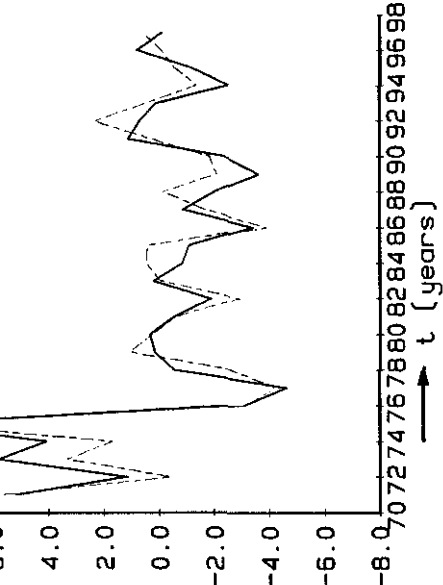
10.0 M₆ Terneuzen

Phase M₆ Terneuzen



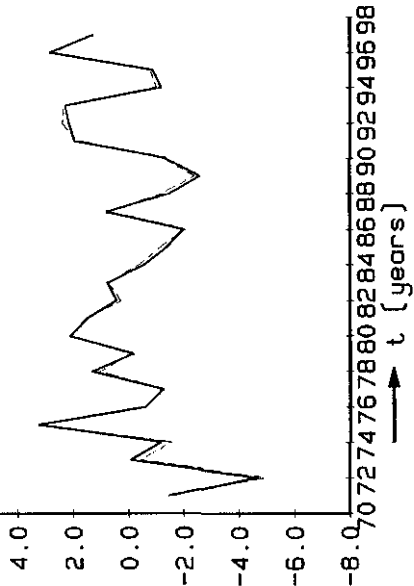
10.0 M₆ Hansweert

Phase M₆ Hansweert



10.0 M₆ Bath

Phase M₆ Bath



Case : Westerschelde,
PCA analysis AMPLITUDES 2MS6 + PHASES 2MS6
Stations: Cadzand, West-Kapelle, Vlissingen, Terneuzen, Hansweert, Bath
Entries : 1 2 3 4 5 6 AMPL.
7 8 9 10 11 12 PHASES
Period : 1971-1987
Prepared: 20 nov. 1998
by : Henk van den Boogaard

PCA --- A N A L Y S I S

input data >
number of samples read from file : 0027
dimension of each sample : 0012
dimension of input part of each sample: 0012
dimension of output part of each sample: 0000
scaling option for inputs : z
scaling option for outputs : z

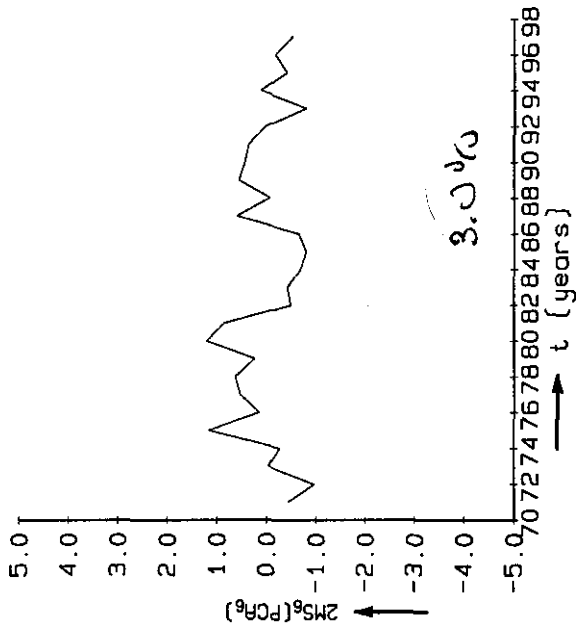
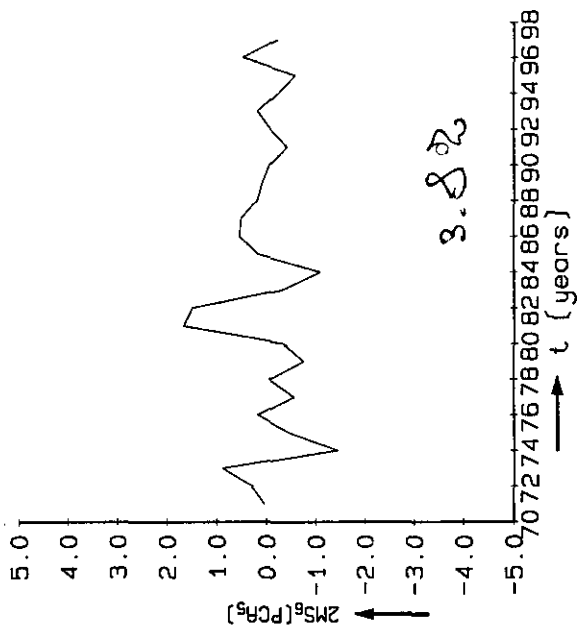
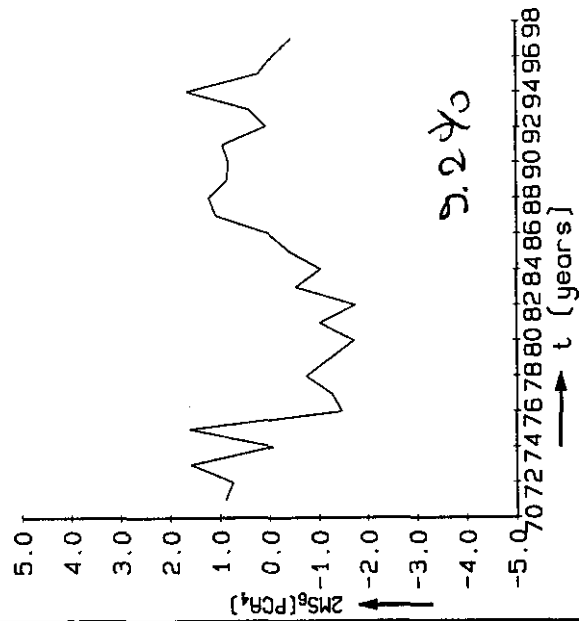
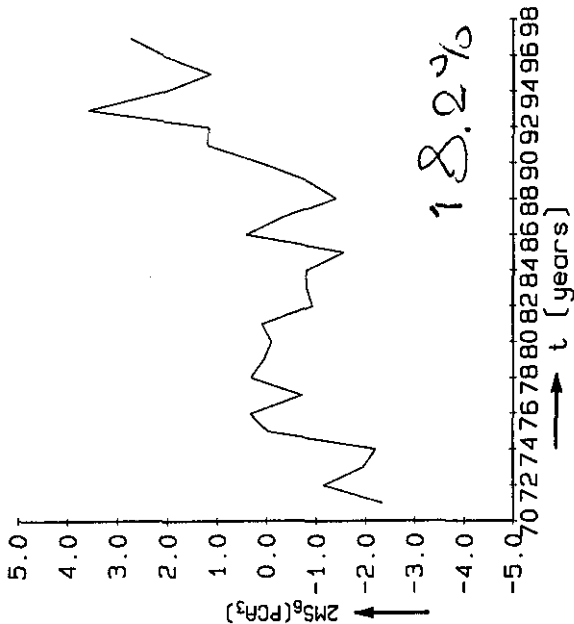
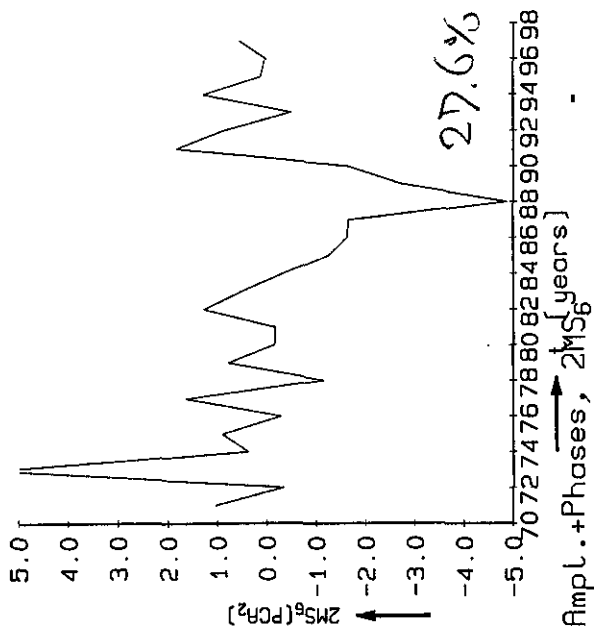
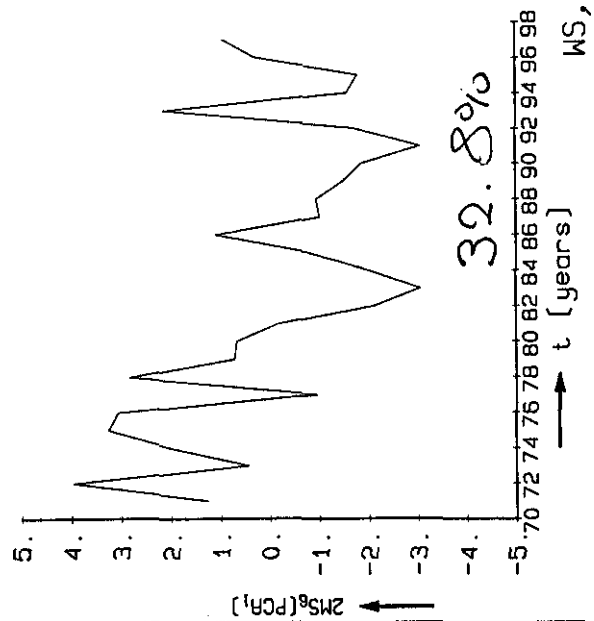
2MS6

Means and standard deviations of the components of nonscaled ensemble:

no.	mean	stand dev.	variance	min.	max.	range
01>	9.834	0.1882	0.3543E-01	9.514	10.16	0.6470
02>	9.110	0.1789	0.3202E-01	8.760	9.518	0.7580
03>A	8.708	0.1767	0.3122E-01	8.441	9.000	0.5590
04>	9.102	0.2329	0.5426E-01	8.646	9.589	0.9430
05>	9.374	0.2372	0.5625E-01	8.994	10.10	1.105
06>	11.70	0.2902	0.8423E-01	11.25	12.29	1.043
07>	124.3	1.486	2.210	121.8	127.3	5.440
08>	132.6	2.964	8.786	128.4	141.2	12.73
09>P	159.1	1.913	3.658	155.3	161.8	6.420
10>	203.5	3.050	9.305	198.5	214.1	15.56
11>	257.4	5.546	30.75	249.1	266.4	17.33
12>	307.6	2.034	4.136	302.2	310.8	8.640

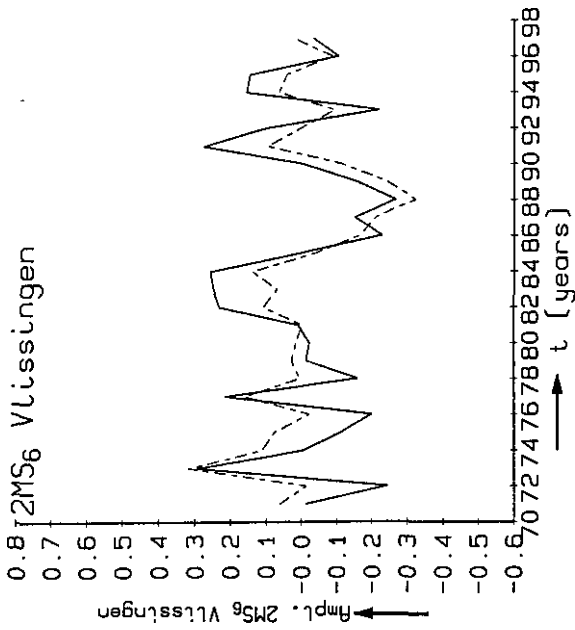
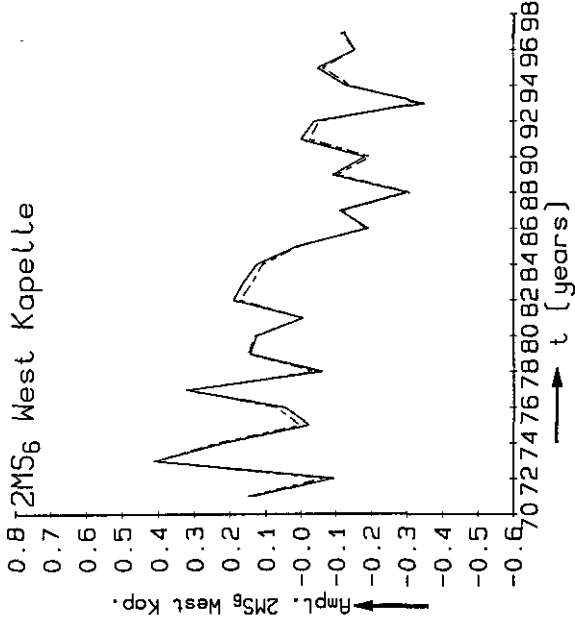
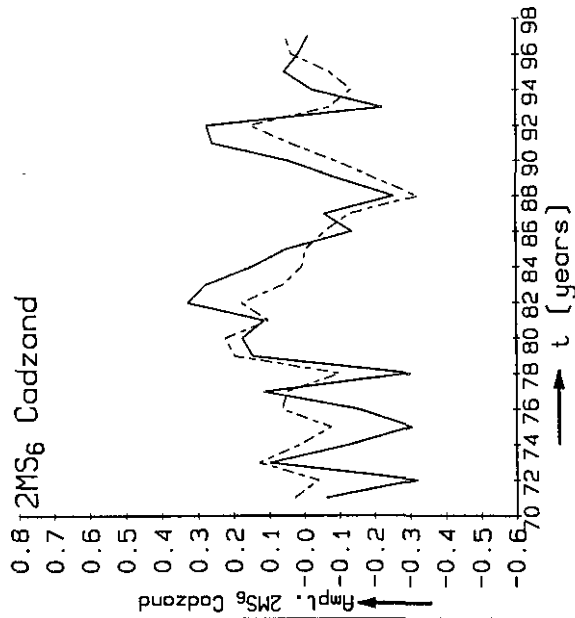
2nd moment matrix <x(i)x(j)> of non-scaled ensemble:

	01	02	03	04	05	06
01	100.5	93.05	88.96	92.99	95.75	119.5
02	93.05	86.21	82.40	86.11	88.70	110.7
03	88.96	82.40	78.78	82.35	84.79	105.8
04	92.99	86.11	82.35	86.09	88.62	110.7
05	95.75	88.70	84.79	88.62	91.30	113.9
06	119.5	110.7	105.8	110.7	113.9	142.3
07	1269.	1176.	1124.	1175.	1210.	1510.
08	1354.	1255.	1199.	1253.	1291.	1611.
09	1625.	1505.	1439.	1504.	1549.	1933.
10	2078.	1925.	1840.	1923.	1981.	2473.
11	2628.	2435.	2328.	2432.	2506.	3127.
12	3141.	2910.	2782.	2907.	2994.	3738.
07	1269.	1354.	1625.	2078.	2628.	3141.
08	1176.	1255.	1505.	1925.	2435.	2910.
03	1124.	1199.	1439.	1840.	2328.	2782.
04	1175.	1253.	1504.	1923.	2432.	2907.
05	1210.	1291.	1549.	1981.	2506.	2994.
06	1510.	1611.	1933.	2473.	3127.	3738.
07	0.1604E+05	0.1711E+05	0.2053E+05	0.2626E+05	0.3322E+05	0.3969E+05
08	0.1711E+05	0.1827E+05	0.2191E+05	0.2803E+05	0.3546E+05	0.4236E+05
09	0.2053E+05	0.2191E+05	0.2629E+05	0.3362E+05	0.4253E+05	0.5082E+05
10	0.2626E+05	0.2803E+05	0.3362E+05	0.4301E+05	0.5440E+05	0.6500E+05
11	0.3322E+05	0.3546E+05	0.4253E+05	0.5440E+05	0.6883E+05	0.8222E+05
12	0.3969E+05	0.4236E+05	0.5082E+05	0.6500E+05	0.8222E+05	0.9825E+05

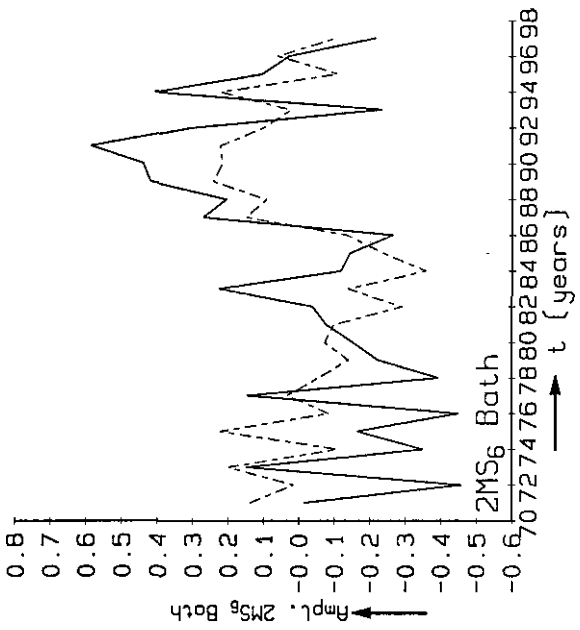
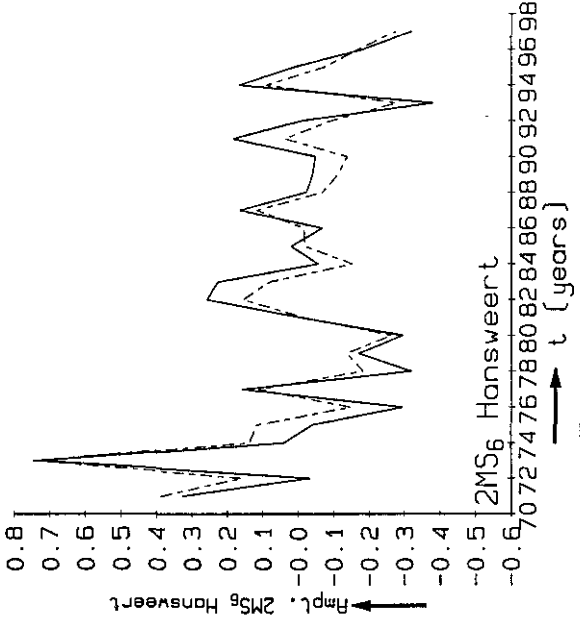
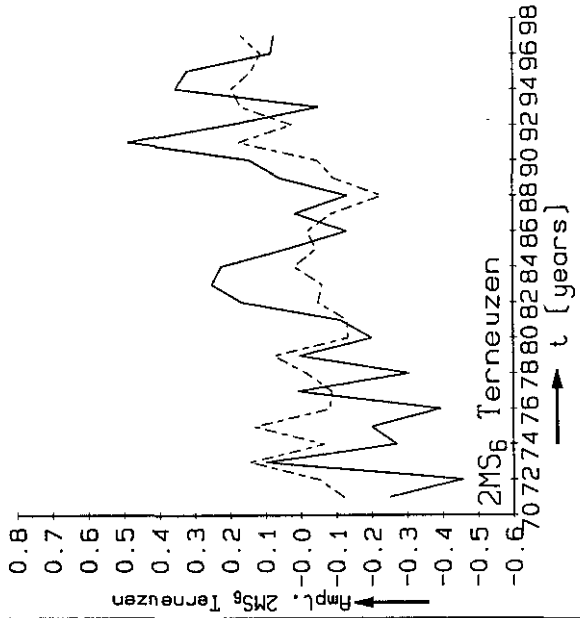


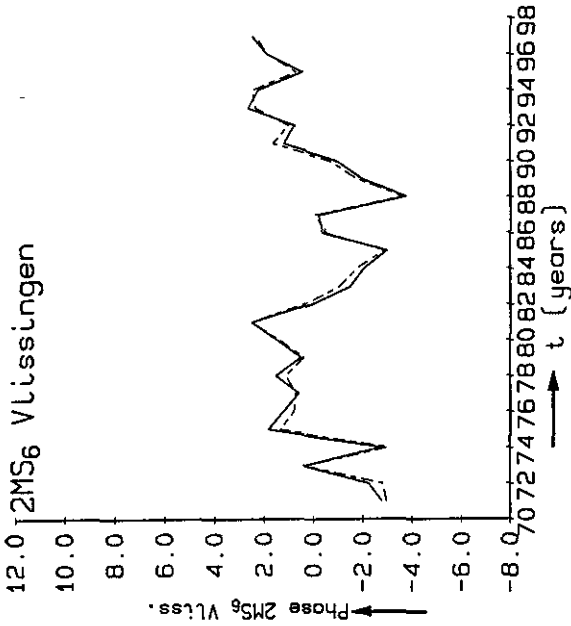
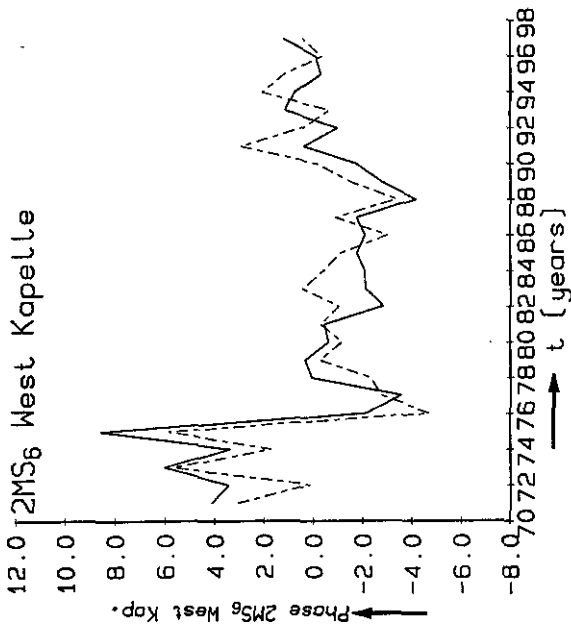
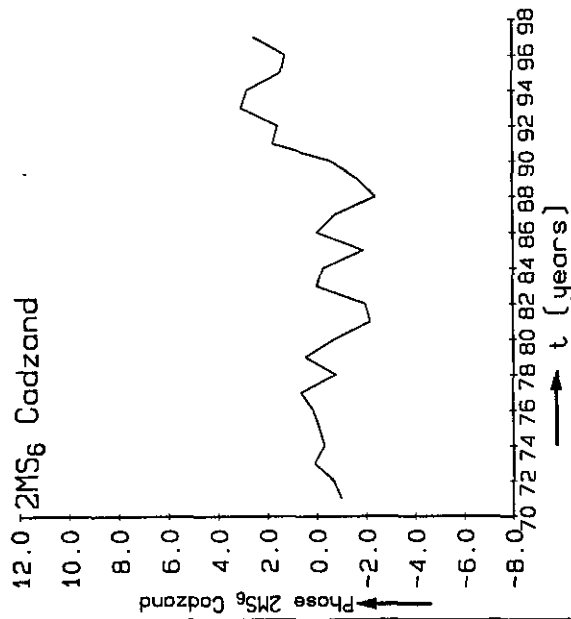
$\sum_1^6 = 94.5\%$

MS, Ampl.+Phases, $2MS_6$

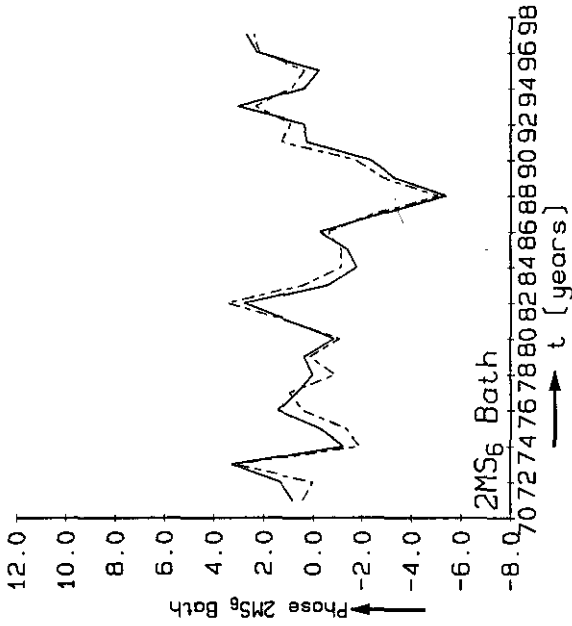
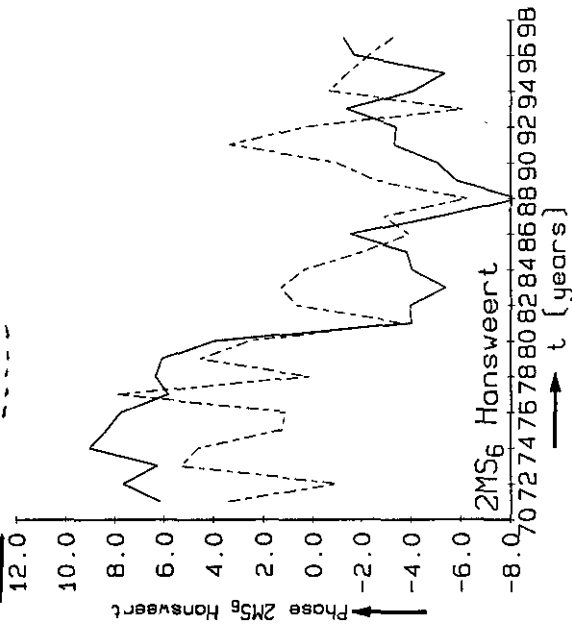
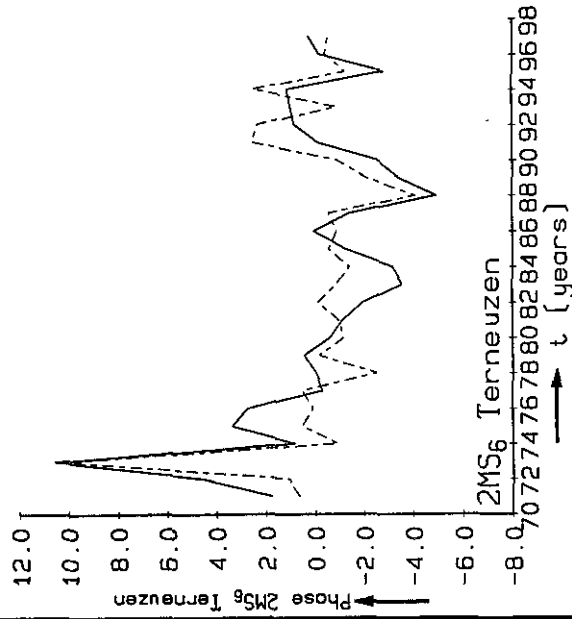


Reconstructed AMPLITUDES $-[0,0]$ and $-[0,1]$ after PCA analysis A+P





Reconstructed PHASES $-[0,0]$ and $-[0,1]$ after PCA analysis Amp.+Ph.



Case : Westerschelde,
 PCA analysis AMPLITUDES 2MN6 + PHASES 2MN6

Stations: Cadzand, West-Kapelle, Vlissingen, Terneuzen, Hansweert, Bath

Entries : 1 2 3 4 5 6 AMPL.
 7 8 9 10 11 12 PHASES

Period : 1971-1987

Prepared: 16 nov. 1998

by : Henk van den Boogaard

PCA --- A N A L Y S I S

input data >

number of samples read from file : 0027

dimension of each sample : 0012

dimension of input part of each sample: 0012

dimension of output part of each sample: 0000

scaling option for inputs : z

scaling option for outputs : z

2 MN6

Means and standard deviations of the components of nonscaled ensemble:

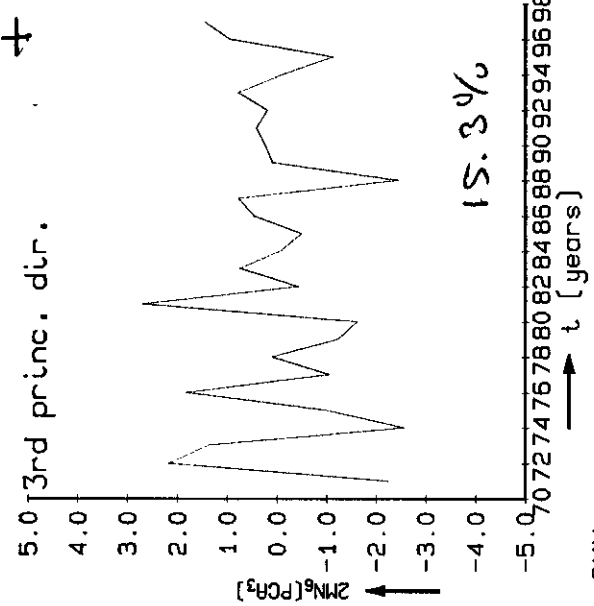
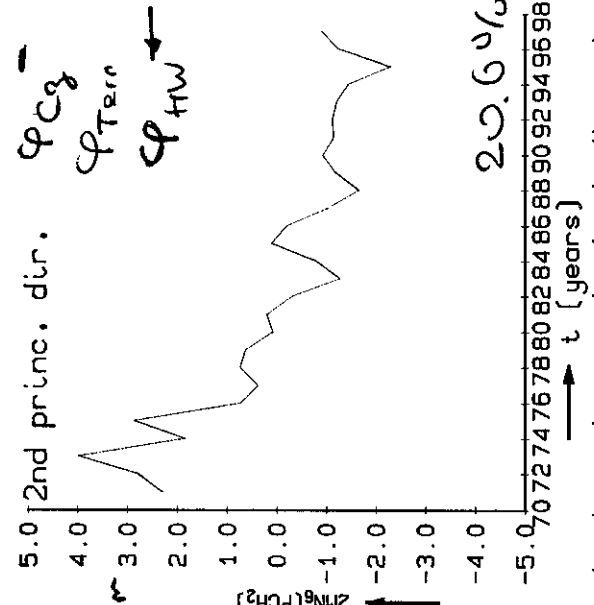
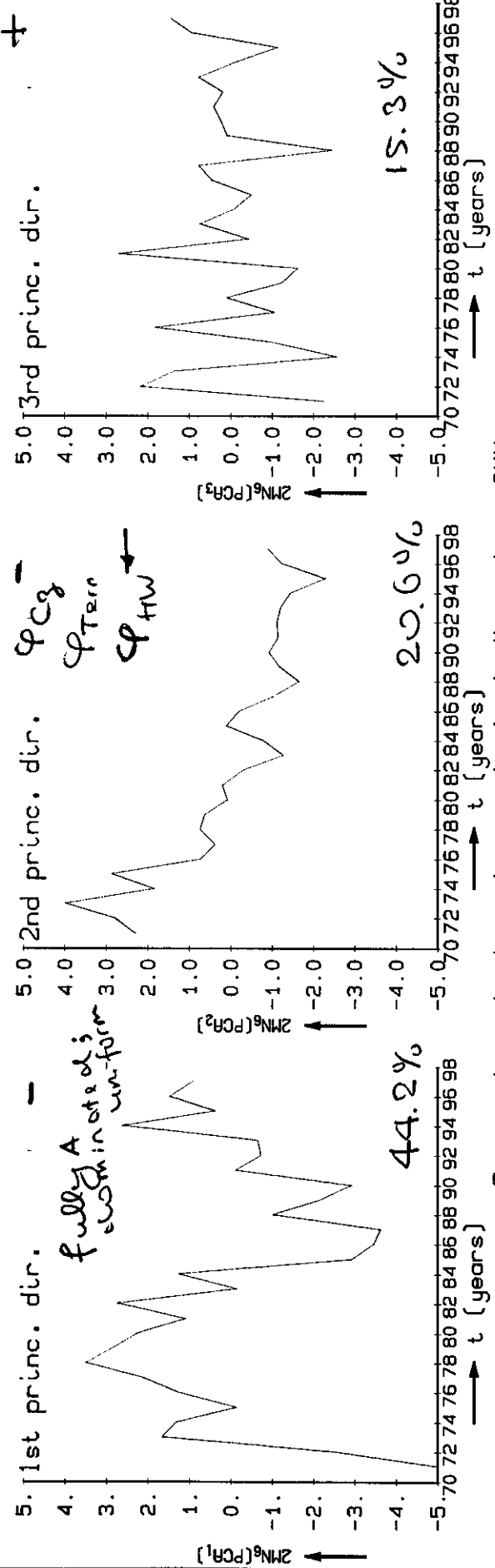
nr.	mean	stand_dev.	variance	min.	max.	range
01>	5.193	0.1898	0.3602E-01	4.791	5.540	0.7490
02>	4.877	0.1864	0.3473E-01	4.564	5.422	0.8580
03>	4.558	0.1415	0.2003E-01	4.348	4.845	0.4970
04>	4.819	0.2158	0.4658E-01	4.466	5.183	0.7170
05>	5.200	0.2477	0.6138E-01	4.824	5.810	0.9860
06>	6.530	0.3322	0.1103	6.017	7.229	1.212
07>	47.14	1.458	2.127	44.19	49.34	5.150
08>	54.63	2.772	7.686	50.68	63.82	13.14
09>	81.81	1.795	3.221	77.32	86.32	9.000
10>	126.9	2.846	8.102	122.4	137.3	14.98
11>	179.3	4.302	18.50	172.8	186.4	13.60
12>	227.4	2.287	5.230	222.4	232.7	10.33

2nd moment matrix $\langle x(i)x(j) \rangle$ of non-scaled ensemble:

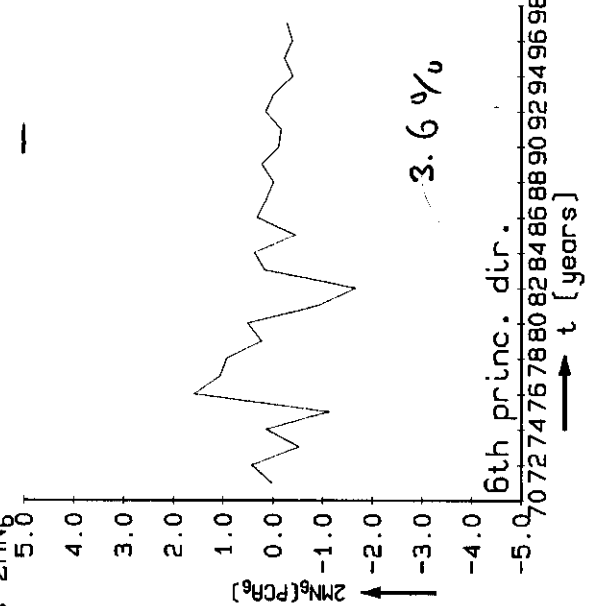
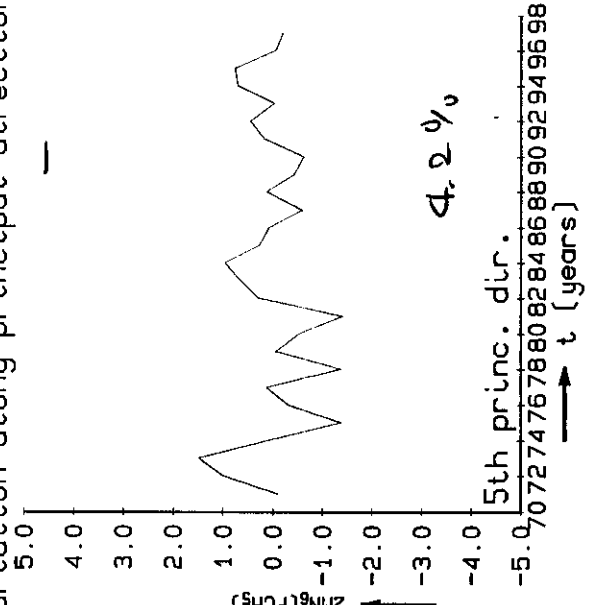
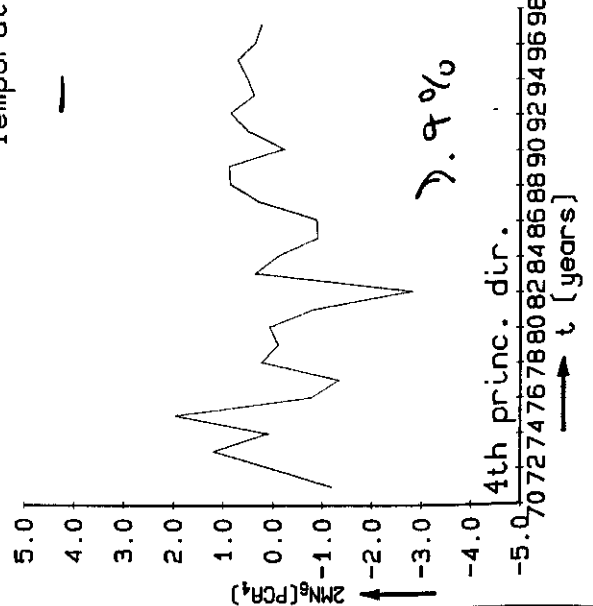
	01	02	03	04	05	06
01	28.04	26.32	24.60	26.02	28.08	35.27
02	26.32	24.73	23.10	24.43	26.38	33.11
03	24.60	23.10	21.59	22.83	24.64	30.95
04	26.02	24.43	22.83	24.16	26.07	32.74
05	28.08	26.38	24.64	26.07	28.14	35.33
06	35.27	33.11	30.95	32.74	35.33	44.39
07	254.3	238.7	223.2	236.0	254.6	319.8
08	294.6	276.8	258.6	273.4	295.2	370.5
09	441.1	414.1	387.2	409.4	441.6	554.7
10	684.2	642.7	600.5	634.8	685.3	860.3
11	966.7	908.3	848.6	896.9	968.3	1216.
12	1226.	1152.	1076.	1138.	1228.	1542.
	07	08	09	10	11	12
01	254.3	294.6	441.1	684.2	966.7	1226.
02	238.7	276.8	414.1	642.7	908.3	1152.
03	223.2	258.6	387.2	600.5	848.6	1076.
04	236.0	273.4	409.4	634.8	896.9	1138.
05	254.6	295.2	441.6	685.3	968.3	1228.

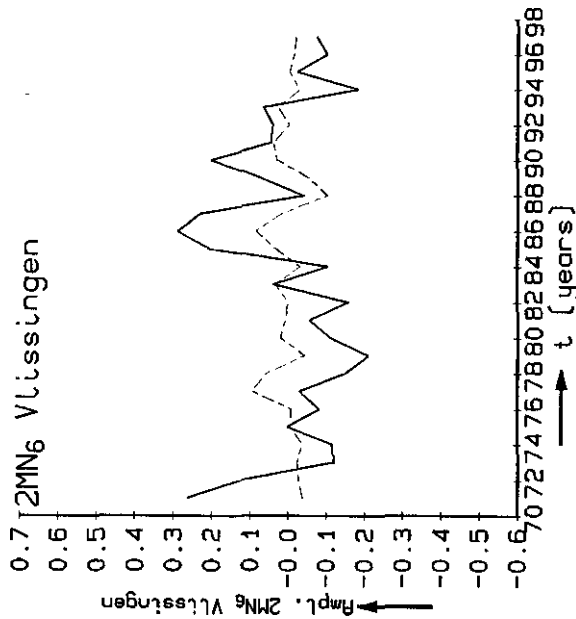
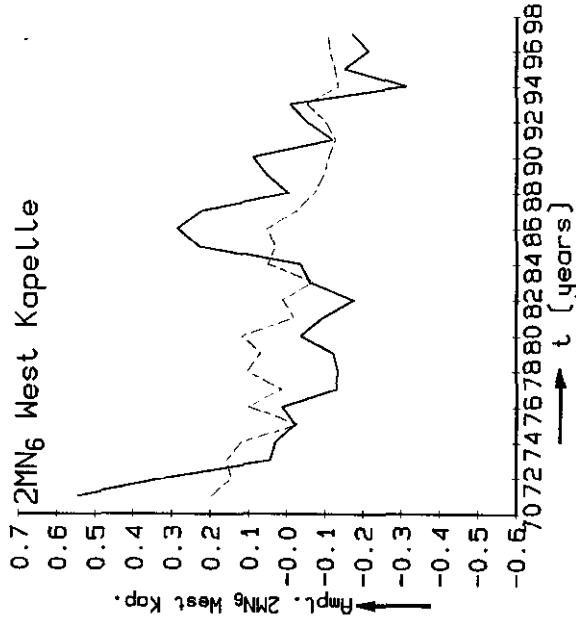
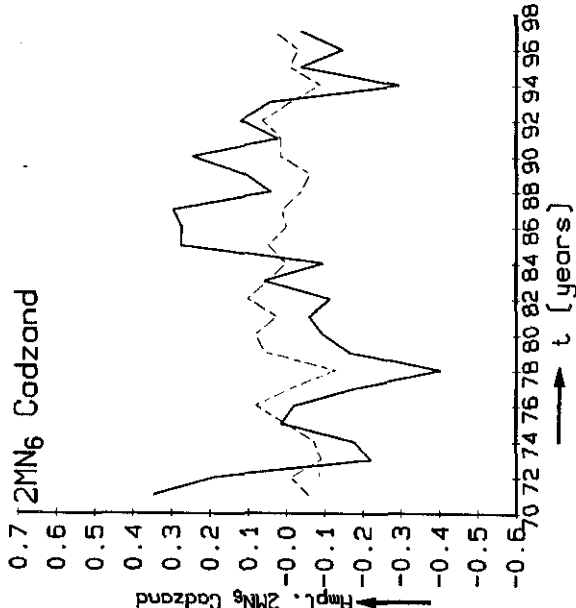
B.ga

$\sum_i = 25.1$

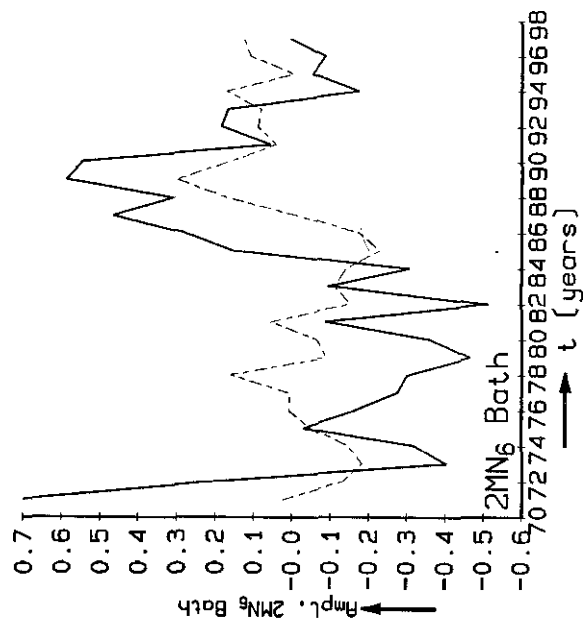
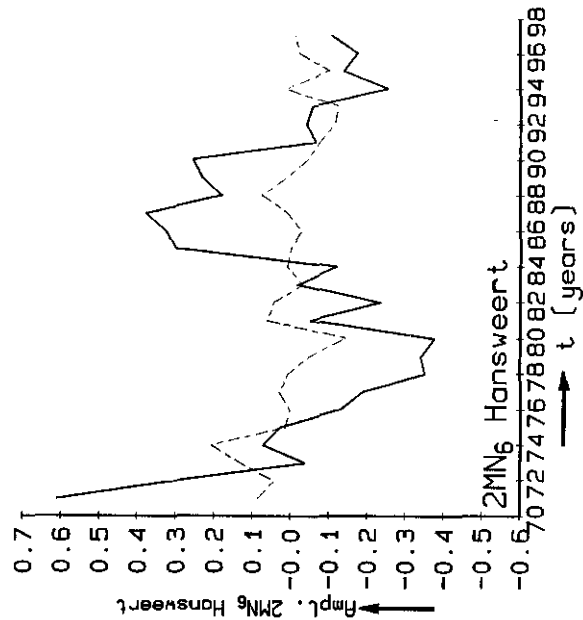
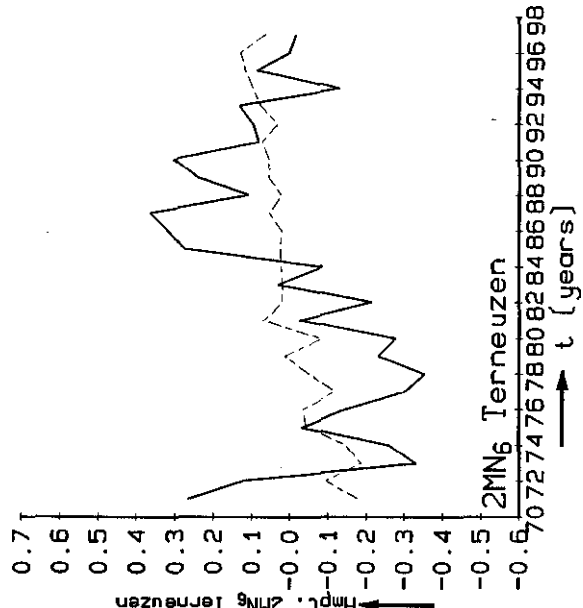


