

BIBLIOTHEEK
Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Postbus 5044, 2600 GA DELFT
Tel. 015-699111

technisch rapport 15 monitoring kustgedrag

kustverdediging na 1990

g.5 - 123,
XV

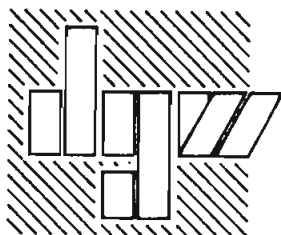
TECHNISCH RAPPORT 15 : MONITORING KUSTGEDRAG

Huidige situatie en toekomstbeeld

BIBLIOTHEEK
Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Postbus 5044, 2009 GA DELFT
Tel. 015-699111

Opgesteld door : ir. D. Dillingh
Hoofdafdeling Informatie en Ontwikkeling
Dienst Getijdewateren
Rijkswaterstaat

datum : april 1989



De kustverdediging
na 1990

dienst getijdewateren

INHOUDSOPGAVE

BLZ

KADER VAN DIT RAPPORT	5
SAMENVATTING EN CONCLUSIES	7
1 INLEIDING	13
1.1 Doel van de studie	13
1.2 Wat is monitoren	13
1.3 Welke parameters	14
1.4 Wet op de Waterkering	14
1.5 Het te beschouwen gebied	14
1.6 De optimalisatie van monitorprogramma's	14
2 DE WATERSTAND	17
2.1 Doel van de metingen	17
2.2 Bestaande meetnetten	17
2.3 De optimalisatie van het Landelijk Waterstandsmmeetnet	18
2.4 Zeespiegelrijzing	19
2.5 Bui-oscillaties en buistoten	20
3 GOLVEN	21
3.1 Doel van de metingen	21
3.2 Het Monitoring Systeem Golven	21
3.3 Het NESS-project	22
3.4 Golven op ondiep water	22
3.5 Laagfrequente golven	22
4 DE BODEMLIGGING	25
4.1 Doel van de metingen	25
4.2 De huidige metingen	25
4.3 Evaluatie van het meetprogramma	26
4.4 Samenvatting van het voorgestelde meetprogramma	29
5 OVERIGE PARAMETERS	31
5.1 De bodemsamenstelling	31
5.2 De stroomsnelheid	31
5.3 De watertemperatuur	31
5.4 De wind	31
6 REMOTE SENSING	33
6.1 Inleiding	33
6.2 LIDAR remote sensing	33
6.3 Radar remote sensing	34
6.4 Passieve remote sensing	36
6.5 Akoestische meetmethoden	36
7 GEGEVENSBEWERKING EN BESTANDSOPBOUW	39
7.1 Inleiding	39
7.2 Gegevensbewerking bij het Landelijk Waterstandsmmeetnet	39
7.3 Kwaliteitsborging van JARKUS- en golfgegevens	41
8 HET KOSTENASPECT	43
LITERATUUROVERZICHT	45

KADER VAN DIT RAPPORT

Dit rapport is een onderdeel van de studie die rond de discussienota "Kustverdediging na 1990" is uitgevoerd. Deze studie heeft in 1988 en 1989 plaatsgevonden. Hierin wordt een aantal alternatieve mogelijkheden ten aanzien van kustverdedigingsbeleid onderzocht en worden deze mogelijkheden naast elkaar gepresenteerd.

De beleidsanalytische studie vereist kennis over een groot aantal, soms nogal uiteenlopende aspecten van kustverdediging(sbeleid): kustgedrag, veiligheid van de duinenkust, voorspelling van kustgedrag, gebruiksfuncties in het duingebied en hoe deze te beoordelen, welke maatregelen zijn zinvol, etc. Al deze onderwerpen zijn in onderbouwende studies aan de orde gekomen en gerapporteerd in Technische Rapporten.

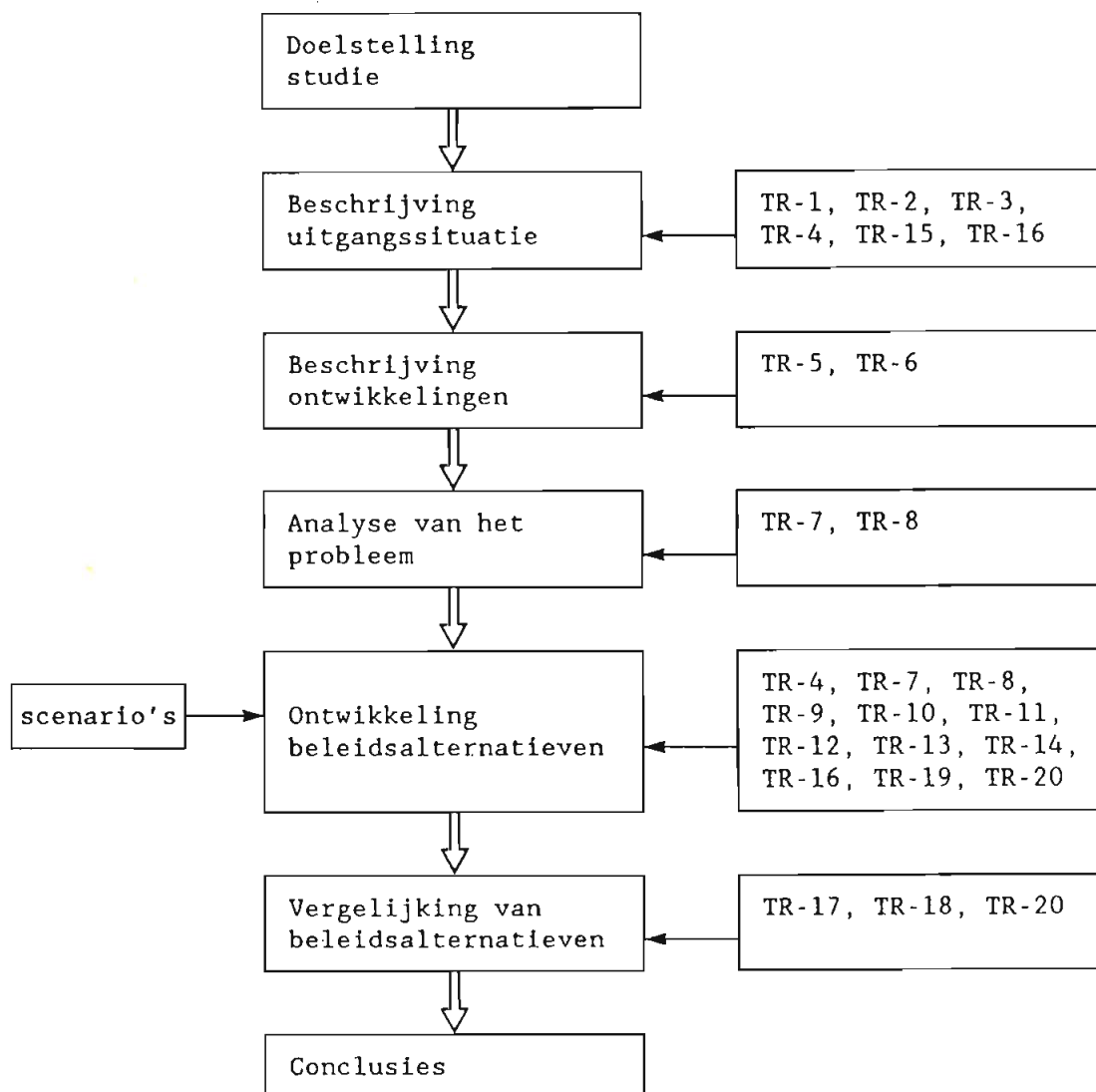
Het onderhavige rapport bevat de technische onderbouwing van een van de aspecten van de beleidsanalytische studie.

In onderstaand overzicht is een opsomming gegeven van alle Technische Rapporten die in dit kader zijn verschenen.

- TR-0 Overzicht technische onderbouwing discussienota Kustverdediging
samenvatting en conclusies van de uitgevoerde projecten.
- TR-1 Zandsysteem kust
een morfologische karakterisering.
- TR-2 Toestand kust 1990
kusttypering en kustligging.
- TR-3 Kustonderhoud
kosten van basisonderhoud.
- TR-4 Inventarisatie duinfuncties.
- TR-5 Kustvoorspelling
voorspelling ontwikkeling kustlijn 1990-2090.
- TR-6 Zeespiegelrijzing
hydro-meteo scenario's.
- TR-7 Duinen als waterkering
invloed van kustgedrag op veiligheid.
- TR-8 Duinfuncties
invloed van kustgedrag.
- TR-9 Inventarisatie functies onderwateroever
interactie met kustverdediging.
- TR-10 Zeezandwinning
invloed op kustgedrag; een verkenning.
- TR-11 Strand- en duinsuppleties
effectiviteit en kosten.
- TR-12 Strandhoofden en paalrijen
evaluatie werking.
- TR-13 Grote civiele werken
invloed op kustgedrag.
- TR-14 Onderwateroeversuppleties
een alternatieve kustverdedigingsmethode.
- TR-15 Monitoring kustgedrag
huidige situatie en toekomstbeeld.
- TR-16 Harde kustverdediging
zeedijken, havengebieden en strandmuren als waterkering.

- TR-17 Systeemanalytisch model
beschrijving computermodel.
- TR-18 Berekeningsresultaten beleidsalternatieven
detailresultaten van computermodel.
- TR-19 Innovatie van kustverdediging
inspelen op het kustsysteem.
- TR-20 Zeewaartse kustverdediging
een globale uitwerking van enkele mogelijkheden.

De onderbouwende studies bestrijken het brede scala van onderwerpen dat met de beleidsanalytische studie van de kustverdediging samenhangt. De relatie met deze studie komt tot uitdrukking door bij de verschillende stappen aan te geven waar deze door een technisch rapport ondersteund worden. Dit is in onderstaand schema aangegeven.



SAMENVATTING EN CONCLUSIES

DOEL VAN DE STUDIE

In 1990 is de sterkte van het systeem van waterkeringen van ons land tegen de bedreiging door de zee op zgn. delta-veilig niveau gebracht. Deze veiligheid zal echter onder druk komen te staan door de huidige morfologische ontwikkelingen van onze kust, waarbij zeespiegelrijzing een belangrijke rol speelt. Om het verkregen veiligheidsniveau te kunnen handhaven en het kustgedrag beter te leren begrijpen en te voorspellen, is het noodzakelijk ons kuststelsel en de factoren die het beïnvloeden nauwlettend in de gaten te houden.

Doel van deze studie is na te gaan hoe we dat in het licht van de huidige kennis het beste kunnen doen. Het huidige meetprogramma wordt daartoe beschreven en geëvalueerd. Waar nodig worden aanpassingen voorgesteld. Tevens wordt een blik op de verdere toekomst geworpen in het hoofdstuk over remote sensing technieken.

WAT IS MONITOREN

Onder het monitoren van het kuststelsel wordt verstaan het regelmatig en routinematig waarnemen van karakteristieke kenmerken van het kuststelsel, noodzakelijk voor integraal kustbeheer en -beleid en operationeel beheer. Het doel kan drieërlei zijn:

- het vastleggen en volgen van de toestand en controleren of niet een bepaalde kritieke toestand wordt overschreden;
- het verkrijgen van lange meetreeksen voor statistische analyse en het signaleren van eventuele trendbreuken.
- het verzamelen van gegevens voor onderzoeksdoeleinden.

PARAMETERS EN GEBIED

In dit rapport wordt alleen gekeken naar de veiligheid tegen overstrooming en het gedrag van de kust. De volgende fysische grootheden spelen daarbij een rol: waterstanden, golven, de bodemligging, de bodemsamenstelling, stroomsnelheden, watertemperatuur en wind.

Dit rapport betreft met name de zandige Noordzeekust. Gezien echter het belang van de Waddenzee en de estuaria voor het gedrag van de Noordzeekust, wordt ook aan deze gebieden aandacht besteed.

DE WATERSTAND

Voor het vastleggen van de waterstaatkundige toestand van het land is een landelijk net van peilmeetstations opgezet: het Landelijk Waterstandsmeetnet (LWM). Het LWM heeft als doel zowel het leveren van actuele waterstandsgegevens (Stormvloedwaarschuwingsdienst (SVSD), bediening kunstwerken) als de opbouw van veeljarige bestanden (overschrijdingsfrequenties van waterstanden, zeespiegelrijzing, getijanalyse). De locaties voor de verschillende meetpunten worden deels bepaald door eisen t.a.v. operationeel gebruik en deels door voor de waterhuishouding belangrijke punten. De dichtheid van het meetnet is verder zodanig bepaald, dat de waterstand van elk station berekend kan worden uit die van de omringende stations, zodanig dat de berekende waarde niet onnauwkeuriger is dan de gemeten waarde.

Verder bestaan er een drietal regionale meetnetten: ZEGE (Zeeuwse

Getijdewateren), Meetnet Noordzee en Meetnet Groningen. Deze meetnetten zijn primair gericht op actuele informatie t.b.v. het regionale beheer.

Het optreden van al dan niet versnelde zeespiegelrijzing heeft grote invloed op het kustgedrag. Het tijdig signaleren van een eventuele trendbreuk is van groot belang. De gemiddelde hoogwaterstand blijkt sneller te rijzen dan de gemiddelde zeestand. Een afdoende verklaring daarvoor is nog niet te geven. Er bestaat daarom behoefte aan nauwkeurige waterstandsgegevens van één of meer peilmeetstations op zee, ver genoeg van de kust om los van de invloeden van menselijke ingrepen in het kustsysteem te zijn. Voorgesteld wordt de stations LEG (Lichteiland Goeree) en Meetpost Noordwijk daartoe geschikt te maken.

Bui-oscillaties en buistoten zijn periodieke respectievelijk éénmalige waterstandsfluctuaties met perioden variërend van enkele minuten tot een paar uur, en beide veroorzaakt door weersverschijnselen. In aan één zijde afgesloten (haven)bekkens kunnen ze opslingeren. Men spreekt dan wel van seiches. Bij het dimensioneren van de waterkeringen dient met deze fluctuaties rekening te worden gehouden. Er bestaat behoefte aan meer gegevens over de frequenties van voorkomen van deze verschijnselen en de grootte der amplitudes en perioden.

GOLVEN

Voor de bestudering en voorspelling van het kustgedrag en voor het ontwerpen van waterbouwkundige constructies is goede kennis van het golfklimaat, inclusief de golfrichting, van groot belang. Met behulp van de Wavec-boeien is het thans mogelijk golfrichtingen te meten. Het MSG (Monitoring Systeem Golven) voorziet in de behoefte aan golfinformatie op diep water. Voor de vertaling van het golfklimaat op de meetlokaties, ongeveer op de NAP-20 m lijn, naar de kust toe wordt gebruik gemaakt van modellen.

In internationaal verband loopt het zgn. NESS-project, dat voor de Noordzee een golfklimaat berekent m.b.v. een golfmodel, gebaseerd op windvelden en getoetst aan golfmetingen van de laatste 25 jaar. De golfklimaten uit deze studie dienen getoetst te worden aan gemeten golfrichtingsklimaten.

De huidige methoden voor inwinnen en verwerken van golfgegevens geven geen informatie over langperiodieke golfcomponenten met perioden langer dan een halve minuut. Het hele gebied van de waterstandsfluctuaties met perioden tussen een halve minuut en ca. een half uur wordt thans niet bestreken (zie ook bui-oscillaties). Gezien het belang van deze laagfrequente golven is onderzoek gewenst naar de noodzaak en de mogelijkheden van routinematige inwinning van gegevens hiervan.

DE BODEMLIGGING

Binnen de context van deze nota vallen de volgende huidige metingen:

- de jaarlijkse kustlodingen, dieptemetingen langs raaien loodrecht op de kust tot 800 m zeewaarts van de rijksstrandpalenlijn (RSP), met een onderlinge raaiafstand van 200 - 250 m.
- de jaarlijkse kusthoogtemetingen, hoogtemetingen van strand en duin tot 200 m landwaarts van de RSP-lijn, thans verricht d.m.v. foto-

vluchten, voor dezelfde raaien waarvoor de dieptemetingen worden uitgevoerd.

- de vijfjaarlijkse kustdoorlodingen, het tot grotere diepte meten van raaien van de jaarlijkse lodingen met een raai-afstand van 1000 m, reikende 2500 tot 3000 m zeewaarts van de RSP-lijn.
- de vaklodingen tot grofweg de NAP - 20 m lijn. Dit zijn de lodingen van het gebied zeewaarts van de jaarlijkse kustlodingen. Dit gebied is ingedeeld in vakken.
- overige lodingen t.b.v. de veiligheid (zeekeringen, kust- en oeverkaarten).

De onder de eerste drie aandachtstreepjes genoemde metingen zijn opgenomen in het zgn. JARKUS-bestand (JAaRlijkse KUSTmetingen). Als doelen waarvoor bovengenoemde metingen worden verricht kunnen worden genoemd:

- het vastleggen van de toestand van het Nederlandse kustgebied;
- voorspelling van de kustligging op lange en korte termijn;
- opstellen van zandbalansen;
- beheersvragen, bijv. t.a.v. veiligheid (duinafslagberekeningen), bebouwingsgrenzen, schadeclaims;
- verkrijgen van morfologische proceskennis, zoals het gedrag van zandgolven langs de kust en de gevolgen voor de bodemligging van de zeespiegelrijzing.
- evaluatie van menselijke ingrepen in het kustsysteem, bv. zandsuppleties, zandwinning, kustverdedigingswerken, havens.

De jaarlijkse kustlodingen worden voor praktisch alle doeleinden gebruikt en voorzien dus duidelijk in een behoefte. Vooralsnog dienen daarom de jaarlijkse diepte- en hoogtemetingen qua frequentie en raai-afstand onverminderd te worden voortgezet, in ieder geval voor die kustvakken waar "iets mee aan de hand" is (erosie, aanwezigheid constructies, bebouwing, geulen onder de kust). Ook vanuit de beheerderskant wordt hier sterk op aangedrongen. Thans wordt onderzocht in hoeverre voor de overige kustvakken de meetinspanning kan worden gereduceerd zonder verlies aan informatie.

In enkele gevallen zal het nodig zijn vaker dan 1 maal per jaar te meten, bijvoorbeeld bij opdringende geulen. Hiervoor zijn geen algemene regels te geven. Zij worden in voorkomende gevallen door de beheerder uitgevoerd (lodingen t.b.v. zeekeringen).

De jaarlijkse kustlodingen dienen tenminste de zone van de brandingsruggen te omvatten. De raaien dienen daarom tenminste de huidige lengte te hebben en waar nodig te worden verlengd tot even voorbij de brandingsruggen.

In het duin is de ruimtelijke resolutie van de JARKUS-raaien te gering voor de veiligheidsbeoordeling van duinen als waterkering. Dat kan alleen in samenhang met goede kaarten die tenminste 1 maal per 5 jaar moeten worden herzien (kust- en oeverkaarten) en met visuele schouw.

Om een sluitende zandbalans te kunnen maken dienen de doorlodingen tot de NAP - 12 m lijn te reiken. Zij dienen voorlopig om de 3 jaar te worden uitgevoerd met een raai-afstand van 1 km. In het Deltagebied kunnen ze vervallen.

Volgens de huidige inzichten t.a.v. de grootschalige morfologische processen kunnen de vaklodingen voor de schone kust van Holland uit oogpunt van veiligheid en kustgedrag vervallen en kan volstaan worden

met het meten van raaien loodrecht op de kust tot voorbij de teen van de onderwateroever. De afstand van de teen tot de kust varieert hier van 2,3 tot 8,5 km. Een raai-afstand van 1 km is daarbij voldoende. Ook de frequentie van 1 maal per 3 jaar dient voor dit gebied voorlopig te worden aangehouden. Dit komt er op neer dat de doorlodingen worden uitgebreid tot voorbij de teen van de onderwateroever.

In het Waddengebied zijn de vaklodingen wel van groot belang, gezien de gecompliceerdheid van de bodemtopografie. Voor de Noordzeezijde van de middens van de eilanden, waar de dieptelijnen ongeveer evenwijdig aan de kust lopen, kan overeenkomstig de schone kust van Holland worden volstaan met de uitgebreide doorlodingen. Voor de buitendelta's van de zeegaten zijn doorlodingen volgens raaien van de jaarlijkse kustlodingen niet zinvol en dienen de vaklodingen te worden uitgevoerd. Zij hoeven ook niet verder te reiken dan tot voorbij de teen van de onderwateroever. De gewenste raai-afstand bedraagt 200 m, omdat daarmee kleinere geulen nog redelijk in beeld kunnen worden gebracht. De opnamefrequentie wordt analoog aan die van de schone kust gesteld op 1 maal per 3 jaar. De veranderingen in de Waddenzee vinden veel geleidelijker plaats. Een opnamefrequentie van 1 maal per 6 jaar wordt voldoende geacht. De gewenste raai-afstand bedraagt 200 m. Voor zeer vlakke gebieden kan deze worden verdubbeld tot 400 m. In het Deltagebied vinden grote veranderingen plaats door de uitgevoerde werken. Vaklodingen zijn hier voor het hele gebied nodig tot voorbij de teen van de onderwateroever. De opnamefrequentie wordt voor een groot deel bepaald door de behoefte van de scheepvaart (vaargeulen). Thans worden frequenties van 1 maal per jaar en per 2 jaar gehanteerd. De gewenste raai-afstand wordt vanuit morfologisch oogpunt gezien gesteld op 200 m.

OVERIGE PARAMETERS

De benodigde gegevens van de bodemsamenstelling kunnen worden verkregen via projectmetingen en uit geologische kartering. Monitoren van stroomsnelheden wordt uit het oogpunt van veiligheid en kustgedrag niet nodig geacht. De invloed van de watertemperatuur op morfologische processen is verwaarloosbaar t.o.v. andere onzekerheden. De wind is van groot belang voor waterstanden en golven. De metingen van de wind worden door het KNMI gedaan. Het monitoren van waterstanden en golven blijft nodig.

REMOTE SENSING

Remote sensing meetmethoden (meten op afstand) staan sterk in de belangstelling en maken een snelle ontwikkeling door. Ook voor het waarnemen van zeebodem, waterstand, stroming en golven zijn systemen in ontwikkeling. Veel methoden verkeren echter nog in een onderzoekstadium.

Aktuele informatie over de bodemligging met een nauwkeurigheid die vergelijkbaar is met die van de conventionele meetmethoden kan in de toekomst via lasersystemen (LIDAR, LIght Detection And Ranging) worden verkregen. De kosten verbonden aan lodingsactiviteiten kunnen er mogelijk aanzienlijk mee worden verlaagd. De troebelheid van de Nederlandse kustwateren vormt nog een complicerende factor.

Onder bepaalde hydro-meteo condities kunnen zeegolven, oppervlakte stroming en grootschalige zeebodemstructuren worden waargenomen m.b.v. radarsystemen. Kwantitatieve bodemdiepte-informatie kan nog niet

worden verkregen. De radarbeelden geven wel synoptische overzichten van bodemstructuren over uitgestrekte gebieden. Radarbeelden vanaf vaste opstellingen zijn ook toepasbaar voor golf- en windwaarnemingen.

In ondiepe wateren draagt het signaal gemeten door passieve optische remote sensing meetinstrumenten, werkend in het venster van het zichtbare licht, ook enige informatie over de bodem. Dieptebereik en nauwkeurigheid zijn te beperkt om de huidige opnamemethode te vervangen. De methode is echter wel aan te bevelen om grootschalige synoptische overzichten te verkrijgen van de Nederlandse kustwateren en estuaria. Sinds kort bestaat er een veelbelovend Nederlands optisch remote sensing instrument CEASAR dat opereert vanuit de lucht.

CONCLUSIES

- De bestaande waterstandsmeeetnetten voorzien in voldoende mate in de behoefte aan waterstandsgegevens t.b.v. de kustverdediging.
- De mogelijkheid meer informatie omtrent laagfrequente golven, waaronder ook bui-oscillaties en -stoten, in te winnen dient te worden onderzocht.
- Voor het volgen van de (effecten van) zeespiegelrijzing is het gewenst de stations Meetpost Noordwijk en Lichteiland Goeree van het Meetnet Noordzee qua gewenste nauwkeurigheid en beschikbaarheid daarvoor geschikt te maken.
- Voor het monitoren van de golfcondities zijn vier locaties verspreid langs de kust voldoende. Hier dient tevens de golfrichting te worden gemeten.
- De kustlodingen dienen jaarlijks te worden uitgevoerd. De raaien dienen tenminste tot voorbij de brandingsruggen te reiken. De doorlodingen dienen om de 3 jaar te worden uitgevoerd tot voorbij de teen van de onderwateroever, voor de schone kust van Holland en de middens der Waddeneilanden. De vaklodingen kunnen hier vervallen.
- De vaklodingen voor de buitendelta's dienen een frequentie van 1 maal per 3 jaar te hebben en dienen te reiken tot voorbij de teen van de onderwateroever. Voor de Waddenzee geldt een opnamefrequentie van 1 maal per 6 jaar.
- De vaklodingen in het Deltagebied dienen te worden voortgezet volgens de huidige opnamefrequentie.
- De opbouw van een centraal bestand van landelijk uniform verwerkte vaklodingsgegevens dient hoge prioriteit te krijgen.
- Stroomsnelheden worden verkregen m.b.v. modellen en projectmetingen.
- Gegevens omtrent de bodemsamenstelling kunnen worden ontleend aan de geologische kartering en via projectmetingen.
- Remote sensing technieken verkeren veelal nog in het onderzoekstadium. Op korte termijn is daardoor nog geen vervanging van de huidige opnamemethodiek mogelijk. De kracht van remote sensing ligt vooral in de mogelijkheid momentane overzichten voor uitgestrekte gebieden te verkrijgen. In situ metingen blijven nodig.
- Op kortere termijn is verbetering van de huidige meetmethode van de bodemligging te verwachten door ontwikkelingen m.b.t. de akoestische meettechnieken.
- De kosten voor het monitoren van het kustgedrag zoals aangegeven in deze nota, kunnen globaal gesteld worden op 5 miljoen gulden per jaar.