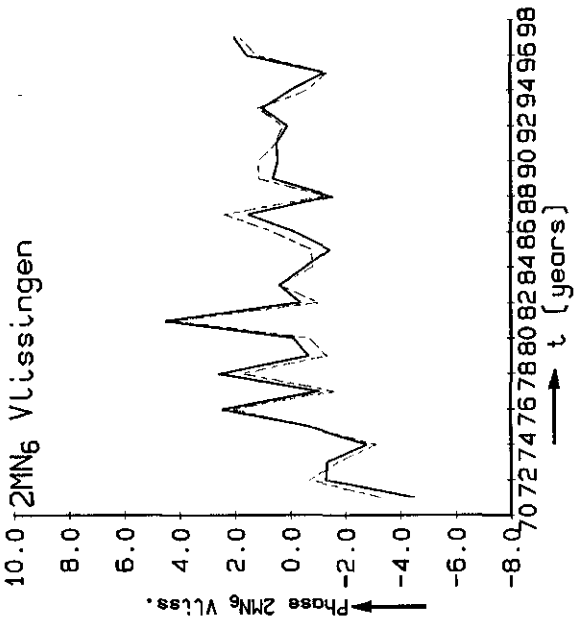
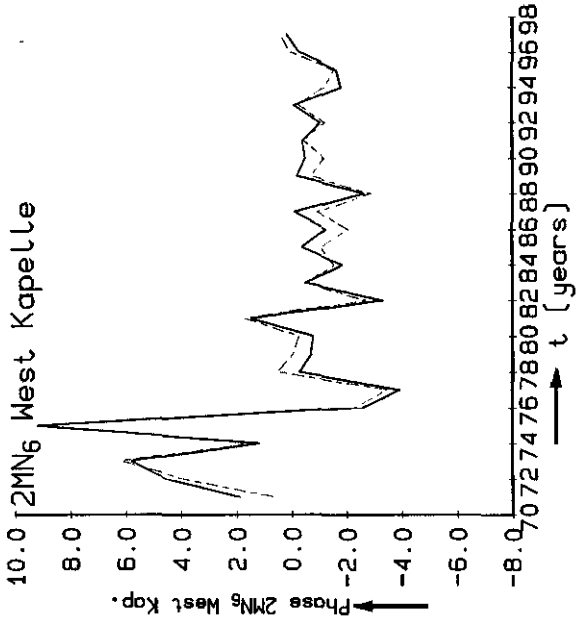
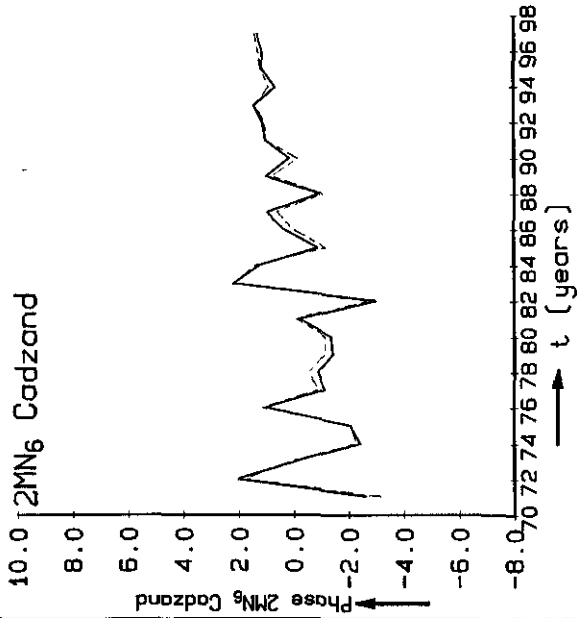
Temporal variation along principal directions $2MN_6$



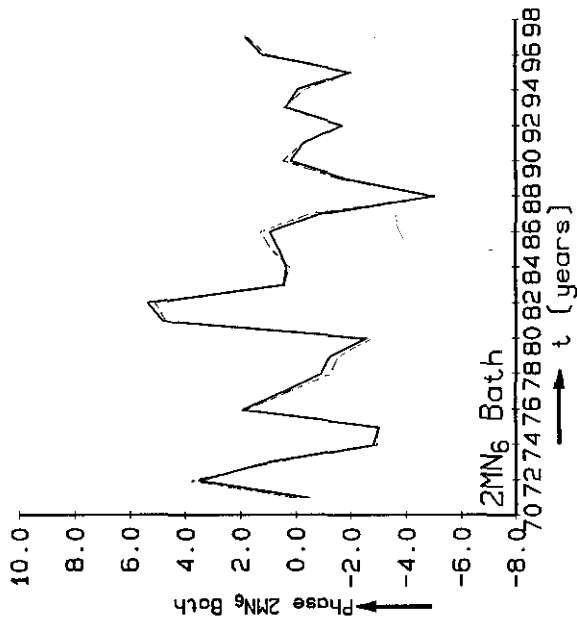
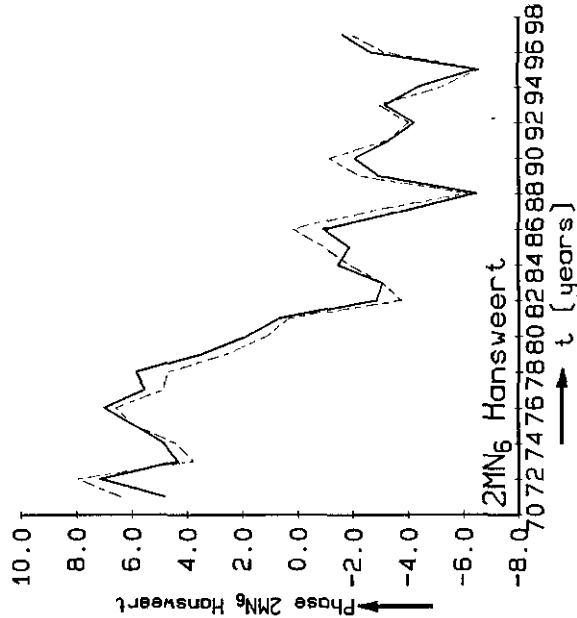
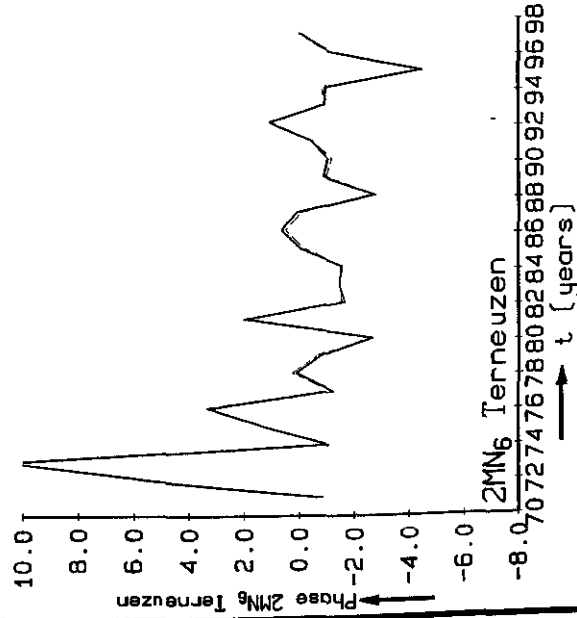


Reconstructed AMPLITUDES $-[0,0]$ and $-[0,1]$ after PCA analysis A+P





Reconstructed PHASES $-[0,0]$ and $-[0,1]$ after PCA analysis A.+P.



Case : Westerschelde,
 PCA analysis AMPLITUDES 2SM2 + PHASES 2SM2
 Stations: Cadzand, West-Kapelle, Vlissingen, Terneuzen, Hansweert, Bath
 Entries : 1 2 3 4 5 6 AMPL.
 7 8 9 10 11 12 PHASE
 Period : 1971-1987
 Prepared: 16 nov. 1998
 by : Henk van den Boogaard

PCA --- ANALYSIS

input data >
 number of samples read from file : 0027
 dimension of each sample : 0012
 dimension of input part of each sample: 0012
 dimension of output part of each sample: 0000
 scaling option for inputs : z
 scaling option for outputs : z

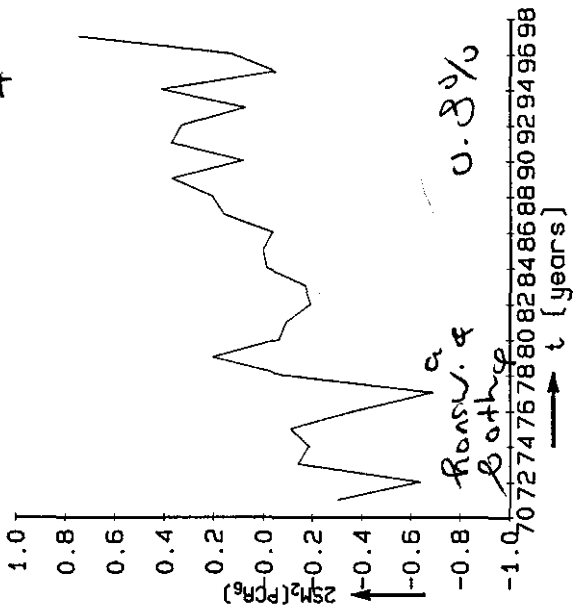
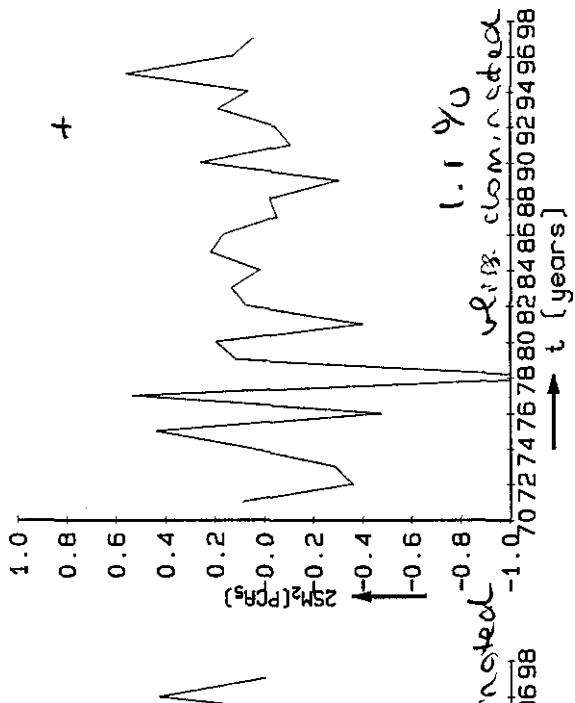
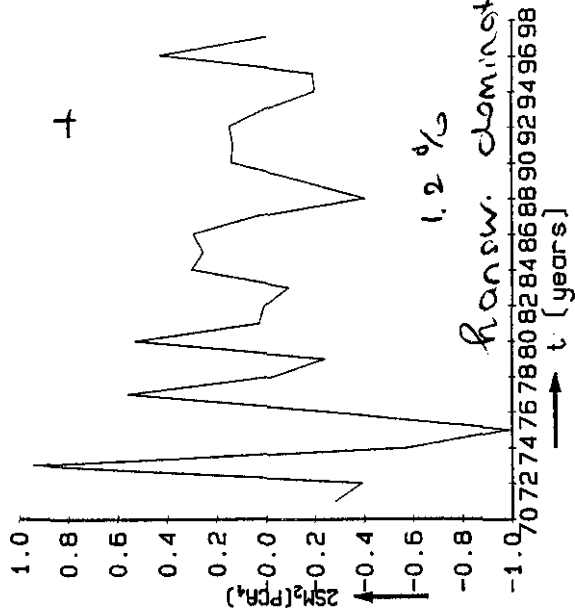
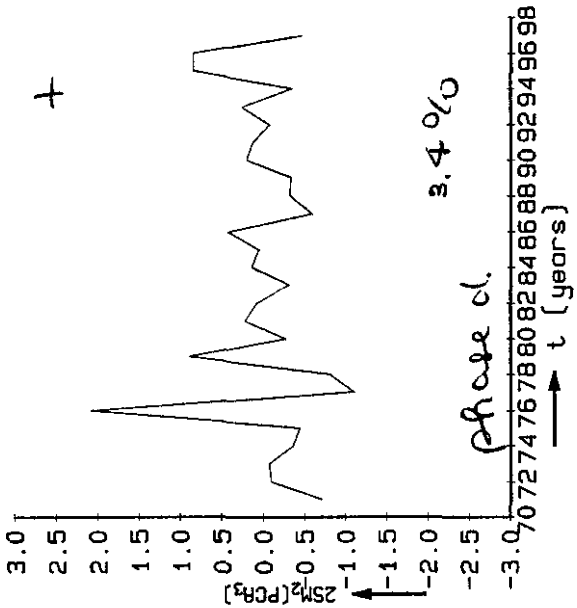
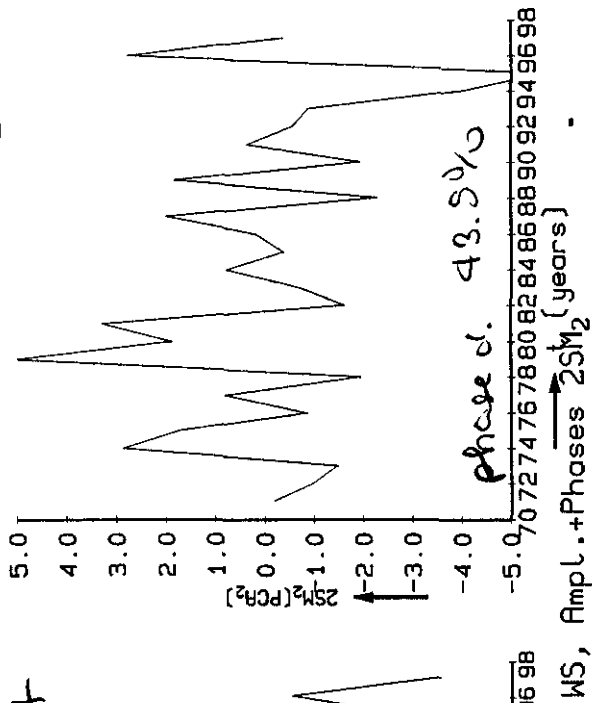
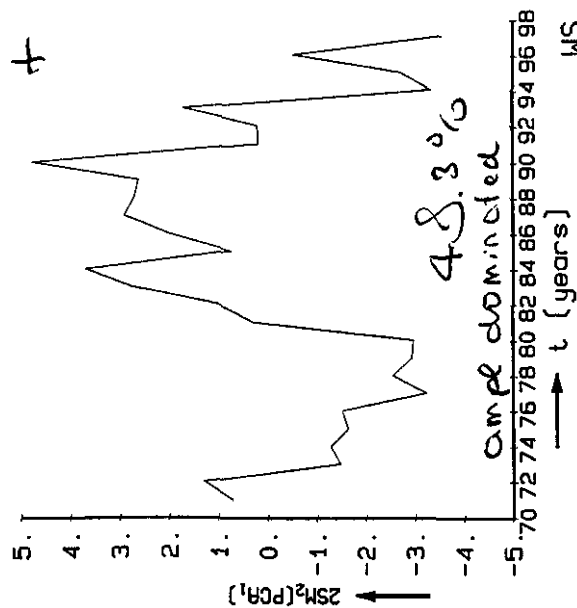
2SM₂