1 INLEIDING

1.1 Doel van de studie

In 1990 is de sterkte van het systeem van waterkeringen van ons land tegen de bedreiging door de zee op zgn. delta-veilig niveau gebracht. Deze veiligheid zal echter onder druk komen te staan door de huidige morfologische ontwikkelingen van onze kust. Al dan niet versnelde zeespiegelrijzing speelt daarbij een belangrijke rol. Teneinde het verkregen veiligheidsniveau te handhaven en het kustgedrag beter te leren begrijpen en te voorspellen, is het noodzakelijk ons kuststelsel en de factoren die het beïnvloeden nauwlettend in de gaten te houden.

Doel van deze studie is na te gaan hoe we dat in het licht van de huidige kennis het beste kunnen doen. Het huidige meetprogramma wordt daartoe beschreven en geëvalueerd. Waar nodig worden aanpassingen voorgesteld. Tevens wordt een blik op de verdere toekomst geworpen in het hoofdstuk over remote sensing technieken.

Aan deze nota hebben verschillende deskundigen binnen en buiten de Dienst Getijdewateren bijgedragen. Met name kunnen genoemd worden ir. C.J. Louisse, ir. W.T. Bakker, ir. H.D. Rakhorst, ir. F.P. Hallie en dr. J. Wiersma, vooral voor hoofdstuk 4; dr. ir. D. Spitzer en ir. G.J. Wensink (WL) voor hoofdstuk 6.

De nota werd becommentarieerd door ir. J. van de Graaff (TUD) als externe deskundige.

Getracht is de verschillende commentaren zo goed mogelijk in het rapport te verwerken.

1.2 Wat is monitoren

Onder het monitoren van het kuststelsel wordt verstaan het regelmatig en routinematig waarnemen van karakteristieke kenmerken van het kuststelsel, noodzakelijk voor integraal kustbeheer en -beleid en voor operationeel beheer. Zonder overdrijving kan gesteld worden dat verantwoord kustbeheer en -beleid zonder monitoren niet mogelijk is. Het doel kan drieërlei zijn:

- het vastleggen en volgen van de toestand en controleren of niet een bepaalde kritieke toestand wordt overschreden;
- het verkrijgen van lange meetreeksen voor statistische analyse en het signaleren van eventuele trendbreuken.
- het verzamelen van gegevens voor onderzoeksdoeleinden.

Het vastleggen van de waterstaatkundige toestand van het kuststelsel dient in de eerste en in de laatste plaats de "fysieke existentie dezes lands" (Jan Blanken).

1.3 Welke parameters

In dit rapport wordt alleen gekeken naar de veiligheid tegen overstrooming en het gedrag van de kust. De volgende fysische grootheden spelen

daarbij een rol:

- waterstand
- golven
- bodemligging
- bodemsamenstelling
- stroomsnelheden
- watertemperatuur
- wind

Opgemerkt moet worden dat deze parameters niet alleen gemeten worden voor de veiligheid en het kustgedrag. De meeste parameters zijn bijvoorbeeld ook van groot belang voor de scheepvaart. In de volgende hoofdstukken wordt per parameter aangegeven met welk doel hij in het kader van deze studie gemeten wordt, en wordt ingegaan op het huidige en voorgestelde meetprogramma.

1.4 Wet op de Waterkering

Het handhaven van de verkregen veiligheid krijgt een wettelijke grondslag in de Wet op de Waterkering, die naar verwachting in het begin van de negentiger jaren van kracht wordt. Door deze wet worden aan het Rijk bepaalde taken opgedragen.

T.a.v. het monitoren wordt in artikel 4 genoemd het leveren van de randvoorwaarden, telkens voor 5 jaren, teneinde te kunnen bepalen wat het waterkerend vermogen is van een primaire waterkering.

Artikel 8 legt de verantwoordelijkheid voor het beleid t.a.v. de ligging van de kustlijn bij het Rijk. Voor dit beleid is kennis van het kustgedrag nodig, waarvoor metingen onontbeerlijk zijn. Onder de kustlijn wordt volgens dit artikel de gemiddelde laagwaterlijn verstaan, welke op een door de Minister gepubliceerde peilkaart wordt vastgelegd, die telkens na vijf jaar wordt herzien.

Artikel 14 tenslotte handelt over het door het Rijk verschaffen van waarschuwingen en verdere inlichtingen aan beheerders en gedeputeerde staten in geval bij hoge stormvloed het zgn. alarmeringspeil wordt overschreden. Dit noodzaakt tot het operationeel beschikbaar hebben van waterstanden.

1.5 Het te beschouwen gebied

Dit rapport betreft met name de zandige Noordzeekust. Gezien echter het belang van de Waddenzee en de estuaria voor het gedrag van de Noordzeekust, wordt ook aan deze gebieden aandacht besteed.

1.6 De optimalisatie van monitorprogramma's

Met het monitoren, inclusief het bewerken, opslaan, verwerken en presenteren van de gegevens is een grote inspanning gemoeid, zowel wat geld als wat de personeelsinzet betreft. Het is daarom van belang dat de monitorprogramma's de gewenste informatie zo efficiënt mogelijk leveren. Omdat de ter beschikking staande technische middelen waarmee monitorprogramma's kunnen worden uitgevoerd, de uit onderzoek verkregen inzichten omtrent de te monitoren grootheden en de betrokken

processen, en de gewenste informatie op grond van deze inzichten en als gevolg van maatschappelijke ontwikkelingen kunnen wijzigen, dienen monitorprogramma's regelmatig te worden geëvalueerd en opnieuw te worden geoptimaliseerd. Het is daarbij van groot belang dat de meetdoelstellingen zo goed mogelijk worden gekwantificeerd in termen van de gewenste nauwkeurigheid waarmee bepaalde resultaten op grond van de metingen moeten kunnen worden berekend. In principe zal men streven naar een economisch optimum door het afwegen van de kosten en de baten van meetprogramma's.

De volgende factoren spelen daarbij een rol:

- de economische waarde van de gegevens, het maatschappelijk nut;
- de kosten van het meetnet;
- de variabiliteit van het gegeven;
- de correlatie van de gegevens in ruimte en tijd;
- de nauwkeurigheid van de meetinstrumenten;

Het blijkt in de praktijk erg moeilijk te zijn tot een meetnetontwerp te komen op basis van een kosten-batenanalyse. Men neemt dan zijn toevlucht tot een surrogaat-criterium zoals: de standaardafwijking van een berekende (geïnterpoleerde) waarde mag niet groter zijn dan de standaardmeetafwijking.



2. DE WATERSTAND

2.1 Doel van de metingen

De waterstand is met het oog op de veiligheid en de kustmorfologie een zeer belangrijke parameter. De metingen dienen zowel voor actuele informatie als voor de opbouw van veeljarige bestanden (vastleggen van de waterstaatkundige toestand van het land).

De volgende doelen kunnen genoemd worden (in willekeurige volgorde):

- getij-analyse en -voorspelling;
- actuele standen tijdens stormcondities (SVSD);
- overschrijdingskansen van (extreme) waterstanden;
- bepaling van trends zoals zeespiegelrijzing;
- reductie van lodingen (vastlegging bodemligging);
- bediening van kunstwerken (stormvloedkeringen);
- uitvoering van werken;
- berekening van zandtransporten;
- afregelen van modellen;
- bepaling van stroomsnelheden.

2.2 Bestaande meetnetten

De inwinning van de waterstanden geschiedt thans door een viertal meetnetten: Het Landelijk Waterstandsmeetnet via het Monitoring Systeem Water (MSW), het Meetnet Noordzee, het meetnet ZEGE (ZEeuwse GETijdewateren) en het Meetnet Groningen.

Het Meetnet Noordzee is primair gericht op actuele informatie. De locaties van de meetpunten zijn over het algemeen niet vrij te kiezen, maar worden bepaald door de locaties van productieplatforms en de ligging van scheepvaartgeulen.

Het ZEGE-meetnet is ontstaan uit het HISTOS-meetnet, dat gericht was op actuele informatie t.b.v. de Oosterscheldewerken. Het meetnet voorziet thans, evenals het Meetnet Groningen, in regionale behoefte aan waterstandsgegevens t.b.v. beheer en studie.

Het Landelijk Waterstandsmeetnet (ook voor de binnenwateren) heeft als doel zowel het leveren van actuele waterstandsgegevens als de opbouw van langjarige bestanden t.b.v. diverse functies.

De locaties voor de verschillende meetpunten worden enerzijds bepaald door eisen t.a.v. operationeel gebruik (SVSD, havens, bediening kunstwerken), voor de waterhuishouding belangrijke punten (grensovergangen, splitsingspunten) en t.b.v. randvoorwaarden verkregen op basis van een ongestoorde (zo weinig mogelijk door een havenbekken of de morfologie van een estuarium beïnvloede) getijbeweging. Anderzijds worden de locaties bepaald door de nauwkeurigheid waarmee men de waterstanden wenst vast te leggen, de eisen van beschikbaarheid van informatie en de mogelijkheid tot controle van de waarnemingen.

Het MSW is de technische infrastructuur, bestaande uit een net van telefoonhuurlijnen, knooppunten en een centrale verwerkingseenheid, waarop sensoren (niet alleen voor waterstanden) aangesloten kunnen worden.

2.3 De optimalisatie van het Landelijk Waterstandsmmeetnet.

Het Landelijk Waterstandsmmeetnet tolereert, gezien de ermee gemoeide belangen, niet veel uitval of onbetrouwbare metingen. Daarom is als eis aan het dit meetnet gesteld, dat elk station met voldoende nauwkeurigheid uit de omringende stations berekend kan worden. Deze berekende waarde kan worden gebruikt voor controle van de meetwaarden en het bijgissen van hiaten en aantoonbare meetfouten. Een station wordt daarbij aan de voor dat station optimale aantal omringende stations gerelateerd d.m.v. een meervoudige lineaire regressie (MLR). Deze vergelijking heeft de gedaante

$$y = \sum_{i=1}^n (a_i \cdot x_i) + c$$

waarin:

- y = de waarnemingen aan het betreffende station
- x_i = de waarnemingen aan station i
- a_i = de regressie coëfficiënt voor station i
- c = een constante
- n = aantal stations

In het rechterlid van deze vergelijking kunnen i.p.v. alleen verschillende stations ook waarnemingen op verschillende tijdstippen aan de vergelykingsstations voorkomen. In het getijgebied worden in de praktijk zowel tijdstippen vóór als na het te berekenen tijdstip gebruikt. Bij het operationeel bijgissen kunnen uiteraard alleen heden en verleden worden meegenomen.

Aan de methode is eigen dat de gemeten waarden van y ten opzichte van de waarden berekend volgens de regressievergelijking een spreiding vertonen, die wordt uitgedrukt in de standaardafwijking. De optimale vergelijking is die waarbij deze standaardafwijking minimaal is.

Aan het net van peilmeetstations is nu als eis gesteld dat een station uit de omringende naburige stations berekend kan worden met een standaardafwijking die niet groter is dan die van de meetonnauwkeurigheid. Voor de standaardafwijking van de meetonnauwkeurigheid ϵ , het verschil tussen de "werkelijke" waarde t en de meetwaarde w, wordt thans een waarde van 2,5 cm gehanteerd.

Door veelvuldige, nauwgezette veld- en bewerkingscontroles mag worden aangenomen, dat een systematische fout veel kleiner is. Deze blijft dan ook verder buiten beschouwing.

Dus de $\sigma(w-t) = 2,5$ cm. Als v de berekende waarde is, dan wordt de eis van het meetnet:

$\sigma(t-v) \leq 2,5$ cm. De "werkelijke" waarden zijn echter niet bekend. Bij de toetsing van een station wordt de berekende waarde v vergeleken met de aldaar gemeten waarde w. Voor de standaardafwijking van dit verschil geldt dan:

$$\begin{aligned} \sigma^2(w-v) &\leq \sigma^2(w-t) + \sigma^2(t-v) \\ &\leq \epsilon^2 + \sigma^2(t-v) \\ &\leq 2,5^2 + 2,5^2 \end{aligned}$$

en dus:

$$\sigma(w-v) \leq 3,5 \text{ cm.}$$

Samengevat wordt de dichtheid van het meetnet vastgesteld op grond van de volgende ontwerpfilosofie: de waterstanden van elk afzonderlijk station, behorend tot het meetnet, moeten afgeleid kunnen worden uit de waterstanden van de andere tot het meetnet behorende stations, en wel zodanig dat de standaardafwijking van de verschillen tussen de gemeten en de berekende waarden kleiner is dan 3,5 cm.