Means and standard deviations of the components of nonscaled ensemble:

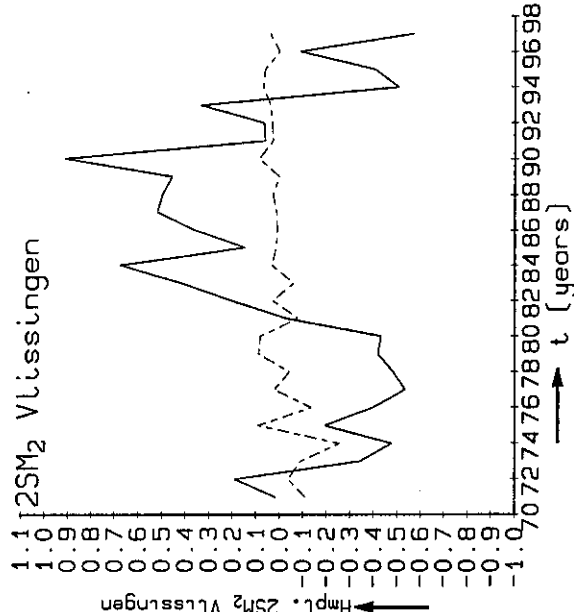
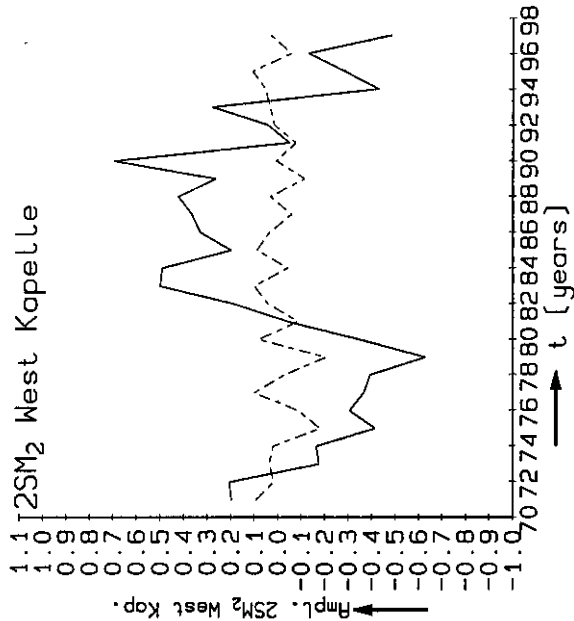
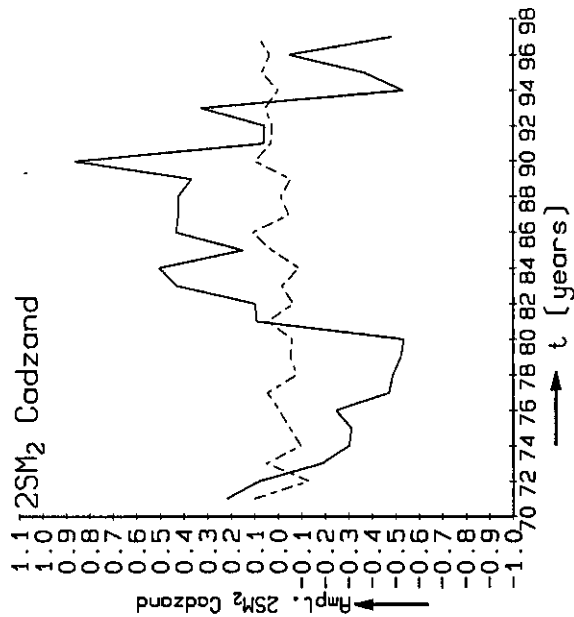
nr.	mean	stand dev.	variance	min.	max.	range
01>	3.648	0.3933	0.1547	3.112	4.508	1.396
02>	3.396	0.3579	0.1281	2.770	4.091	1.321
03>	3.990	0.4254	0.1810	3.420	4.899	1.479
04>	4.475	0.4759	0.2265	3.758	5.401	1.643
05>	4.996	0.4974	0.2474	4.074	5.867	1.793
06>	5.212	0.5953	0.3544	4.245	6.270	2.025
07>	334.1	4.164	17.33	324.2	343.2	19.05
08>	341.0	3.525	12.43	332.9	348.2	15.34
09>	346.0	3.842	14.76	337.9	353.9	16.04
10>	355.3	4.290	18.41	346.1	364.2	18.08
11>	367.1	3.494	12.21	362.0	377.0	14.96
12>	384.8	4.019	16.15	377.6	396.8	19.19

2nd moment matrix <x(i)x(j)> of non-scaled ensemble:

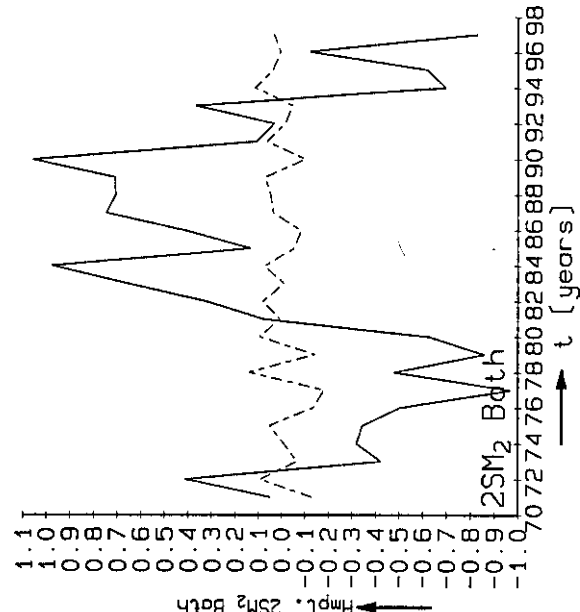
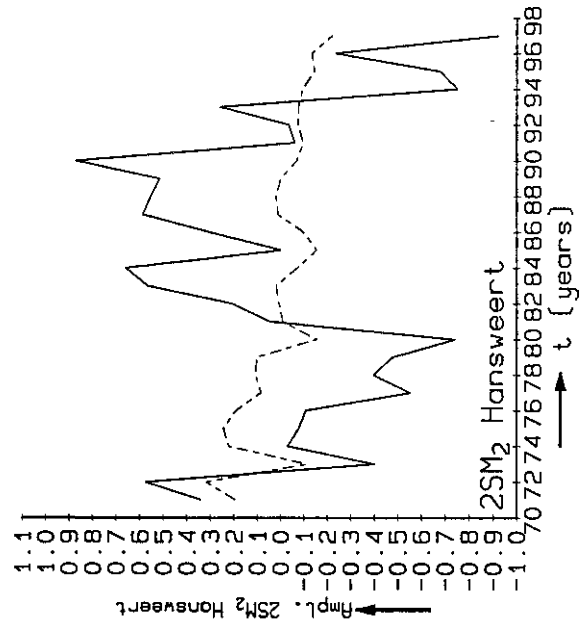
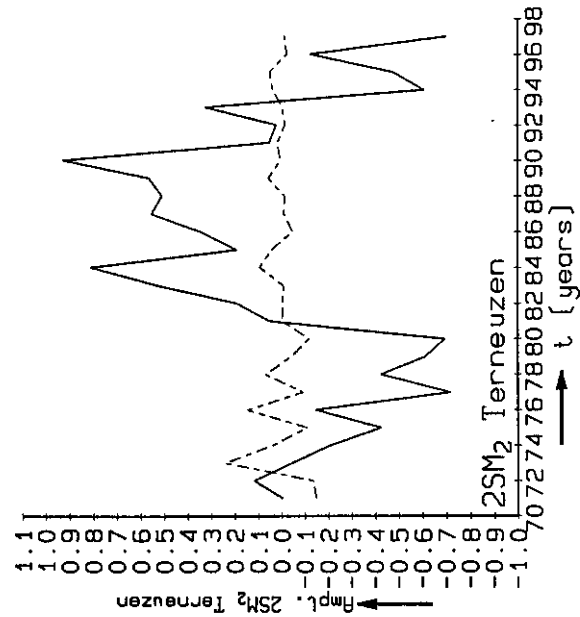
	01	02	03	04	05	06
01	13.98	13.00	15.28	17.14	19.11	19.97
02	13.00	12.11	14.22	15.94	17.78	18.59
03	15.28	14.22	16.72	18.74	20.90	21.85
04	17.14	15.94	18.74	21.02	23.44	24.50
05	19.11	17.78	20.90	23.44	26.17	27.32
06	19.97	18.59	21.85	24.50	27.32	28.57
07	1266.	1179.	1385.	1553.	1734.	1809.
08	1292.	1203.	1413.	1584.	1769.	1845.
09	1311.	1220.	1434.	1608.	1795.	1873.
10	1346.	1253.	1472.	1651.	1843.	1923.
11	1391.	1295.	1521.	1706.	1905.	1987.
12	1458.	1357.	1594.	1788.	1996.	2083.
	07	08	09	10	11	12
01	1266.	1292.	1311.	1346.	1391.	1458.
02	1179.	1203.	1220.	1253.	1295.	1357.
03	1385.	1413.	1434.	1472.	1521.	1594.
04	1553.	1584.	1608.	1651.	1706.	1788.
05	1734.	1769.	1795.	1843.	1905.	1996.

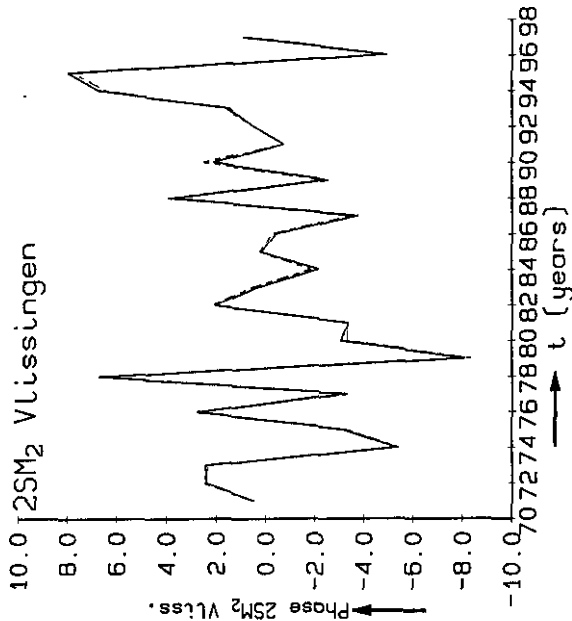
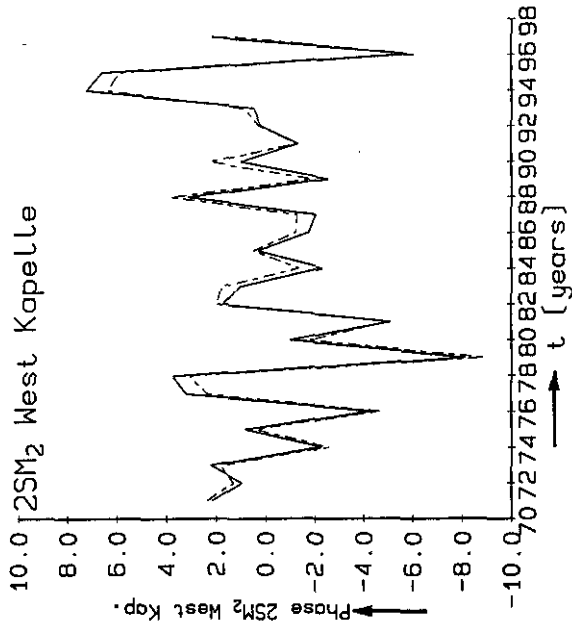
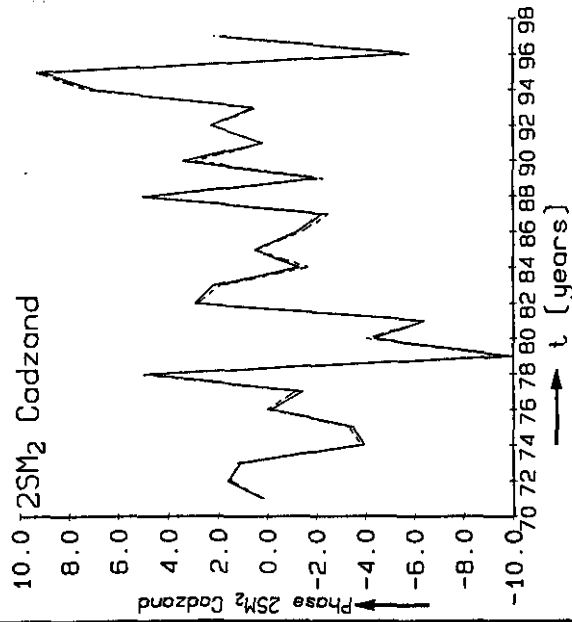