Uitzonderingen hierop zijn de stations, die gelegen zijn aan de randen van het meetnet of aan de randen van een watersysteem. Bij dergelijke stations is er namelijk geen sprake meer van interpolatie maar van extrapolatie en kan niet meer voldaan worden aan het toetscriterium. Verder kan een station in principe weggelaten worden uit het meetnet als voor dit station geldt:

- de waterstanden van dit station kunnen afgeleid worden uit die van naburige stations met een standaardafwijking $\sigma(w-v) \leq 3,5$ cm;
- de waterstanden van dit station zijn niet nodig om de waterstanden in andere stations af te leiden met een $\sigma(w-v) \leq 3,5$ cm.

Uitzonderingen op het bovenstaande zijn voor de waterhuishouding zeer belangrijke stations zoals:

- stations gelegen aan of op belangrijke splitsingspunten;
- landsgrensstations;
- stations gelegen aan de randen van watersystemen.

Tot nu toe is de MLR-methode de beste methode gebleken voor het berekenen van waterstanden uit naburige meetstations. Het gebruik van fysische modellen heeft nog niet tot betere resultaten geleid. Mogelijk is dat in de toekomst verbetering mogelijk is bij verbeterde modellen en onder toepassing van Kalmanfilters (data-assimilatie).

De huidige meetpunten van het Landelijk Waterstandsmeetnet langs de Noordzeekust en de Waddeneilanden zijn weergegeven in figuur 2.1.

2.4 Zeespiegelrijzing

Bijzondere aandacht verdient de zeespiegelrijzing die in de beleidsanalyse Kustverdediging een belangrijk rol speelt. In technisch rapport nr. 6 is hier uitvoerig aandacht aan besteed. Het blijven volgen van de relatieve zeespiegelrijzing, de veranderingen in de getij-amplituden en het tijdig signaleren van trendveranderingen is van groot belang. De gemiddelde hoogwaterstand blijkt zelfs sneller te rijzen dan de gemiddelde zeestand. De figuren 2.2 en 2.3 tonen het verloop van de jaargemiddelden van gemiddelde zeestand, hoogwater (veiligheid), laagwater en tijverschil van de stations Vlissingen en Den Helder. Te zien is dat het verloop van de gemiddelde zeestand niet of nauwelijks wordt beïnvloed door menselijke ingrepen (Den Helder 1932, invloed afsluiting Zuiderzee). De trends in de hoog- en laagwaterstanden zijn duidelijk anders dan die van de gemiddelde zeestand. Dat betekent dat de locale gemiddelde getijkromme en dus ook de getijstromen wijzigingen hebben ondergaan. Mogelijke oorzaken hiervan zouden kunnen zijn:

- menselijke activiteiten (invloed grote waterbouwkundige werken en/of baggeren);
- nabij of verder weg opgetreden belangrijke veranderingen in de bodemconfiguratie;
- getijveranderingen op de Noordzee (verplaatsing amphidromische punten?)

Welke van deze en/of andere oorzaken een rol spelen, en in welke mate, is in het algemeen gesproken niet bekend.

Voor een goed begrip van de opgetreden en in de niet te verre toekomst te verwachten veranderingen is het van belang om naast de bestaande voor dit doel bruikbare stations te beschikken over goede meetgegevens van locaties op zee, waar de waterbeweging niet of vrijwel niet door menselijke ingrepen beïnvloed wordt. Een mogelijkheid daartoe is bestaande peilmeetstations van het Meetnet Noordzee voor dit doel geschikt te maken. De stations moeten daarbij niet te ver uit de kust liggen i.v.m. de nulpuntshandhaving (NAP). Deze geografische beperking zal in de toekomst mogelijk worden opgeheven door nauwkeurige plaatsbepaling m.b.v. satellieten (GPS). Voor het midden en zuidelijk deel van onze territoriale wateren komen Lichteiland Goeree (LEG) en Meetpost Noordwijk (MPN) in aanmerking (voor de locaties zie fig. 3.1). Voor de bruikbaarheid van deze stations worden de volgende eisen geformuleerd:

- standaardmeetafwijking: $\leq 2,5$ cm
- uitval : ≤ 5 à 10%
- duur opstelling : ≥ 10 jaar
- nulpuntshandhaving : binnen 2 cm.

Voor het noordelijk deel van de Nederlandse territoriale wateren kan in voldoende mate gebruik worden gemaakt van bestaande peilmeetstations (Texel-Noordzee, Terschelling-Noordzee, Huibertgat).

2.5 Bui-oscillaties en buistoten

Bui-oscillaties en buistoten zijn periodieke respectievelijk éénmalige waterstandsfluctuaties met perioden variërend van enkele minuten tot een paar uur. Ze worden beide veroorzaakt door weersverschijnselen. De figuren 2.4 en 2.5 geven hier voorbeelden van. Bij het dimensioneren van waterkeringen dient met deze waterstandsverhogingen rekening te worden gehouden. Het rapport van de Deltacommissie geeft hiervoor een voorlopige richtlijn en beveelt aan de verschijnselen verder te bestuderen. Deze aanbeveling is nooit opgevolgd. Het gemis aan voldoende gegevens kwam onlangs weer naar voren bij de studie naar het effect op de waterbeweging van een gesloten stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg. De oscillaties kunnen namelijk in afgesloten (haven)bekkens opslingeren. Men spreekt dan van seiches. In de haven van IJmuiden is dit een bekend verschijnsel, maar ook in het Europoortgebied komen opslingeren voor.

Voor een aantal stations langs de kust dient derhalve de gegevensinwinning te worden aangepast op het detecteren en karakteriseren van genoemde verschijnselen.

Omdat het Landelijk Waterstandsmeetnet elke 10 minuten een over 10-minuten gemiddelde waterstand geeft, wordt een deel van de informatie weggefilterd. De mogelijkheid om zo volledig mogelijk gegevens van genoemde verschijnselen in te winnen dient te worden onderzocht. Gedacht wordt hierbij aan inwinning van 1 minuut-gemiddelde standen. De zinvolheid hiervan hangt mede af van de dempingskarakteristieken van de constructies van de peilmeetstations, van het type meetinstrument en van de meetmethode.

3 GOLVEN

3.1 Doel van de metingen

Evenals bij waterstanden worden golfmetingen verricht zowel voor operationele doeleinden (o.a. scheepvaart) als voor de opbouw van veeljarige bestanden (golfklimaten, trends).

Uit het oogpunt van veiligheid en kustverdediging kunnen de volgende aandachtsgebieden genoemd worden waarvoor golfinformatie benodigd is:

- het toetsen van bestaande en ontwerpen van nieuwe waterkerende constructies (simultane kansverdelingen van waterstanden en golven; denk aan duinafslag, golfoverslag, golfkrachten);
- het ontwerpen van constructies die niet waterkerend zijn maar tot doel hebben de kustmorfologie te beïnvloeden;
- morfologische berekeningen t.b.v. de bestudering en voorspelling van het kustgedrag (zandtransporten, golfgedreven stroming).

3.2 Het Monitoring Systeem Golven (MSG).

Het Monitoring Systeem Golven is een geïntegreerd informatiesysteem voor de inwinning, be- en verwerking, opslag, presentatie en distributie van golfgegevens. Het is het resultaat van een nauwe samenwerking van de Directie Noordzee en de Dienst Getijdewateren.

Het MSG omvat een 7-tal meetlocaties langs de Nederlandse kust en verder op de Noordzee: EUR (Europlatform), YM6 (IJmuiden), ELD (Eierland), SON (Schiermonnikoog-Noord), en de platforms K13, AUK en North Cormorant. Ieder meetpunt is uitgerust met een Wavec-boei. Met deze boei kunnen de golfbewegingen worden gemeten. Het grote voordeel van de Wavec-boei t.o.v. vroegere meetsystemen is dat ook de golfrichting kan worden gemeten. Golfrichtingsinformatie is zeer belangrijk voor de voorspelling van het kustgedrag. Een verandering in het golfrichtingsklimaat kan grote gevolgen hebben voor het sedimenttransport langs de kust.

De meetlocaties zijn aangegeven in figuur 3.1. Het zijn alle reeds bestaande meetlocaties van het voormalige Meetnet Golfklimatologie Noordzee, zodat bestaande meetreeksen zo goed mogelijk worden voortgezet. De verspreid langs de kust liggende locaties SON, ELD, YM6 en EUR worden voldoende geacht met het oog op de in § 3.1 genoemde doelen. De gegevens van de andere meetlocaties worden, omdat ze toch worden ingewonnen, volledigheidshalve wel in het bestand opgenomen.

Tevens zijn in fig. 3.1 nog de meetpunten MPN en LEG aangegeven. Zij horen niet tot het MSG. Zolang er nog golfmetingen worden verricht, worden ze in het bestand opgenomen.

Vanaf medio 1989 is de golfinformatie van het MSG operationeel opvraagbaar. Iedere 10 minuten kan dan beschikt worden over grafische of numerieke weergave van de golfinformatie over de voorafgaande inwinningsperiode (golfrichtingsinformatie om de 20 minuten).

Naast de operationele golfinformatie worden veeljarige bestanden aangemaakt. De golfgegevens in dit bestand worden uitgebreid gecontroleerd en gevalideerd. Het bestand is opgebouwd op een drie-uurlijkse basis.

3.3 Het NESS-project

Behalve direct uit golfmetingen kan men ook golfklimaten afleiden met behulp van fysische golfmodellen uit meteorologische gegevens (windvelden uit luchtdrukken), mits daarvoor voldoende gegevens voorhanden zijn. In internationaal verband loopt thans het zgn. NESS-project (North Sea Storm Study) dat een hindcast uitvoert over 25 jaar. Het project levert een database voor gegevens van wind, golven, stromingen en windopzetten. Het project wordt gefinancierd door een aantal oliemaatschappijen en de Rijkswaterstaat. Laatst genoemde krijgt de beschikking over de gegevens van de zuidelijke Noordzee, die juist voor onze kust van belang zijn. Behalve de gegevens van de hindcast worden klimaten en extreme condities met hun terugkeerperioden afgeleid. Bestaande meetgegevens worden gebruikt voor toetsing. De database omvat golfgegevens (hoogte, periode, richting) om de drie uur op de punten van een over de Noordzee gelegd grid met een maaswijdte van 30 km.

Het monitoren van golven blijft echter nodig:

- om de NESS-resultaten te verifiëren. Het model is immers een benadering, een schematisatie, van de werkelijkheid;
- voor trendmonitoring in verband met mogelijke veranderingen in bodemligging, zeespiegel, bodemruwheid en klimaat (wind).

De golfinformatie uit het NESS-project zal naar verwachting een goed beeld leveren van de onderlinge samenhang tussen de golfgegevens op verschillende locaties. Deze kennis behoeft dus niet te worden verkregen door eerst uit te gaan van een dicht meetnet. Door deze kennis kan worden volstaan met een relatief gering aantal meetlocaties langs de kust.

3.4 Golven op ondiep water

Voor de vertaling van het golfklimaat op de meetlocaties, of verkregen uit het NESS-project, naar de kust toe (ondiep water), kan gebruik worden gemaakt van modellen. De betrouwbaarheid van de ondiep watergolfmodellen is echter nog beperkt. Men zal daarom de berekeningen meestal willen verifiëren door middel van metingen. Deze metingen hebben een relatief beperkte duur. Ze worden uitgevoerd in het kader van een bepaald project. Men spreekt dan van projectgericht meten en niet van monitoren.

3.5 Laagfrequente golven

Bij de huidige methoden voor inwinnen en verwerken van golfgegevens wordt informatie verkregen over waterstandsfluctuaties met perioden tot een halve minuut. De huidige methoden voor inwinnen en verwerken van waterstanden leveren elke 10 minuten een over 10 minuten gemiddelde waterstand. Fluctuaties van enige malen deze periode, zeg ongeveer een half uur, kunnen daarmee goed worden bepaald. Van het tussenliggende gebied, dus van fluctuaties met perioden tussen een halve minuut en een half uur, is vrijwel niets bekend. Een dergelijke constatering werd ook reeds gedaan in § 2.5. t.a.v. door weersverschijnselen veroorzaakte fluctuaties, maar geldt dus ook t.a.v. "golfgebonden"

laagfrequente waterstandsfluctuaties (golfgroepen, surfbeat). Het belang van deze laagfrequente golven is naar de huidige inzichten in het verleden onderschat. Bij golfoploop en -overslag bij taluds, maar ook bij morfologische processen lijken deze golven een belangrijke rol te spelen, zodat het vergaren van kennis hieromtrent van belang is. De Wavec-boeien kunnen dergelijke fluctuaties niet registreren. Met een stappenbaak is dat in principe wel mogelijk. Onderzocht dient te worden in hoeverre routinematig inwinnen van informatie over laagfrequente golven gerealiseerd kan worden.