$\Sigma_1^6 = 98.3$

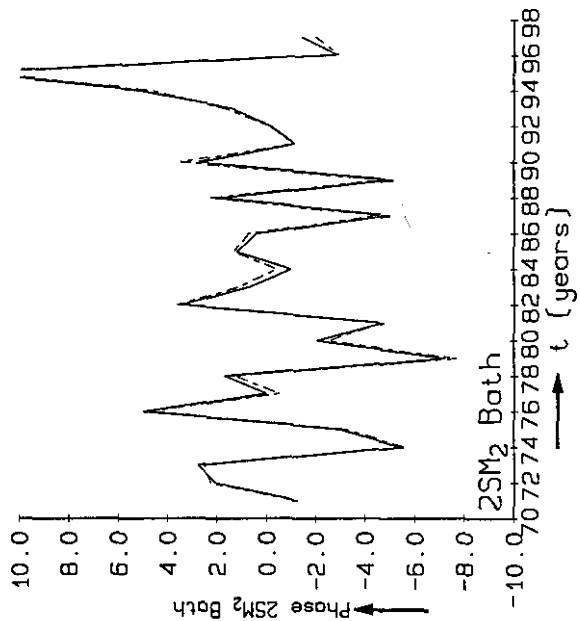
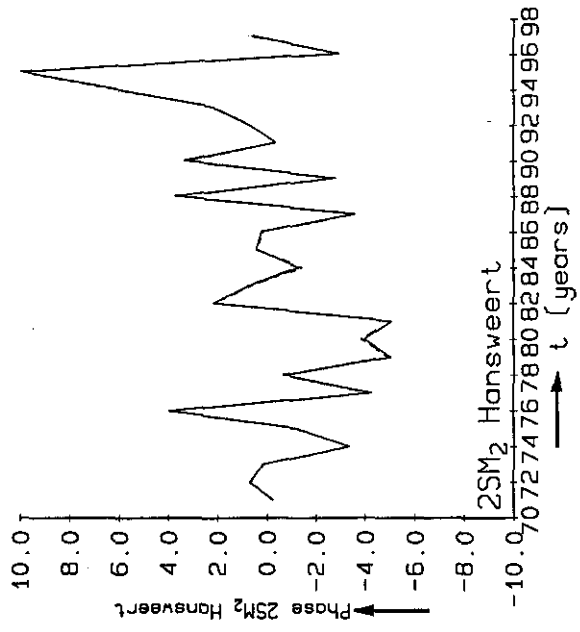
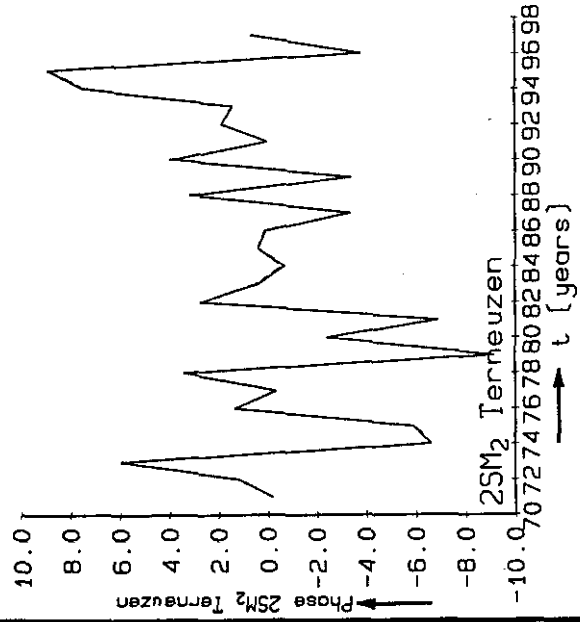


Reconstructed AMPLITUDES $-[0,0]$ and $-[0,1]$ after PCA analysis A+P





Reconstructed PHASES $-[0,0]$ and $-[0,1]$ after PCA analysis R.+P.



Case : Westerschelde,
 PCA analysis AMPLITUDES MU2 + PHASES MU2

Stations: Cadzand, West-Kapelle, Vlissingen, Terneuzen, Hansweert, Bath

Entries : 1 2 3 4 5 6 AMPL.
 7 8 9 10 11 12 PHASE

Period : 1971-1987

Prepared: 16 nov. 1998

by : Henk van den Boogaard

PCA --- A N A L Y S I S

input data >

number of samples read from file : 0027

dimension of each sample : 0012

dimension of input part of each sample: 0012

dimension of output part of each sample: 0000

scaling option for inputs : z

scaling option for outputs : z

M₂

Means and standard deviations of the components of nonscaled ensemble:

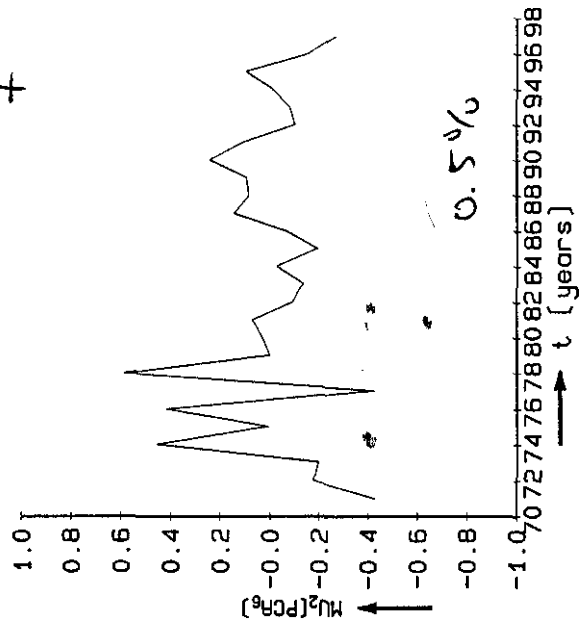
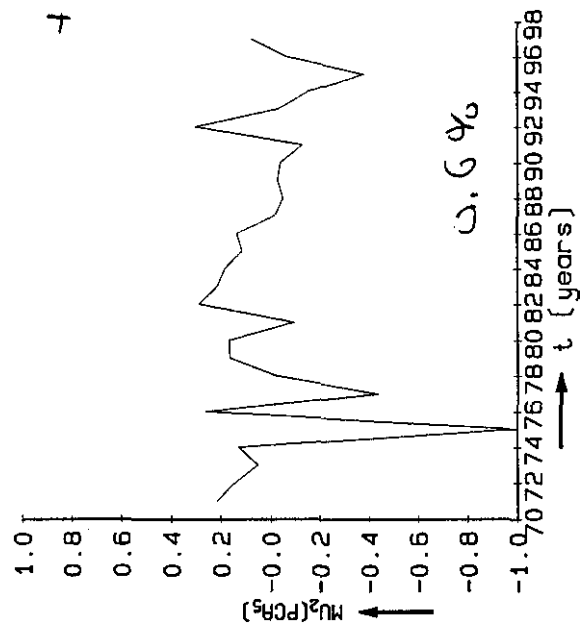
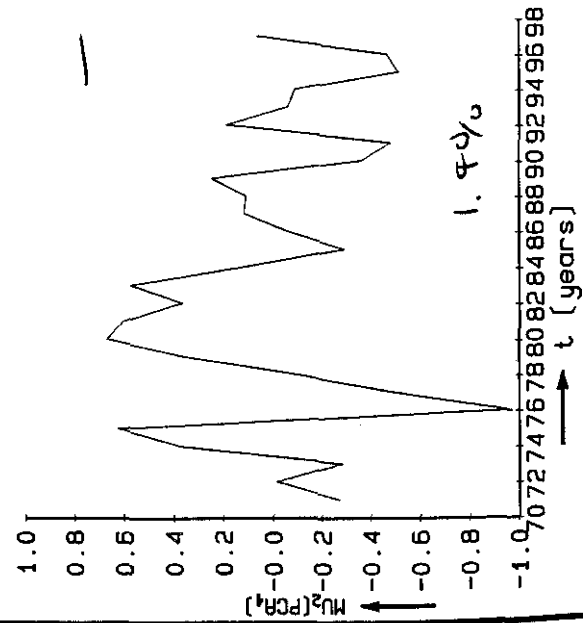
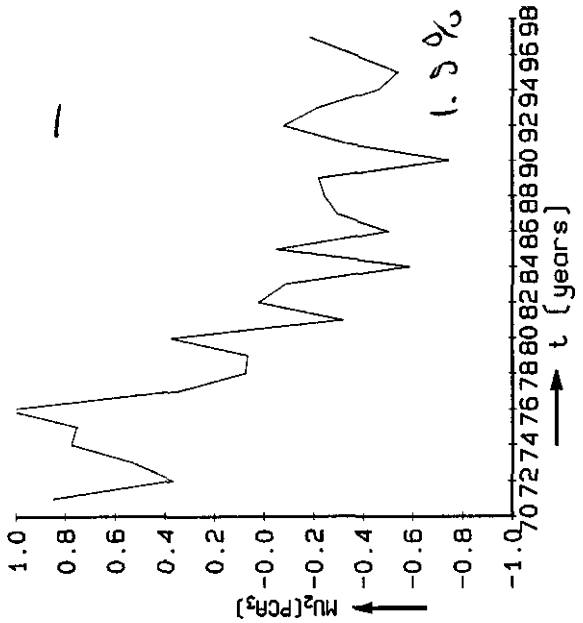
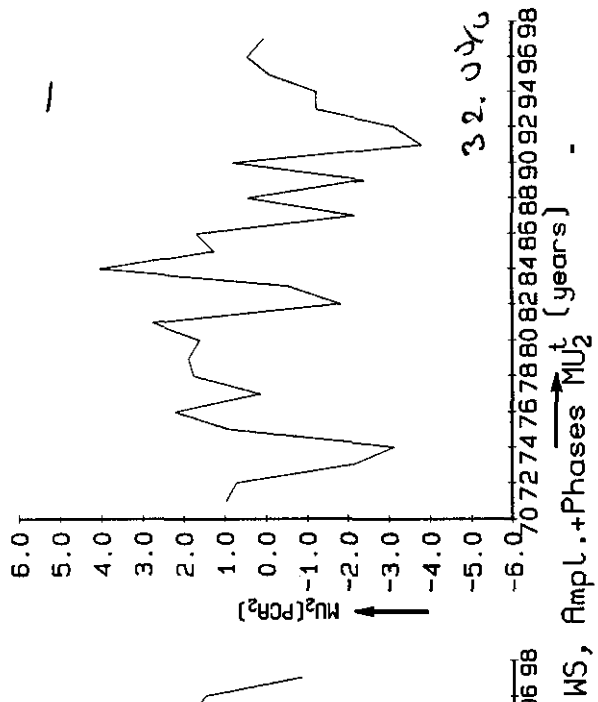
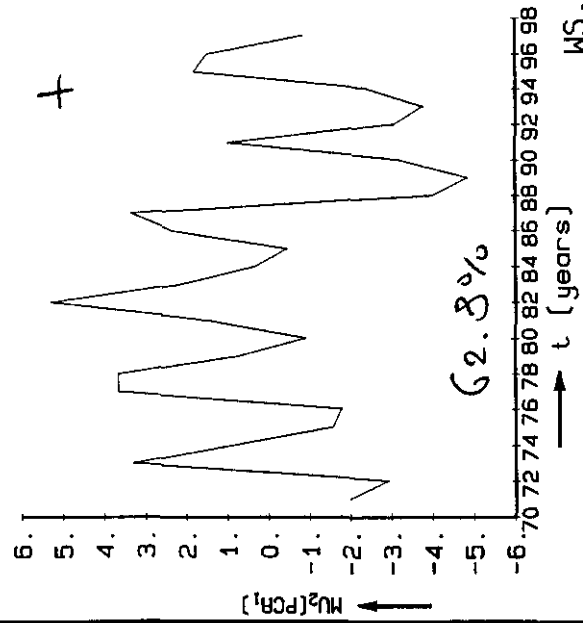
nr.	mean	stand dev.	variance	min.	max.	range
01>	11.07	0.5768	0.3327	10.26	12.21	1.950
02>	10.43	0.5333	0.2844	9.607	11.40	1.798
03>	12.79	0.6008	0.3609	12.04	13.99	1.941
04>	15.43	0.6302	0.3972	14.58	16.76	2.182
05>	17.87	0.7108	0.5053	16.73	19.32	2.588
06>	19.92	0.7614	0.5797	18.38	21.51	3.136
07>	157.5	3.270	10.69	150.7	162.8	12.18
08>	164.2	3.157	9.966	158.1	169.1	11.06
09>	164.7	3.070	9.425	158.9	170.8	11.97
10>	169.1	2.980	8.879	162.5	173.4	10.93
11>	176.6	2.981	8.888	169.9	180.7	10.77
12>	188.0	3.649	13.32	180.5	193.4	12.90

2nd moment matrix $\langle x(i)x(j) \rangle$ of non-scaled ensemble:

	01	02	03	04	05	06
01	127.7	120.2	147.4	177.8	205.8	229.4
02	120.2	113.2	138.8	167.4	193.8	216.0
03	147.4	138.8	170.3	205.4	237.8	265.0
04	177.8	167.4	205.4	247.8	286.8	319.7
05	205.8	193.8	237.8	286.8	332.0	370.1
06	229.4	216.0	265.0	319.7	370.1	412.7
07	1812.	1706.	2093.	2525.	2923.	3258.
08	1889.	1779.	2182.	2632.	3047.	3397.
09	1895.	1785.	2189.	2641.	3057.	3408.
10	1945.	1832.	2247.	2711.	3138.	3499.
11	2032.	1914.	2347.	2832.	3278.	3654.
12	2162.	2036.	2498.	3013.	3488.	3889.

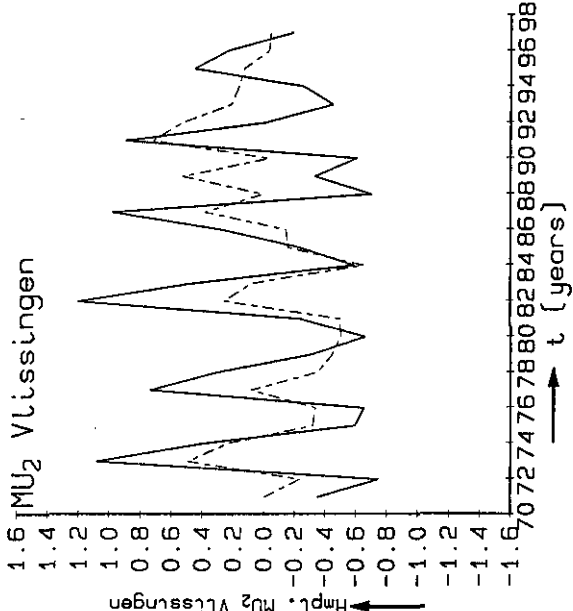
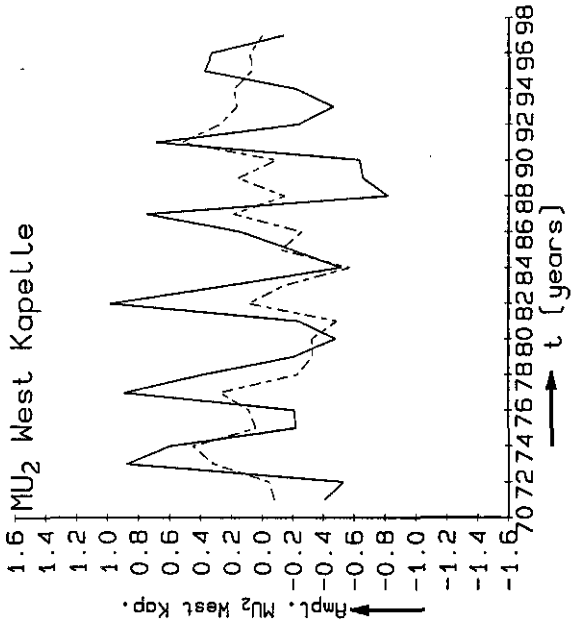
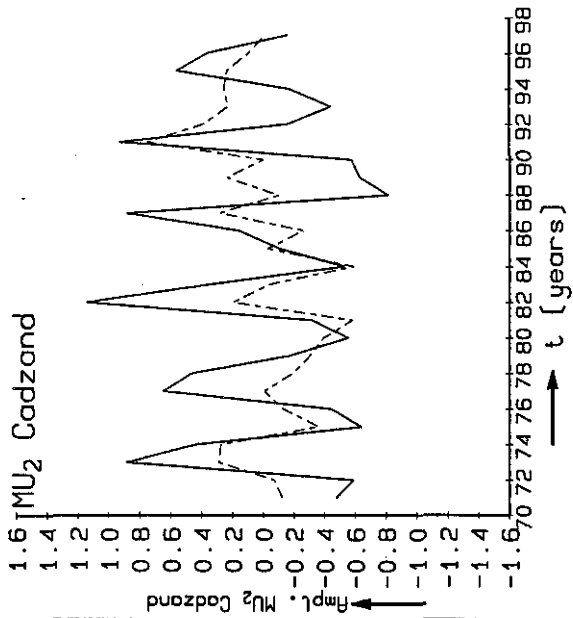
	07	08	09	10	11	12
01	1812.	1889.	1895.	1945.	2032.	2162.
02	1706.	1779.	1785.	1832.	1914.	2036.
03	2093.	2182.	2189.	2247.	2347.	2498.
04	2525.	2632.	2641.	2711.	2832.	3013.
05	2923.	3047.	3057.	3138.	3278.	3488.
06	3258.	3397.	3408.	3499.	3654.	3889.