4 DE BODEMLIGGING

4.1 Doel van de metingen.

Voor het beheer en beleid m.b.t. de waterkerende functie en andere functies van de kust (zie Technisch Rapport 4) is kennis van het kustgedrag van doorslaggevende betekenis. Om het gedrag van de kust te kunnen bestuderen en voorspellingen te kunnen doen voor de toekomst dient de kustligging vastgelegd te worden d.m.v. metingen. De mate van detail waarin de kustligging moet worden vastgelegd hangt af van de snelheid van de veranderingen van de bodemligging in plaats en in tijd, de stand van de wetenschap t.a.v. de processen die een rol spelen en de gewenste nauwkeurigheid van berekeningsresultaten.

De doelen waarvoor de kustligging wordt vastgelegd zijn:

- het vastleggen van de "waterstaatkundige toestand" van ons land;
- voorspelling van de kustligging op korte en lange termijn;
- opstellen van zandbalansen;
- beheersvragen, bv. t.a.v. veiligheid (duinafslagberekeningen), bebouwingsgrenzen, schadeclaims;
- verkrijgen van morfologische proceskennis, bv. het gedrag van zandgolven langs de kust en de gevolgen voor de bodemligging van zeespiegelrijzing;
- evaluatie van menselijke ingrepen in het kustsysteem, bv. zandsuppleties, zandwinning, kustverdedigingswerken, havens.

4.2 De huidige metingen

Binnen de context van deze nota vallen de volgende metingen:

- de jaarlijkse kustlodingen, dieptemetingen langs raaien loodrecht op de kust tot 800 m zeewaarts van de rijksstrandpalenlijn, met een onderlinge raai-afstand van 200 - 250 m (fig. 4.1 en 4.2)
- de jaarlijkse kusthoogtemetingen, hoogtemetingen van strand en duin tot 200 m landwaarts van de RSP-lijn, thans verricht d.m.v. fotogrammetrie, voor dezelfde raaien als de dieptemetingen.
- de kustdoorlodingen, het tot grotere diepte meten van raaien van de jaarlijkse lodingen met een raai-afstand van 1000 m, reikende 2500 tot 3000 m zeewaarts van de RSP-lijn (fig. 4.3).
- de vaklodingen tot grofweg de NAP - 20 m lijn. Dit zijn de lodingen van het gebied zeewaarts van de jaarlijkse kustlodingen. Dit gebied is ingedeeld in vakken (fig. 4.4)
- overige lodingen t.b.v. de veiligheid (zeekeringen, kust- en oeverkaarten).

De onder de eerste drie aandachtstreepjes genoemde metingen zijn opgenomen in het zgn. JARKUS-bestand (JAarlijkse KUSTmetingen).

Bij het onderzoek naar de veiligheid van de Nederlandse duinkust, bij het project KUSTGENESE en bij de studies t.b.v. de beleidsnota kustverdediging heeft men de vruchten kunnen plukken van het monitoren van de kustligging in de afgelopen 25 jaar en het vastleggen daarvan in een toegankelijk bestand. Deze studies waren niet mogelijk geweest zonder deze gegevens.

De metingen worden uitsluitend bekeken met het oog op veiligheid tegen overstroming en kustgedrag. Zo blijft bijvoorbeeld het scheepvaartbelang buiten beschouwing.

4.3 Evaluatie van het meetprogramma

De jaarlijkse kustmetingen

De jaarlijkse kustmetingen worden voor praktisch alle bovengenoemde doeleinden gebruikt. Vanuit de kant van de beheerders van de kust wordt sterk aangedrongen op het onverminderd voortzetten van de jaarlijkse kustmetingen, zowel wat frequentie als wat raai-afstand betreft. Dat geldt zeker voor die kustvakken die om één of andere reden bijzondere aandacht vereisen (erosie, aanwezigheid constructies, bebouwing, geulen onder de kust, smal duin). In de toekomst zal dat, vanwege de voortsluipende erosie en de (versnelde) zeespiegelrijzing, voor steeds meer kustvakken het geval zijn. In het complexe Deltagebied vereisen nu al bijna alle kustvakken bijzondere aandacht.

Tevens geldt de overweging dat trends in de kustligging en de mate van veiligheid die duinen nog bieden onnauwkeuriger bepaald kunnen worden naarmate de meetfrequentie afneemt. Hierbij dient bedacht te worden dat de metingen behept zijn met meetfouten (toevallige en per meetraai per jaar systematische). De maand waarin de lodingen, en ook los daarvan de hoogtemetingen, worden verricht, varieert bovendien (van april t/m september). Binnen dit meetseizoen is de dynamiek van de kuststrook aanzienlijk. Het zo goed mogelijk uitfilteren van de hierdoor veroorzaakte ruis in de gegevens bij trendanalyses pleit voor het handhaven van de jaarlijkse opname.

In enkele gevallen zal bij bedreiging van de stabiliteit van de waterkering en haar onderwateroever vaker dan eenmaal per jaar worden gemeten, bijvoorbeeld bij opdringende geulen. Hiervoor zijn geen algemene regels te geven. Zij worden in voorkomende gevallen door de beheerder uitgevoerd (lodingen t.b.v. zeekeringen), en worden niet in het landelijke JARKUS-bestand opgenomen.

Uit studies in het kader van KUSTGENESE en mede t.b.v. de beleidsanalyse kustverdediging (Technische Rapporten 2 en 5) is gebleken dat voor sommige gebieden de raaien niet ver genoeg zeewaarts reiken. De raailengte is destijds bepaald op grond van de toenmalige inzichten omtrent de actieve zone van de kust. Volgens de huidige inzichten strekt de actieve wig, dat deel van de onderwaterbodem waarbinnen zich onder normale condities vrijwel geheel het dwarstransportproces van sediment afspeelt, zich uit tot de ca. NAP - 10 m lijn. Het duinafslagproces tijdens extreme stormvloeden speelt zich af binnen een strook van 200 à 300 m vanaf het duinfront. De brandingsruggen bevinden en verplaatsen zich in een bredere strook. De jaarlijkse kustlodingen dienen tenminste de zone van de brandingsruggen te omvatten. Zij dienen tenminste de huidige lengte te hebben en waarnodig te worden verlengd tot even voorbij de brandingsruggen. Voor de "schone" kust betekent dit bijvoorbeeld dat de raaien tenminste tot de NAP - 7 m lijn moeten reiken.

Voor een paar kustvakken is gekeken in hoeverre bij de jaarlijkse kustmetingen raaien kunnen worden weggelaten (in ruimte en tijd) zonder verlies aan informatie. In dat geval is enige reductie in de meetinspanning mogelijk. De hierbij gevolgde gedachte is, dat wanneer

een gemeten raai met dezelfde nauwkeurigheid kan worden berekend uit metingen van naastgelegen raaien (in ruimte of tijd) de meting geen extra informatie toevoegt en dus achterwege kan blijven. Enige redundantie (overvloedigheid) in de metingen is overigens wel gewenst uit oogpunt van controle en bijgissen van ontbrekende of foute waarnemingen.

Per meetwaarde is de verwachting bepaald als het gemiddelde van de meetwaarden van de naastgelegen meetraaien met dezelfde afstand uit de RSP-lijn (Rijksstrandpalenlijn) in de ruimte, en het gemiddelde van de meetwaarden per meetpunt een tijdstap vooruit en in het verleden in de tijd.

Van alle verschillen tussen verwachting v en meting w per raai, in de ruimte over alle beschikbare jaren en in de tijd over alle raaien, is de standaardafwijking bepaald als functie van de afstand uit de RSP-lijn.

In figuur 4.5 en 4.6 zijn de resultaten weergegeven voor de kustvakken Rijnland en Texel. Figuur 4.7 geeft de standaardafwijking per raai beneden NAP + 1 m langs de kust.

Als de standaardafwijking van de meetfout wordt gesteld op 25 à 30 cm, zie fig. 4.5.a bij 800-900 m uit de RSP-lijn waar niet veel gebeurt in de tijd en men dus bij benadering de meetfout aan het bepalen is, dan is de berekening niet slechter dan de meting bij een $\sigma(w-v) \leq \approx 40$ cm.

Bij een rustig kustvak als dat van Rijnland lijkt enige reductie in de raaidichtheid mogelijk vanaf ca. 300 m vanaf de RSP-lijn. Opmerkelijk is bij Rijnland het resultaat van de interpolatie in de tijd bij een tijdstap van 4 jaar (fig. 4.6.a). De reden daarvan ligt in de periodiciteit van de brandingsruggen.

Alvorens op grond van dergelijke beschouwingen tot herziening van de meetopzet over te gaan, dienen eerst meerdere kustvakken te worden geanalyseerd. Daarbij dient in verband met de uitvoerbaarheid de uniformiteit van het meetprogramma te worden bewaakt, d.w.z. dat niet per raai de afstand moet worden gevarieerd, maar dat deze binnen redelijk grote gebieden uniform moet zijn.

In het duin is de ruimtelijke resolutie van een raaiafstand van 200-250 m te gering. Een goede beoordeling van duinen als waterkering kan dan ook alleen maar in combinatie met goede kaarten, die tenminste 1 maal per 5 jaar dienen te worden geactualiseerd (kust- en oeverkaarten), en visuele schouw.

De doorlodingen

De zgn. actieve zone reikt volgens het huidige conceptuele dwarstransportmodel (Technisch rapport 5) tot ca. NAP - 10 m. Om in ieder geval een zeewaarts sluitende zandbalans te kunnen verkrijgen dienen de doorlodingen daarom tot NAP - 12 m te reiken.

Het gebied buiten de brandingsruggen is minder dynamisch en behoeft daardoor niet jaarlijks te worden gemeten. Gebleken is dat een frequentie van éénmaal per 5 jaar laag is om enigszins redelijk een trend te kunnen bepalen (Technisch Rapport 5). De doorlodingen dienen daarom voorlopig om de drie jaar te worden uitgevoerd. Daarbij dient te worden gemeten langs raaien van de jaarlijkse kustmetingen, met een onderlinge afstand van 1 km.

De doorlodingen dienen bij voorkeur voor de gehele "schone" kust, doch

in ieder geval voor zeer grote segmenten (bijv. met IJmuiden als grens) in hetzelfde jaar te worden uitgevoerd. Hetzelfde geldt voor de kustvakken van de Waddeneilanden tussen de buitendelta's. Voor het Deltagebied kunnen de doorlodingen vervallen zolang de frequentie van de vaklodingen gehandhaafd blijft op het huidige niveau (éénmaal per jaar of twee jaar). De benodigde informatie kan worden ontleend aan deze vaklodingen. Het is daarbij gewenst dat bij het uitvoeren van de vaklodingen zo veel als mogelijk gevaren wordt volgens raaien van de jaarlijkse kustmetingen.

De vaklodingen

De vaklodingen hebben naast hydrografische doeleinden tot doel de grootschalige morfologische ontwikkeling van de Nederlandse onderwateroever en de estuaria te volgen. Het gehele gebied is daartoe in vakken ingedeeld (fig. 4.4). De opnamefrequentie varieert afhankelijk van de beweeglijkheid van de bodem. De minimumfrequentie bedraagt thans éénmaal per 5 jaar. Een veel lagere frequentie levert te weinig gegevens voor een enigszins betrouwbare trendbepaling. De raaiafstanden variëren afhankelijk van het gebied van 100 - 250 m.

Volgens de huidige inzichten t.a.v. de grootschalige morfologische processen kan voor de schone kust van Holland volstaan worden met het meten van raaien loodrecht op de kust tot voorbij de teen van de onderwateroever. De afstand van de teen tot de kust varieert van 2,3 tot 8,5 km. Een raaiafstand van 1 km is hierbij voldoende. Het ligt voor de hand de doorlodingen uit te breiden tot deze zone. Ook de frequentie van éénmaal per drie jaar dient voorlopig voor dit gebied te worden aangehouden. Over de snelheid van de veranderingen in dit gebied is nog erg weinig bekend, zoals bijvoorbeeld van fenomenen als de met de onderwateroever verbonden zandruggen (shoreface connected ridges) en de geïsoleerde ruggen (isolated ridges) op de onderwateroever. Tevens dient het conceptuele dwarstransportmodel, dat de transporten en bodemveranderingen hoofdzakelijk boven de NAP - 10 m lijn situeert, te worden getoetst. De onnauwkeurigheid van de lodingen vereist dat de opnamefrequentie niet te laag is. De vaklodingen voor de Hollandse kust kunnen dan vanuit het oogpunt van veiligheid en kustgedrag vervallen, behalve bij de buitendelta van het Zeegat van Texel (ten noorden van km paal 8). Extra lodingen in de nabijheid van de grote havens, stortplaatsen van baggerspecie e.d. blijven hier buiten beschouwing.

Een belangrijk voordeel van deze voorgestelde wijze van opname is dat de gegevens direct kunnen worden opgenomen en verwerkt in het algemeen toegankelijke en operationele JARKUS-bestand.

Indien om andere redenen, bijvoorbeeld hydrografische, de vaklodingen toch worden uitgevoerd dient te worden nagegaan of de informatie tot de teen van de onderwateroever hieruit kan worden afgeleid.

In het Waddengebied zijn de vaklodingen wel van groot belang gezien de gecompliceerdheid van de bodemtopografie. Voor de Noordzeezijde van de middens van de eilanden, waar de dieptelijnen ongeveer evenwijdig aan de kust lopen, kan volstaan worden met het meten van raaien om de km tot voorbij de teen van de onderwateroever (uitgebreide doorlodingen). Voor de buitendelta's van de zeegaten zijn i.v.m. de geulpatronen de doorlodingen volgens de raaien van de jaarlijkse kustlodingen niet zinvol en dienen vaklodingen te worden uitgevoerd. Deze vaklodingen hoeven ook niet verder te reiken dan even voorbij de teen van de

onderwateroever. De gewenste raai-afstand voor de vaklodingen wordt gesteld op 200 m omdat daarmee kleinere geulen nog redelijk in beeld kunnen worden gebracht. Een grotere afstand leidt tot minder nauwkeurige bodemschematisaties t.b.v. hydraulische modellen. De opnamefrequentie wordt analoog aan die voor de schone kust gesteld op éénmaal per 3 jaar. De veranderingen in de Waddenzee zelf vinden veel geleidelijker plaats. Een meetfrequentie van éénmaal in de 6 jaar wordt voldoende geacht. Een lagere frequentie levert te weinig gegevens voor een enigszins betrouwbare trendbepaling. De gewenste raai-afstand wordt conform die voor de buitendelta's gesteld op 200 m. Voor zeer vlakke gebieden kan de raai-afstand zonodig worden verdubbeld tot 400 m. Dit voorgestelde meetprogramma biedt de mogelijkheid eens in de 6 jaar een buitendelta met het bijbehorende kombergingsgebied in de Waddenzee in hetzelfde jaar op te nemen.

In het Deltagebied vinden grote veranderingen plaats door de uitgevoerde werken. Vaklodingen zijn hier voor het hele gebied tot net voorbij de teen van de onderwateroever nodig. In verband met de grote beweeglijkheid van de bodem, de behoefte van de scheepvaart en de invloed van de scheepvaartgeulen op de morfologie aan weerszijden worden thans frequenties van 1 maal per jaar en eenmaal per 2 jaar gehanteerd. De gewenste raai-afstand wordt vanuit morfologisch oogpunt bezien gesteld op 200 m.

Opm.: In het algemeen kan gesteld worden dat de meetgegevens aan kwaliteit winnen wanneer morfologische eenheden zelf en morfologisch aan elkaar gekoppelde eenheden zoveel mogelijk in dezelfde periode worden opgemeten, hetgeen pleit voor veel scheepscapaciteit en continue loden. Hier is altijd een spanningsveld tussen hetgeen gewenst is en hetgeen organisatorisch mogelijk is

4.4 Samenvatting van het voorgestelde meetprogramma

Het hierboven voorgestelde aanpassingen van de opname van de bodemligging kunnen als volgt per regio worden samengevat:

Het Waddengebied

- . De jaarlijkse kustlodingen handhaven. De raailengten dienen te worden verlengd tot even voorbij de brandingsruggen. Waar dat niet zinvol is dient tenminste de huidige raailengte te worden gehandhaafd.
- . Voor de Noordzeezijde van de "middens" van de eilanden doorlodingen van JARKUS-raaien uitvoeren met een raai-afstand van 1 km en een frequentie van éénmaal in de 3 jaar. De raaien dienen te reiken tot voorbij de teen van de onderwateroever.
- . De buitendelta's van de zeegaten worden éénmaal per drie jaar opgenomen met een raai-afstand van 200 m (vaklodingen). Het op te nemen gebied reikt tot voorbij de teen van de onderwateroever.
- . De vaklodingen in de Waddenzee worden éénmaal per 6 jaar uitgevoerd met een raai-afstand van 200 m.

De schone kust van Holland

- . Handhaven van de jaarlijkse kustlodingen. De raailengten dienen te worden verlengd tot even voorbij de brandingsruggen. Dat komt voor dit gebied neer op tenminste de huidige raailengte of tenminste tot de NAP - 7 m lijn.
- . De doorlodingen van JARKUS-raaien dienen met een raai-afstand van 1 km éénmaal per 3 jaar te worden uitgevoerd en dienen te reiken tot voorbij de teen van de onderwateroever.

Het Deltagebied

- . Handhaven van de jaarlijkse kustlodingen. De raaien dienen tenminste de huidige lengte te hebben of te reiken tot voorbij het gebied van de brandingsruggen nabij de kust.
- . Vaklodingen van Oosterschelde, Westerschelde en Voordelta handhaven op het huidige niveau zolang er nog grote veranderingen plaats vinden als gevolg van de uitgevoerde werken. De vaklodingen van de Voordelta dienen te reiken tot voorbij de teen van de onderwateroever. De gewenste raai-afstand bedraagt 200 m.

De gebiedsindeling voor de vak- en doorlodingen is weergegeven in figuur 4.8

5 OVERIGE PARAMETERS

5.1 De bodemsamenstelling

De zandtransporten worden vanzelfsprekend beïnvloed door de samenstelling van het sediment, met name de korrelgrootte-eigenschappen. De benodigde gegevens kunnen worden verkregen via projectmetingen, danwel uit de geologische kartering uitgevoerd door de Rijks Geologische Dienst en de Rijkswaterstaat. De benodigde herhalingsfrequentie is zo laag dat men hier niet meer van monitoring kan spreken. Het is gewenst alle beschikbare gegevens van diverse projecten en diensten op te slaan in een centraal en toegankelijk bestand.

5.2 De stroomsnelheden

Stroomsnelheden en -richtingen zijn van belang voor berekeningen van zandtransport. Hiervoor worden waterbewegingsmodellen gebruikt. IJking van deze modellen gebeurt met projectmatig ingewonnen meetgegevens. Monitoren van deze parameter wordt niet nodig geacht.

5.3 De watertemperatuur.

De snelheid waarmee allerlei processen, ook morfologische, verlopen is afhankelijk van de watertemperatuur. Door het broeikaseffect zal ook de temperatuur van het zeewater geleidelijk toenemen. Het watertemperatuurmeetnet wordt thans drastisch herzien. Naast de locaties van het operationele Meetnet Noordzee worden langs de kust en estuaria slechts enkele meetpunten gehandhaafd en geautomatiseerd en worden enkele Wavec-boeien voorzien van een temperatuursensor. De invloed van de temperatuur op de morfologische processen (viscositeit van het water) en de daarmee samenhangende onzekerheden vallen echter in het niet bij de onnauwkeurigheden van de huidige modelleringen van de ingewikkelde morfologische processen, zodat monitoring van de watertemperatuur alleen om deze reden niet direct noodzakelijk is.

5.4 De wind

Windrichting en windsnelheid zijn uitermate belangrijke parameters voor het kustgedrag en de veiligheid tegen overstroming. De wind kan het Noordzeewater hoog tegen onze kust opstuwten en wekt de windgolven op. Strikt genomen zouden we, indien de wateropzet- en golfmodellen nauwkeurig genoeg waren, wat deze grootheden betreft kunnen volstaan met het monitoren van de wind, of zelfs, bij voldoende nauwkeurige atmosferische modellen, met het monitoren van luchtdrukken. Zolang dat nog niet het geval is, blijft het noodzakelijk de opgewekte fenomenen zelf te monitoren.

Gegevens omtrent de wind worden verzameld en gepubliceerd door het KNMI. Er wordt hier verder niet op ingegaan.

6 REMOTE SENSING

6.1 Inleiding

In het voorgaande is steeds uitgegaan van de huidige meetmethoden en technieken. De technologische ontwikkelingen op dit gebied staan echter niet stil. Enerzijds betreft dit de perfectionering en efficiencyverbetering van de huidige methoden, anderzijds de ontwikkeling van geheel nieuwe methoden en technieken, waaronder de remote sensing meetmethoden (meten op[afstand) een bijzondere plaats innemen.

Gezien de ontwikkelingen t.a.v. de remote sensing methoden voor het waarnemen van bodemligging en waterbeweging op zee, wordt in dit hoofdstuk een overzicht gegeven van de remote sensing meetmethoden die al dan niet operationeel zijn of worden voorgesteld. Daarbij is een indeling gemaakt naar meetprincipe. Van elke methode wordt aangegeven waarvoor deze het meest bruikbaar is. Tevens wordt aangegeven of de methode al operationeel is of binnen afzienbare tijd zal worden. Daarnaast wordt zoveel als mogelijk ingegaan op de nauwkeurigheid van de techniek, de toekomstige ontwikkelingen en de toepasbaarheid voor Nederland.

De laatste paragraaf van dit hoofdstuk gaat kort in op de ontwikkelingen m.b.t. de onderwaterakoestiek voor opname van de zeebodem, thans toegepast vanaf schepen (echolood). In feite kan deze wijze van dieptemeting ook worden gerekend tot de remote sensing meettechnieken.

6.2 LIDAR remote sensing (Light Detection and Ranging)

Dankzij de technologische vooruitgang op het gebied van laser transmissie- en detectiesystemen is een nieuwe lodingstechniek ontwikkeld opererend vanuit een vliegtuig of helikopter. De meetnauwkeurigheid die met deze techniek kan worden bereikt is vergelijkbaar met die van de huidige echolodingen. Metingen vanuit een vliegtuig kunnen de kosten voor lodingen aanzienlijk verlagen.

De lichtbron bestaat uit een gepulste laser. Het gereflecteerde signaal wordt geregistreerd. De vorm van de gereflecteerde laserpuls (figuur 6.1) wordt bepaald door:

- secundaire reflectie van de puls aan het wateroppervlak;
- verstrooiing van licht aan kleine deeltjes in het water;
- reflectie aan de bodem.

In schoon water zijn de reflecties aan het wateroppervlak en de bodem als duidelijke pieken in het signaal te onderscheiden (fig. 6.1). De diepte ter plaatse kan afgeleid worden uit de lichtsnelheid en het tijdsverschil tussen de beide pieken. Daarbij moet er rekening mee worden gehouden dat de lichtsnelheid in het water afhangt van de temperatuur en het zoutgehalte van het water.

De vorm van de aan het wateroppervlak gereflecteerde piek is afhankelijk van de toestand van de waterspiegel. Een ruwe zee veroorzaakt door harde wind kan deze piek sterk verbreden. De samenstelling van de bodem beïnvloedt zowel de grootte van de gereflecteerde piek aan de bodem (zand of slib) als de positie (vegetatie).

Bij vuil of troebel water kan het onderscheid tussen de reflecties aan het wateroppervlak en aan de bodem vertroebeld raken door reflecties

aan vuildeeltjes in het water (backscatter, zie fig. 6.1). Een school vissen kan hetzelfde effect hebben.

Door absorptie van licht in het water wordt de bodempiek kleiner bij toenemende diepte. Hierdoor is de toepasbaarheid van LIDAR voor het opnemen van de onderwaterbodem begrensd (tot 70 m in helder water).

Toepassing van een laser remote sensing systeem in de Westeuropese kustwateren vraagt om een innovatieve aanpak en inspanning vanwege de troebelheid van deze wateren. In verband met de vereiste inspanning, de daarmee samenhangende kosten en de internationale belangstelling m.b.t. een dergelijk systeem is een EUROMAR/EUREKA-project gedefinieerd, waarbij de Nederlandse deelname specifiek gericht is op toepassing bij opname van de onderwaterbodem (bathymetrie).

De toepasbaarheid van actieve optische technieken voor remote sensing van ondiepe kustwateren is reeds aangetoond door een aantal systemen (USA, Canada, Australië). Theoretische achtergronden, experimenten, resultaten en beperkingen van verschillende instrumenten en methoden zijn uitvoerig beschreven in de vakliteratuur.

Ontwikkeling van een laserbathymetrie meetsysteem verlangt nog een uitgebreide inspanning. Vervolgstudies voor operationele toepassing worden de komende jaren opgestart. Vooralsnog moet worden geconcludeerd dat het volgens de huidige inzichten nog 7 à 9 jaar zal duren voordat binnen Nederland een operationeel laser meetsysteem voor kartografie van de zeebodem beschikbaar is.

Voor de bepaling van de hoogteligging van de onderwaterbodem is naast het bepalen van de diepte, gemeten via het tijdsverschil tussen de reflectie van de laserpuls aan het wateroppervlak en de bodem, ook een nauwkeurige meting van de hoogte van het wateroppervlak zeer belangrijk. Daarom wordt ook onderzoek verricht naar de toepasbaarheid van lasersystemen voor zeeoppervlakte metingen. Op grond van voorlopige resultaten van een studie uitgevoerd door het Waterloopkundig Laboratorium kan worden geconcludeerd dat daarbij ook informatie over golven en over windsnelheid kan worden ingewonnen. De nauwkeurigheid van deze techniek voor golf- en windmetingen, onder variërende hydro-meteorologische condities, is vooralsnog niet bekend. Vervolgstudies zijn hiervoor gepland.