B.10a

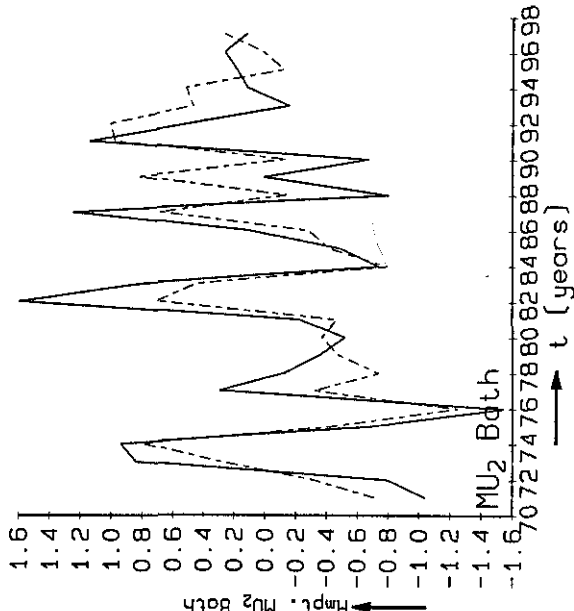
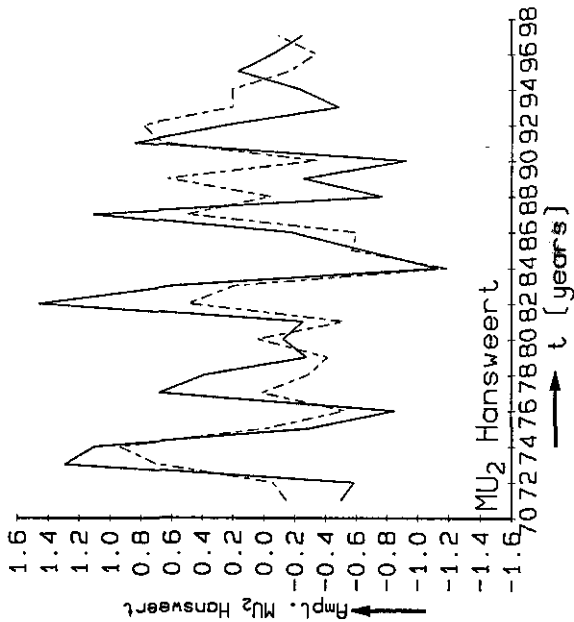
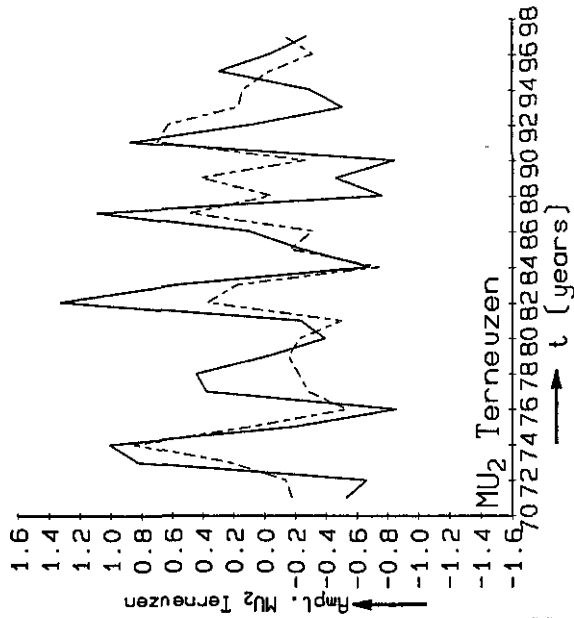


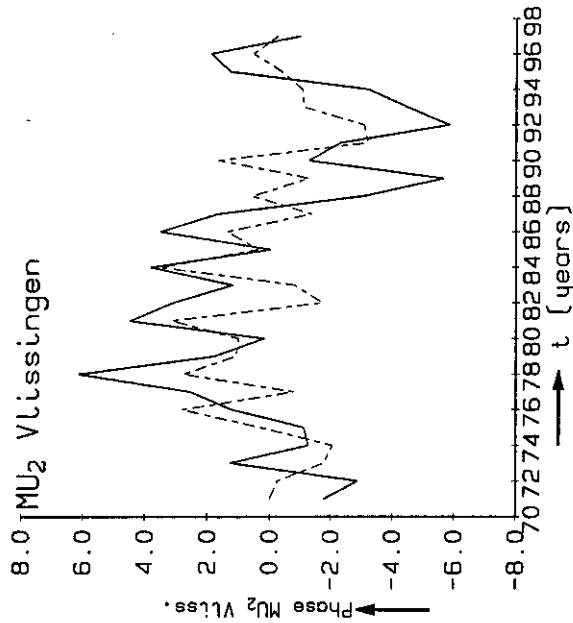
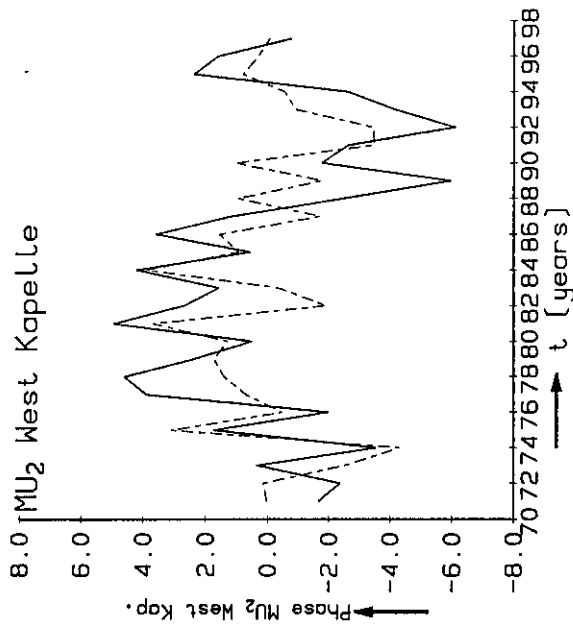
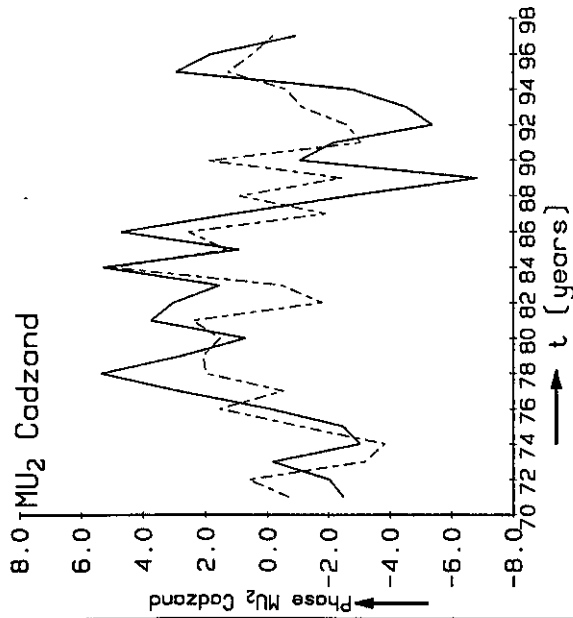
MS, Amplitude Phases MU₂^t

$$\sum_i = 99.0\%$$

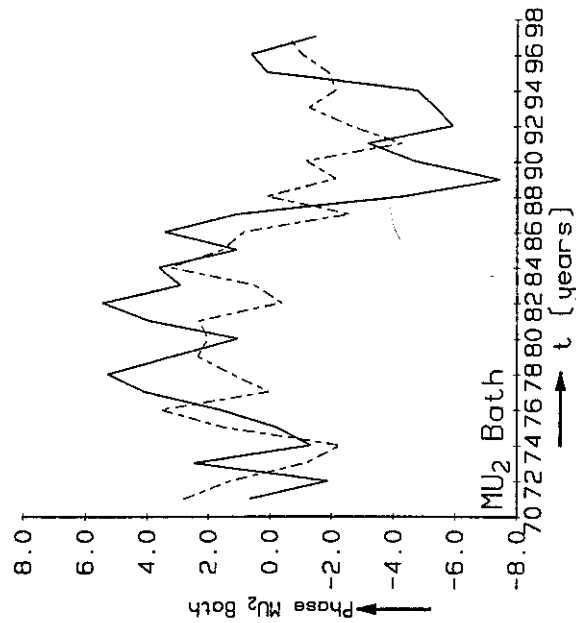
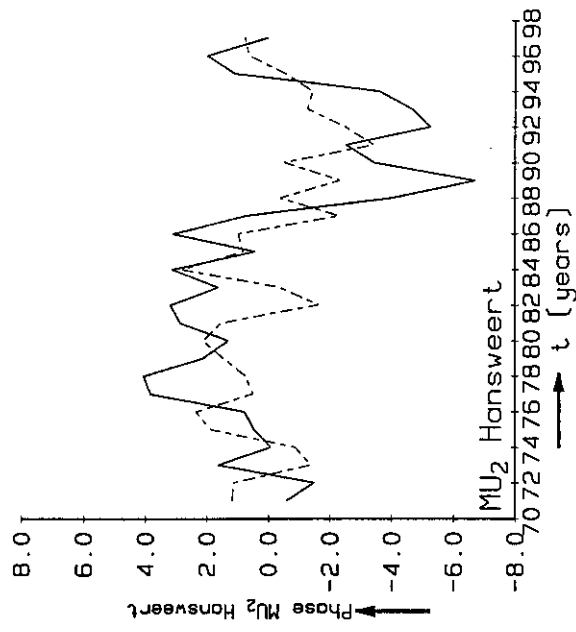
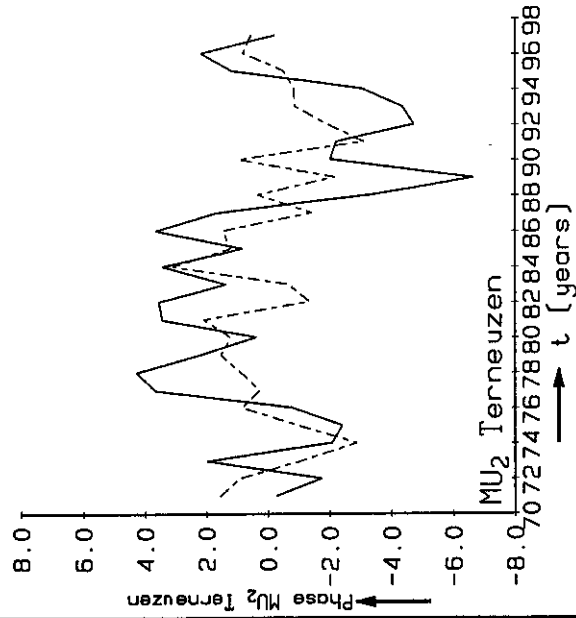


Reconstructed AMPLITUDES $-[0,0]$ and $-[0,1]$ after PCA analysis A+P





Reconstructed PHASES $-[0,0]$ and $-[0,1]$ after PCA analysis A.+P.



Case : Westerschelde,
PCA analysis AMPLITUDES 2MN2 + PHASES 2MN2
Stations: Cadzand, West-Kapelle, Vlissingen, Terneuzen, Hansweert, Bath
Entries : 1 2 3 4 5 6 AMPL.
7 8 9 10 11 12 PHASE
Period : 1971-1987
Prepared: 16 nov. 1998
by : Henk van den Boogaard

PCA --- A N A L Y S I S

input data >
number of samples read from file : 0027
dimension of each sample : 0012
dimension of input part of each sample: 0012
dimension of output part of each sample: 0000
scaling option for inputs : z
scaling option for outputs : z