6.3 Radar remote sensing

Het is bekend dat onder bepaalde hydro-meteorologische condities zeegolven, oppervlaktestroming en grootschalige zeebodemstructuren kunnen worden waargenomen met behulp van radarsystemen.

Sinds de jaren vijftig wordt veel onderzoek gedaan naar de eigenschappen van radar terugkaatsing van het zee-oppervlak. Een zeer goed overzicht wordt gegeven in Valenzuela (1978). Vooral na de missie van de oceanografische satelliet SEASAT (1978), waarbij radarbeelden van ondiepe kustwateren - ook voor de Nederlandse kust - zijn gemaakt, bestaat veel belangstelling voor radar remote sensing.

Door de radar steeds op een ander stuk zee-oppervlak te richten wordt een radarbeeld opgebouwd. Aktuele bodemdiepte-informatie kan op dit moment nog niet uit deze beelden worden verkregen. De traditionele lodingsmethoden zullen daarom op dit moment nog niet vervangen kunnen worden door gebruik van radarbeelden. Daarentegen geven radarbeelden een synoptisch overzicht over uitgestrekte gebieden, en vormen daarmee een goed hulpmiddel ter bepaling van een optimale bemonstering van de bodemligging, zowel in de ruimte als in de tijd.

De topografische beelden van de zeebodem, verkregen uit radarreflecties van de zee, ontstaan door ruwheidsverschillen aan het zeeoppervlak door combinaties van capillaire golven en stroming. Door de interactie tussen de bodem en de stroming kunnen radarbeelden ontstaan die informatie verschaffen omtrent de zeebodem.

In het kader van het nationaal remote sensing programma (NRSP) en onder de verantwoordelijkheid van de Beleidscommissie Remote Sensing (BCRS) wordt door de projectgroep Bodemtopografie onderzoek uitgevoerd naar de toepasbaarheid van radarbeelden, opgenomen vanuit vliegtuigen, voor kartografie van de zeebodem. Resultaten van een experiment, uitgevoerd door de projectgroep bodemtopografie nabij Meetpost Noordwijk, zijn weergegeven in figuur 6.2. Figuur 6.2.a geeft het radarbeeld opgenomen vanuit een vliegtuig, figuur 6.2.b geeft de overeenkomstige bodemkaart.

Naar verwachting zal de radartechniek opererend vanuit vliegtuigen, als vervanger voor de traditionele methode van opname van de bodemligging, niet voor het jaar 2000 operationeel beschikbaar zijn.

Naast het waarnemen van bodemtopografieën is radar ook toepasbaar voor golfmetingen. Op dit moment valt nog beperkte golfinformatie uit radarbeelden te halen. Toepassingen zijn golfrichting, golfspreiding, golflengte en refractiepatronen. De nauwkeurigheid van deze golfparameters is sterk afhankelijk van de hydro-meteorologische conditie en de technische parameters van het radarsysteem. Uitgebreider onderzoek naar het meten van golfparameters uit beeldvormende radarsystemen binnen Nederland is gepland.

Met behulp van zgn. radaraltimeters kunnen radarhoogtemetingen gedaan worden, waarmee de afstand tussen satelliet en wateroppervlak kan worden bepaald. Een aan boord van een satelliet geplaatste altimeter zendt een radarpuls uit, die door het wateroppervlak gereflecteerd wordt. Uit de looptijd en de lichtsnelheid volgt de afstand tot het gemiddelde wateroppervlak. Een probleem hierbij is echter dat de positie van de satelliet slechts met een beperkte precisie bepaald kan worden, omdat het gravitatieveld (zwaartekracht) van de aarde niet goed genoeg bekend is, en is slechts daar goed bekend waar referentiepunten aanwezig zijn. In de nabije toekomst zijn echter nieuwe satelliet-missies gepland waarin o.a. onderzoek wordt verricht naar een betere beschrijving van het gravitatieveld van de aarde.

Door een voldoende aantal metingen en een juiste bewerking van de radarhoogtemetingen (gereflecteerde pulsen) kan een gemiddeld topografisch beeld van het wateroppervlak gemeten worden, en kan de significante golfhoogte berekend worden. De nauwkeurigheid hierbij is 10cm resp. 0,5 m.

Door een geschikte combinatie van radarhoogtemetingen en positioneringssystemen kan in principe de afstand tussen het gemiddelde wateroppervlak en de hoogte van het land worden bepaald.

Met behulp van HF-radarsystemen kan operationeel stromingsinformatie van de oppervlaktelaag worden ingewonnen. Afhankelijk van de technische parameters van het systeem kunnen gebieden van tot ca. 100 km afstand worden bemeten. Onderzoek met een operationeel HF-radarsysteem voor stromingsinformatie heeft recentelijk voor de Nederlandse kust plaats gevonden. De nauwkeurigheid van het systeem is sterk afhankelijk van de hydro-meteo- omstandigheden.

HF-radarsystemen kunnen in principe ook worden toegepast voor golf-

metingen. Deze toepassing verkeert nog in de onderzoeksfase. HF-radar kan niet vanuit de ruimte vanwege dissipatie van de golfenergie in de atmosfeer.

6.4 Passieve remote sensing

De LIDAR- en radar remote sensing systemen zijn "aktieve" meetsystemen, d.w.z. zij stralen zelf energie uit d.m.v. elektromagnetische golven en meten de terugkaatsing door het object waarop de bundel gericht is. De "passieve" systemen daarentegen meten alleen de straling die door het object zelf wordt uitgezonden.

In ondiepe wateren geeft het signaal, gemeten door de remote sensing instrumenten die werken in het zichtbare licht (optische venster), ook informatie over de bodem. Door een juiste bewerking en interpretatie van de remote sensing gegevens kan uit deze informatie een kartering van bodemligging en bodemsamenstelling worden afgeleid.

Wolkenvrije beelden van de Nederlandse kust zijn met een frequentie van 3 à 4 keer per jaar verkrijgbaar met het Thematic Mapper instrument van de Landsat satelliet. De ruimtelijke resolutie van de Thematic Mapper bedraagt 30*30 meter. Voor veel kustgerichte meetactiviteiten zou dit voldoende zijn. Voor de komende decaden zijn enkele satelliet-missies gepland met geschikte optische instrumentatie aan boord.

Het dieptebereik en de verticale nauwkeurigheid van de waarnemingen vanuit de satellieten zijn beperkt. Voor de Noordzeekust is dit dieptebereik ongeveer 15 meter en de meetnauwkeurigheid 10 à 20 %. Sinds kort bestaat er echter een Nederlands remote sensing instrument CAESAR, ook specifiek ontworpen voor zeemetingen, dat opereert vanuit een vliegtuig. De ruimtelijke resolutie van CAESAR bedraagt 3*3 meter. Toepassing van dit instrument voor bodemmetingen wordt in 1989 geëvalueerd. Naar verwachting zal met CAESAR de nauwkeurigheid en het bereik van passieve optische remote sensing van de bodem belangrijk verbeteren. Het operationaliseren van de remote sensing methode voor bodemkartering is een voorwaarde voor het doelmatig gebruik ervan voor ondersteuning van kustmonitoring i.c. beperking van lodingsactiviteiten. Het huidige onderzoek is daarop gericht.

Theoretische modelstudies en pilotstudies van geselecteerde gebieden nabij de Nederlandse kust hebben de toepasbaarheid van deze nieuwe monitoringstechniek aangetoond. Verwerkingsprocedures voor de interpretatie van de satellietbeelden zijn ontwikkeld en verder geoptimaliseerd en geschikt gemaakt voor routinematige produktie van bodemkaarten. Juiste interpretatie en toepassing van deze kaarten voor de kustproblematiek vereist kennis van specifieke omstandigheden (getij, recente lodingsgegevens, inhomogeniteit waterkwaliteit, etc.). Combinatie van remote sensing gegevens en in situ waarnemingen betekent verbetering van de kennis over de zeebodem.

6.5 Akoestische methoden

De lodingen voor het meten van de bodemligging zijn thans ingesteld op meten vanaf schepen met behulp van een echolood. De transducer zendt een akoestisch signaal uit dat door de bodem wordt teruggekaatst. De

waterdiepte wordt afgeleid uit de voortplantingssnelheid van het geluid in water en het tijdsverschil tussen zenden en ontvangen van het geluidssignaal. Tesamen met een plaatsbepalingssyteem en de waterhoogte (die dus ook gemeten moet worden) ligt de bodemhoogte vast.

De ontwikkelingen m.b.t. deze meetmethode zijn de afgelopen jaren vooral geconcentreerd geweest op het verkrijgen van een voor de Rijkswaterstaat universele wijze van inwinnen en verwerken (project RWS-LOD, voorheen PALSYS). De toegenomen kennis van de onderwater-akoestiek en de interacties met deeltjes in het water en de bodem, alsmede de betere verwerkingsmogelijkheden die thans bestaan (parallel/array processors) hebben nieuwe ontwikkelingen m.b.t. akoestische meetmethoden mogelijk gemaakt. De verbetering t.o.v. het traditionele echolood bestaat uit het gebruik van meerdere transducers tegelijk (multibeam), het waarnemen onder een grote hoek (wide angle) en het gebruik van meerdere geluidsfrequenties (wide band). "Wide angle"- en "multibeam"-systemen leveren informatie over een groter oppervlak van de zeebodem dan het traditionele echolood. Zij zijn thans reeds operationeel beschikbaar. Met "wide band"-systemen is het in principe mogelijk informatie te verkrijgen over de samenstelling van de bodem. De mate van indringing en reflectie van het geluids-signaal is afhankelijk van frequentie en bodemsamenstelling. Dergelijke systemen worden thans ontwikkeld in het kader van EUROMAR en zijn naar verwachting over ca. 5 jaar operationeel.

7 GEGEVENSBEWERKING EN BESTANDSOPBOUW

7.1 Inleiding

Met het monitoren is veel geld en inspanning gemoeid. Beide zouden grotendeels voor niets zijn geweest, behoudens operationele toepassingen, als de meetgegevens niet zouden worden opgeslagen in een toegankelijk bestand. Ook de kwaliteit van een bestand is van groot belang. Er dienen dan ook goede procedures voor de kwaliteitsborging van de meetgegevens te zijn. Bestanden die veel foute gegevens bevatten verliezen het vertrouwen van de gebruiker en zullen worden afgedaan als onbruikbaar. Om die reden worden meetgegevens uitvoerig gecontroleerd en eventueel van een kwaliteitskenmerk voorzien alvorens ze worden vrijgegeven in een toegankelijk bestand. Dit hoofdstuk gaat in het kort in op deze zgn. validatieprocedures zoals die bij de Dienst Getijdewateren worden toegepast bij de opbouw van de centrale landelijke bestanden van waterstanden, golven en kustmetingen. De gegevensstroom bij de waterstanden kan daarbij bogen op de langste traditie en is daarom ook het meest uitgewerkt.

Voor de vaklodingen bestaat nog geen centraal landelijk bestand. De toegankelijkheid van deze gegevens laat dan ook te wensen over. De opbouw van een centraal bestand van landelijk uniform verwerkte vaklodingsgegevens dient dan ook de hoogste prioriteit te krijgen.

Thans is in ontwikkeling een opslagsysteem dat tot het jaar 2000 voorziet in de behoefte tot centrale en decentrale opslag van natte waterstaatsgegevens, aangeduid met het acroniem DONAR. Dit systeem vervangt de huidige database DTBEST. DONAR beoogt een uniforme opslagstructuur te creëren en een verregaande uniformiteit in toepassingsprogrammatuur te bewerkstelligen. Onder natte waterstaatsgegevens worden ondermeer de volgende gegevens verstaan:

- waterstanden, golfgegevens, debieten, stroomgegevens, enz.;
- gegevens over verontreinigingen in water, bodem, slib, zwevende stof, biota, enz.;
- allerlei biologische gegevens waaronder tellingen van flora en fauna;
- gegevens over de ligging van onderwaterbodem, strand en duin, enz..

Een dergelijk bestand heeft het voordeel dat de verschillende parameters in hetzelfde bestand zijn opgenomen en daardoor makkelijker te koppelen zijn dan wanneer verschillende opslagsystemen moeten worden aangesproken.