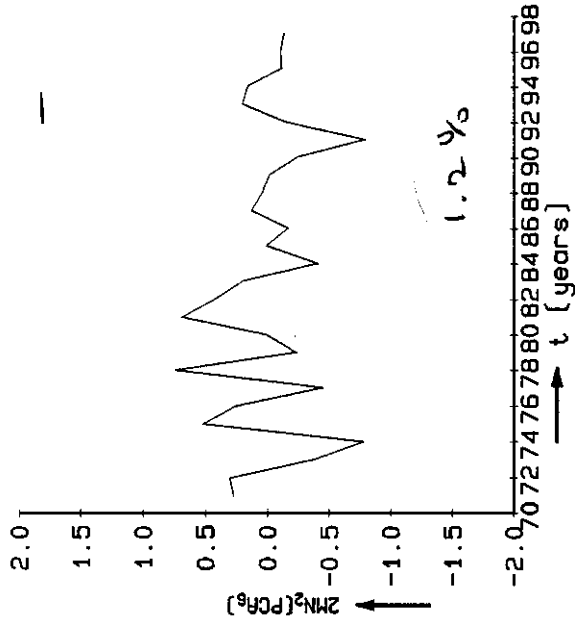
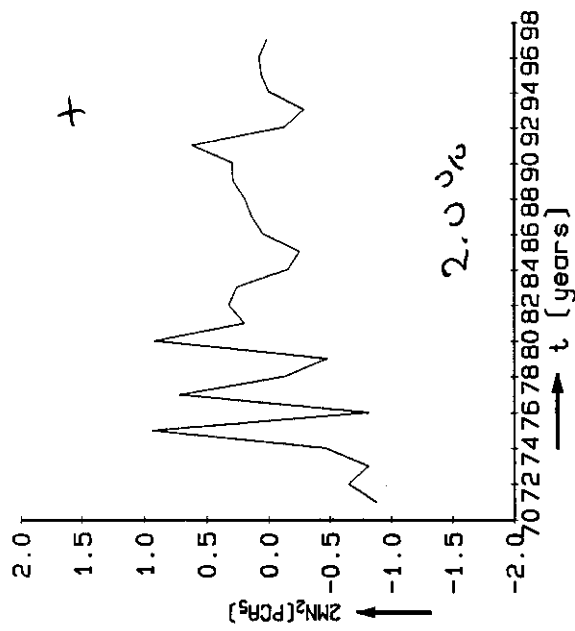
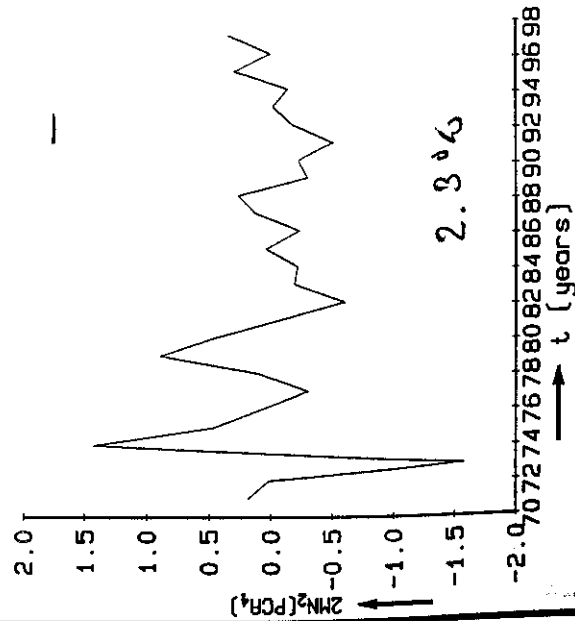
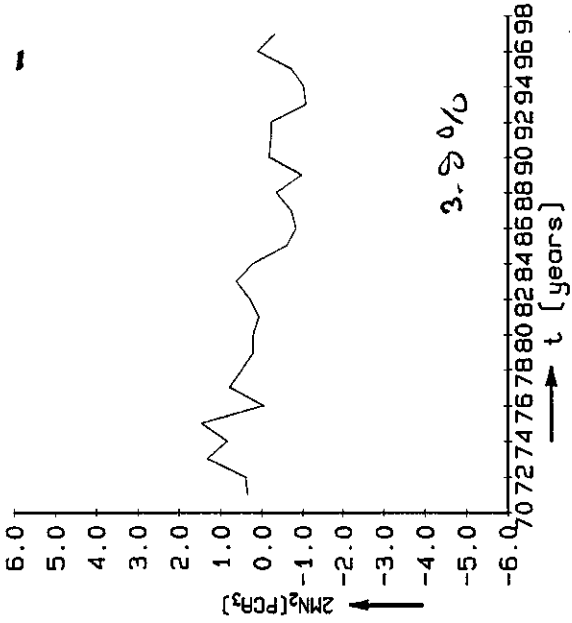
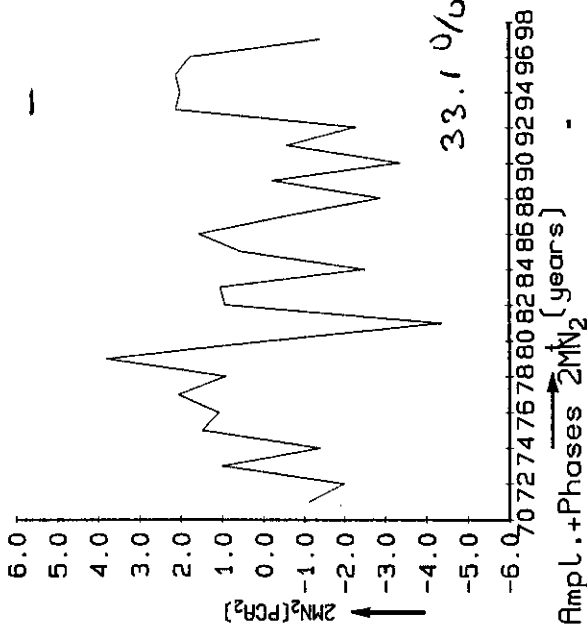
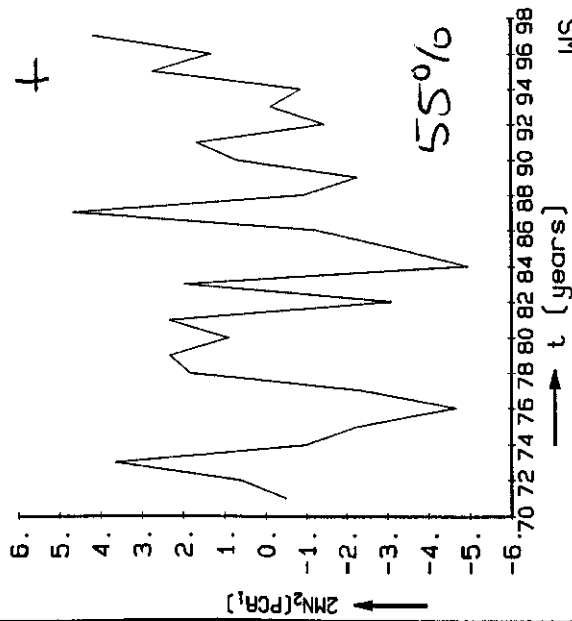
2MN₂

Means and standard deviations of the components of nonscaled ensemble:

nr.	mean	stand dev.	variance	min.	max.	range
01>	12.12	0.4652	0.2164	11.50	12.94	1.438
02>	11.29	0.3917	0.1534	10.69	12.01	1.321
03>	13.20	0.4809	0.2313	12.05	14.02	1.970
04>	14.87	0.5480	0.3003	13.83	16.00	2.174
05>	16.35	0.5897	0.3478	15.38	17.55	2.164
06>	17.65	0.6280	0.3944	16.58	19.00	2.427
07>	247.2	1.592	2.533	244.3	250.4	6.050
08>	252.7	1.422	2.022	249.6	255.6	5.940
09>	257.2	1.749	3.060	252.6	259.4	6.840
10>	265.3	2.203	4.852	261.0	271.5	10.52
11>	275.7	2.057	4.230	271.6	281.1	9.470
12>	288.7	1.987	3.950	285.5	292.5	7.040

2nd moment matrix <x(i)x(j)> of non-scaled ensemble:

	01	02	03	04	05	06
01	152.8	142.2	166.4	187.4	206.0	222.4
02	142.2	132.4	154.9	174.4	191.8	207.0
03	166.4	154.9	181.3	204.1	224.4	242.2
04	187.4	174.4	204.1	229.9	252.7	272.8
05	206.0	191.8	224.4	252.7	277.9	299.9
06	222.4	207.0	242.2	272.8	299.9	323.8
07	3112.	2898.	3390.	3817.	4197.	4531.
08	3182.	2962.	3465.	3902.	4290.	4632.
09	3238.	3015.	3527.	3972.	4367.	4714.
10	3340.	3109.	3637.	4096.	4503.	4862.
11	3471.	3232.	3781.	4257.	4681.	5053.
12	3634.	3384.	3958.	4458.	4901.	5291.
07	3112.	3182.	3238.	3340.	3471.	3634.
08	2898.	2962.	3015.	3109.	3232.	3384.
09	3390.	3465.	3527.	3637.	3781.	3958.
04	3817.	3902.	3972.	4096.	4257.	4458.
05	4197.	4290.	4367.	4503.	4681.	4901.

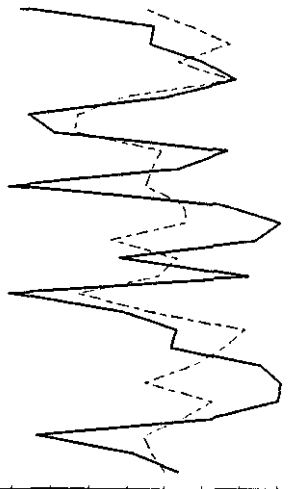


$\Sigma_1^6 = 92.50$

amplitudes & phases 2MN₂

1.4 2MN₂ Cadzand

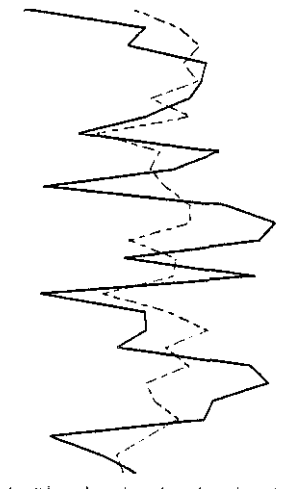
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1.0



-1.2 70 72 74 76 78 80 82 84 86 88 90 92 94 96 98
t (years)

1.4 2MN₂ West Kapelle

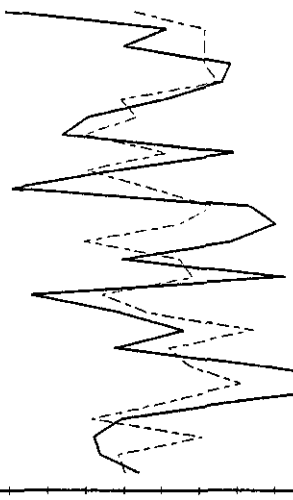
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1.0



-1.2 70 72 74 76 78 80 82 84 86 88 90 92 94 96 98
t (years)

1.4 2MN₂ Vlissingen

1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1.0

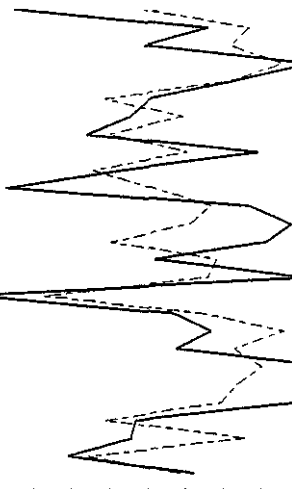


-1.2 70 72 74 76 78 80 82 84 86 88 90 92 94 96 98
t (years)

Reconstructed AMPLITUDES $-[0,0]$ and $-[0,1]$ after PCA analysis A+P

1.4 2MN₂ Terneuzen

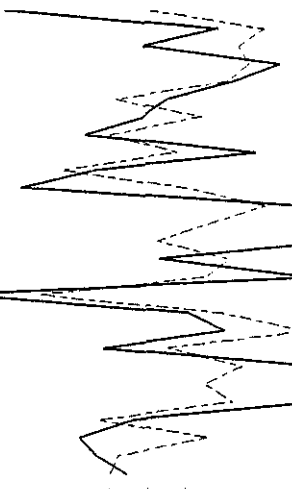
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1.0



-1.2 70 72 74 76 78 80 82 84 86 88 90 92 94 96 98
t (years)

1.4 2MN₂ Hansweert

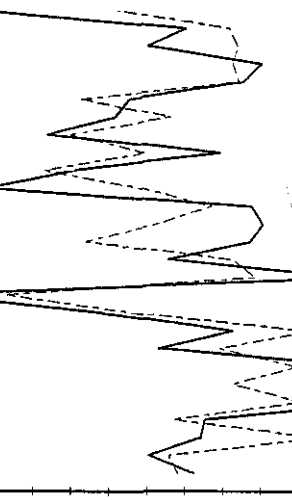
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1.0



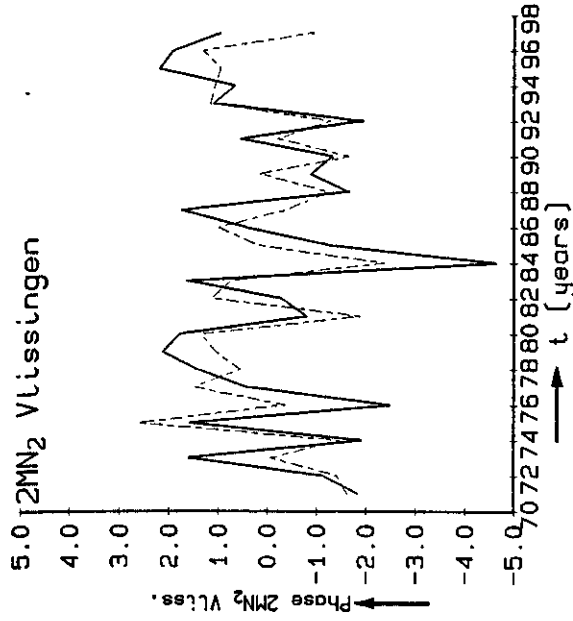
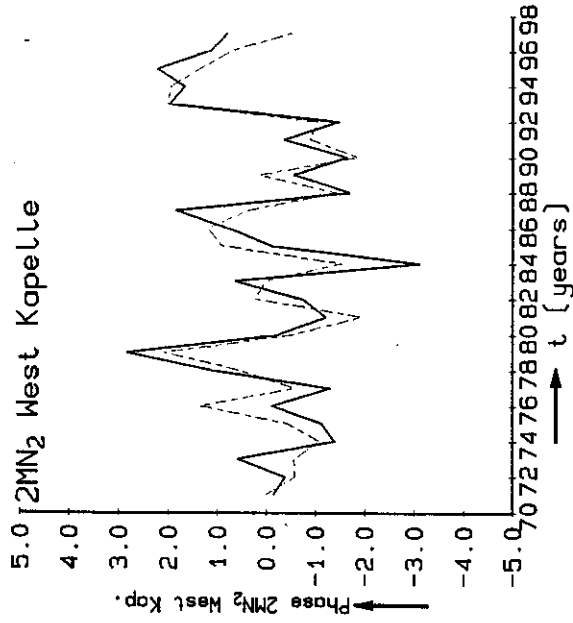
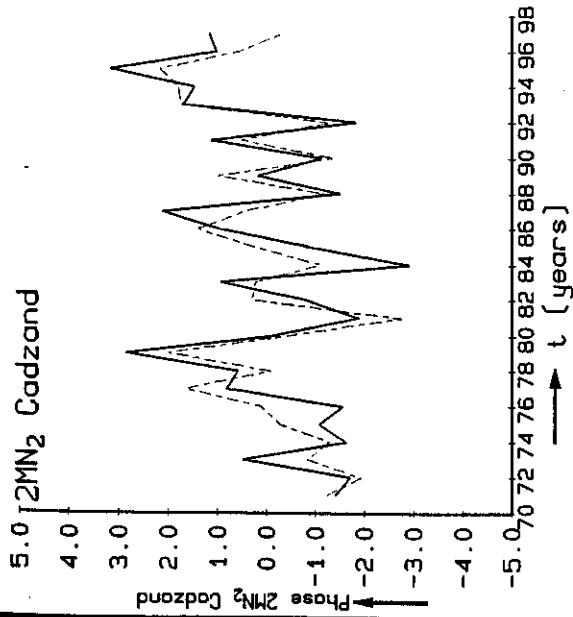
-1.2 70 72 74 76 78 80 82 84 86 88 90 92 94 96 98
t (years)

1.4 2MN₂ Bath

1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1.0



-1.2 70 72 74 76 78 80 82 84 86 88 90 92 94 96 98
t (years)



Reconstructed PHASES $-[0,0]$ and $-[0,1]$ after PCA analysis Amp.+Ph.