7.2 Gegevensbewerking bij het Landelijk Waterstandsmmeetnet

Bij de bestandsopbouw van goede gegevensreeksen van waterstanden worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

1. De gegevensreeksen in het definitieve bestand dienen zo volledig mogelijk te zijn.

Dat leidt tot de volgende activiteiten:

- preventief onderhoud van de peilmeetstations, zoals het tijdig schoonmaken van de toevoeropening en de peilkelder (dichtslibben);
- interpolatie van ontbrekende meetwaarden. Wanneer toch gegevens ontbreken of zijn afgekeurd is het bij een samenhangend meetnet mogelijk de hiaten te vullen met berekende waarden uit

- omliggende meetpunten (zie § 2.3). In het definitieve bestand moet dit wel worden aangegeven;
- zorgen voor een back-up voorziening. Zeer belangrijke stations (SVSD) vereisen een onafhankelijke 2e meting. Het MSW (zie § 2.2) maakt gebruik van het openbare telefoonnet. Back-up voorzieningen zijn nodig om te voorkomen dat bij uitval van een telefoonlijn niet de gegevens van een hele regio verloren gaan, waardoor ook interpoleren van ontbrekende waarden niet meer mogelijk is.
 - 2. Alleen goede gegevens worden in het bestand opgenomen; Gegevens waarvan aan de juistheid om aantoonbare redenen wordt getwijfeld, worden niet in het bestand opgenomen. In een dergelijk geval kan de meetwaarde zo mogelijk worden vervangen door een berekende waarde.
 - 3. De kwaliteit van het meetgegeven moet herkenbaar zijn. Het meetgegeven krijgt een kwaliteitsaanduiding om aan te geven in welk stadium van de gegevensbewerking het zich bevindt en om eventuele bijzonderheden aan te geven.

De gegevensbewerking in het geautomatiseerde Landelijk Waterstandmeetnet gaat voor de stations in het getijgebied in het kort als volgt:

- De DNM (Digitale Niveaumeter) in het peilmeetstation geeft een 10-seconden gemiddelde waarde af (uit 8 waarden om de 1.25 sec.). In de centrale computer vindt automatische controle plaats op de correctheid van het binnenkomende sensorsignaal, de status van de sensor, over- of onderschrijding van een maximum resp. minimum waarde en overschrijding van een maximaal verschil tussen twee opeenvolgende meetwaarden. Waarden die niet voldoen aan de criteria worden uitgesloten van verdere bewerking.
- Automatische controle op de 10-minuten gemiddelde waarden. De 10-minuten gemiddelde waterstand is de basiswaarde van het geautomatiseerde Landelijk Waterstandsmeetnet. Iedere waarde wordt vergeleken met een uit de omringende stations berekende waarde. Hierbij worden huidige waarden en waarden uit het verleden gebruikt. Bij te grote afwijking kan beslist worden de meetwaarde van een bepaald station niet operationeel beschikbaar te stellen. Deze controle vindt uurlijks plaats.
- Aanvullen van ontbrekende waarden uit het back-up systeem.
- Maandelijks vindt controle plaats van alle meetwaarden door deze te vergelijken met uit omliggende meetstations berekende waarden. Hierbij worden nu niet allen waarden van gelijk tijdstip en verleden gebruikt, maar ook waarden van tijdstippen erna. Bij te groot verschil tussen gemeten en berekende waarde wordt de waarneming geanalyseerd en zonodig uit de reeks verwijderd.
- Indien mogelijk worden de ontbrekende meetwaarden uit de omliggende meetpunten berekend. Daarna worden de reeksen voor gebruik beschikbaar gesteld door plaatsing in het definitieve bestand met het kwaliteitskenmerk 60.
- Per kwartaal worden de maandgemiddelden van ieder station uit de in het definitieve bestand geplaatste waarden bepaald en vergeleken met overeenkomstige waarden van omringende stations. Het gaat bij deze controle om het opsporen van trends. Na eventuele correcties in het definitieve bestand wordt het kwaliteitskenmerk op 70 gesteld.
- In het getijgebied worden nu van iedere meetreeks de hoog- en laagwaterstanden met de bijbehorende tijden bepaald. Hierbij wordt

gebruik gemaakt van een middels een numeriek filter gegenereerde 5-minuten reeks.

- Jaarlijks vindt er waterpassing van de meetstations plaats, de zgn. verificatiecorrectie (nulpuntshandhaving). De correcties komen uiterlijk een half jaar na verstrijken van het kalenderjaar binnen. Na het aanbrengen ervan worden de gegevensreeksen als definitief beschouwd en hebben een kwaliteitskenmerk van 90 tot 100.

7.3 Kwaliteitsborging van JARKUS-gegevens en golfgegevens

Kwaliteitsborging van meetgegevens begint bij het meetsysteem. De kwaliteit van de JARKUS-gegevens is in de loop van de tijd verbeterd door betere lodingsapparatuur en plaatsbepalingssystemen. Verdere verbetering van de gegevens mag verwacht worden bij algemene invoering van het RWS-LOD-systeem voor decentrale inwinning en verwerking van de lodingsgegevens.

Verdere kwaliteitsbewaking vindt plaats bij de gegevensstroom tot de definitieve bestanden waarin controleslagen zijn opgenomen. Het gehele JARKUS-bestand is de laatste tijd gecontroleerd met behulp van programmatuur waarbij de verwachting van een meetwaarde (interpolatie in tijd en/of ruimte, zie ook § 4.3) wordt vergeleken met de meting zelf. Bij grote verschillen wordt met behulp van profieltekeningen gekeken of de waarde al dan niet afgekeurd moet worden. Daarnaast wordt ter beoordeling van de meetgegevens een bestand aangelegd en gebruikt waarin alle ingrepen aan de kust zijn opgenomen. Met deze werkwijze is een groot aantal fouten uit het bestand gehaald, voornamelijk veroorzaakt door lees en/of invoerfouten van de vroegere invoerstaten.

Kwaliteitscontrole van golfgegevens vindt in eerste instantie plaats door controles op de werking van het meetinstrument, zoals batterijvoltage, pariteitsbit, operator-check e.d.. Deze controles worden uitgevoerd door het CIC van de Directie Noordzee van de Rijkswaterstaat, waar alle gegevens van de golfmeetboeien van het MSG (zie hoofdstuk 3) binnenkomen. Met deze controleslag wordt bij voorbaat voorkomen dat veel foute parametersreeksen in het bestand terecht komen.

De berekening van diverse golfparameters die in het bestand worden opgeslagen uit het signaal van de sensoren is in het verleden niet altijd eenduidig geweest. Daarom is onlangs een herberekeningsslag uitgevoerd ter verkrijging van een bestand met een voor elke reeks zo uniform mogelijke berekeningswijze van golfparameters en een gelijke parameterset.

In de toekomst worden de ingewonnen golfgegevens eens per maand geplot voor visuele controle. In de nieuw ontwikkelde inwin- en verwerkingsprogrammatuur zijn ook controles ingebouwd op onmogelijke of onwaarschijnlijke waarden.

8 HET KOSTENASPECT

In 1987 is een onderzoek uitgevoerd naar de kosten van het door de Rijkswaterstaat uitgevoerde meetwerk. Daartoe is het in 1986 uitgevoerde meetwerk geïnventariseerd en zijn de ermee gemoeide kosten (inclusief personeelskosten) zo goed mogelijk bepaald (project Spoed Inventarisatie Metingen - SIM, zie lit. 18). Uit het SIM-rapport wordt echter niet duidelijk welk deel van de kosten ten laste komt van monitoren, projecten of operationeel objectbeheer. In lit. 11 is nader bepaald welk deel van de kosten van het in 1986 uitgevoerde meetwerk aan monitoren van de zoute wateren moet worden toegeschreven. Met behulp van de in lit. 11 gegeven cijfers van kosten van monitoren van de zoute wateren in 1986 zal worden geschat wat de kosten zijn van het in het onderhavige rapport voorgestelde monitorprogramma van het kustgedrag, met name t.a.v. waterstand, golven en bodemligging. Dit zijn de belangrijkste kostenposten. De kosten zijn uitgedrukt in miljoenen guldens (Mf). Omdat metingen vaak ook andere doelen dienen dan veiligheid en kustgedrag, bijv. scheepvaartbegeleiding, is het niet altijd duidelijk welk deel van de kosten moeten worden toegedeeld aan monitoring van het kustgedrag.

De waterstand

Voor de 33 meetpunten van het Landelijk Waterstandsmetnet in de zoute wateren werden de kosten berekend op 2,1 Mf. Voor de 15 meetpunten langs de Noordzeekust (zie fig. 2.1.) bedragen de kosten dan globaal een evenredig deel van dit bedrag, te weten 1,0 Mf. Aan de meetpunten van het Meetnet Noordzee is een bedrag van 1,0 Mf toegedeeld voor waterstandsmetingen. Enigszins arbitrair wordt hiervan de helft op zijn beurt toegedeeld aan monitoring t.a.v. veiligheid (SVSD) en kustgedrag, dus 0,5 Mf.

Aan de meetnetten ZEGE en Groningen worden in dit kader geen kosten toegedeeld voor het monitoren van het kustgedrag. Een aantal meetpunten zijn ook opgenomen in het Landelijk Waterstandsmetnet.

De totale kosten voor het monitoren van de waterstand in het kader deze nota worden dan geschat op 1,5 Mf.

Golven

Voor de 10 golfmeetpunten van het Meetnet Noordzee wordt in lit. 11 een bedrag van 2,5 Mf opgevoerd. Voor monitoring van het kustgedrag worden in onderhavige nota 4 meetpunten voldoende geacht. De kosten hiervan worden, naar evenredigheid van het aantal meetpunten, geschat op 1,0 Mf. Deze evenredigheid is slechts een aanname bij gebrek aan beter. De meetpunten van het Meetnet Noordzee zijn uitgerust met twee sensoren. Verschillende typen sensoren zijn in gebruik.

Bodemligging

Voor de vaklodingen en jaarlijkse kustmetingen (inclusief doorlodingen) wordt in lit. 11 een bedrag van 3,4 Mf genoemd. Volgens lit. 8 is de meetinspanning op jaarbasis van deze metingen 19.795 km². Een globale schatting van de meetinspanning benodigd voor het in deze nota voorgestelde monitorprogramma bedraagt 15.000 km² op jaarbasis. Dit is een reductie van ca. 25 %. De kosten worden naar verhouding

berekend op 2,5 Mf.

Als aangenomen wordt dat in 1986 de meetinspanning t.a.v. monitoring de gemiddelde is geweest, dan bedragen de kosten voor monitoring volgens de opzet van deze nota globaal:

- voor waterstanden: 1,5 Mf
- voor golven : 1,0 Mf
- voor bodemligging: 2,5 Mf
- totaal : 5,0 Mf

LITERATUUROVERZICHT

1. J.W. van der Made, "Analysis of some criteria for design and operation of surface water gauging networks", Rijkswaterstaat Communications no. 47, Den Haag : Rijkswaterstaat 1988, proefschrift Technische Universiteit Delft.
2. J.R. Moll, "Interpolatie Waterstanden", Waterloopkundig Laboratorium, rapport Q 625-I, augustus 1987.
3. C.J.M. vermeulen, "Interpolatie Waterstanden, fase II", Waterloopkundig Laboratorium en RWS-Dienst Getijdewateren, rapport Q 828, november 1988.
4. J. van Malde en J.G. de Ronde, "Zeepeilmeetstations", RWS-Dienst Getijdewateren, notitie GWA0-87.483.
5. Rapport Deltacommissie, 's-Gravenhage 1960.
6. E. Kleverlaan en M. Ettema, "Monitoring Systeem Golven, Database Golfrichtingsgegevens", RWS-Dienst Getijdewateren, notitie GWIO-87.226.
7. NESS, North European Storm Study, proposal, february 1986.
8. G.Oskam, "Naar een gestructureerde diepte monitoring Nederlandse Kust", RWS-Dienst Getijdewateren, notitie GWIO-86.608.
9. Dienst Getijdewateren, "Monitoren zoute watersystemen", nota GWIO-87.018, november 1987.
- 10 Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, nota "Monitoren zoute watersystemen", 's-Gravenhage, april 1988.
- 11 A. van der Wekken, "Monitoren zoute watersystemen, Appendix bij de nota van april 1988", nota GWA0-88.025, oktober 1988.
- 12 J. van Alphen en M. Damoiseaux, "Geomorfologische kaart van de Nederlandse kustwateren", RWS dir. Noordzee, nota NZ-N-8616/mdlk-R-8621, 1986.
- 13 M.H.J. Ettema, "Beschouwing meetfrequentie en raaidichtheid 'Jarkus' in het kustvak Rijnland", RWS-Dienst Getijdewateren, notitie GWIO-88.189, september 1988.
- 14 M.H.J. Ettema, "Beschouwing meetfrequentie en raaidichtheid 'Jarkus' in het kustvak Texel, RWS-Dienst Getijdewateren, notitie GWIO-88.259, november 1988.
- 15 G.R. Valenzuela, "Theories for the Interaction of Electromagnetic and Oceanic Waves: A Review", Boundary Layer Meteorology 13, 1978, pp. 61-85.

- 16 K. Muirhead en A.P. Cracknell, "Review of airborne lidar bathymetry", International Journal of Remote Sensing, vol. 7, no. 5, mei 1986, pp. 597-614.
- 17 "Sea Bottom Topography with X-Band SLAR", BCRS report, 1989.
- 18 IME-consult/Rijkswaterstaat, "Spoed Inventarisatie Meetwerk", eindrapport, april 1987.
- 19 Rijkswaterstaat Deltadienst, "Peilfrequenties periodieke lodingen WWKZV, DDWTZ, WWKZS en BER", nota DDWT-84.021, februari 1984.

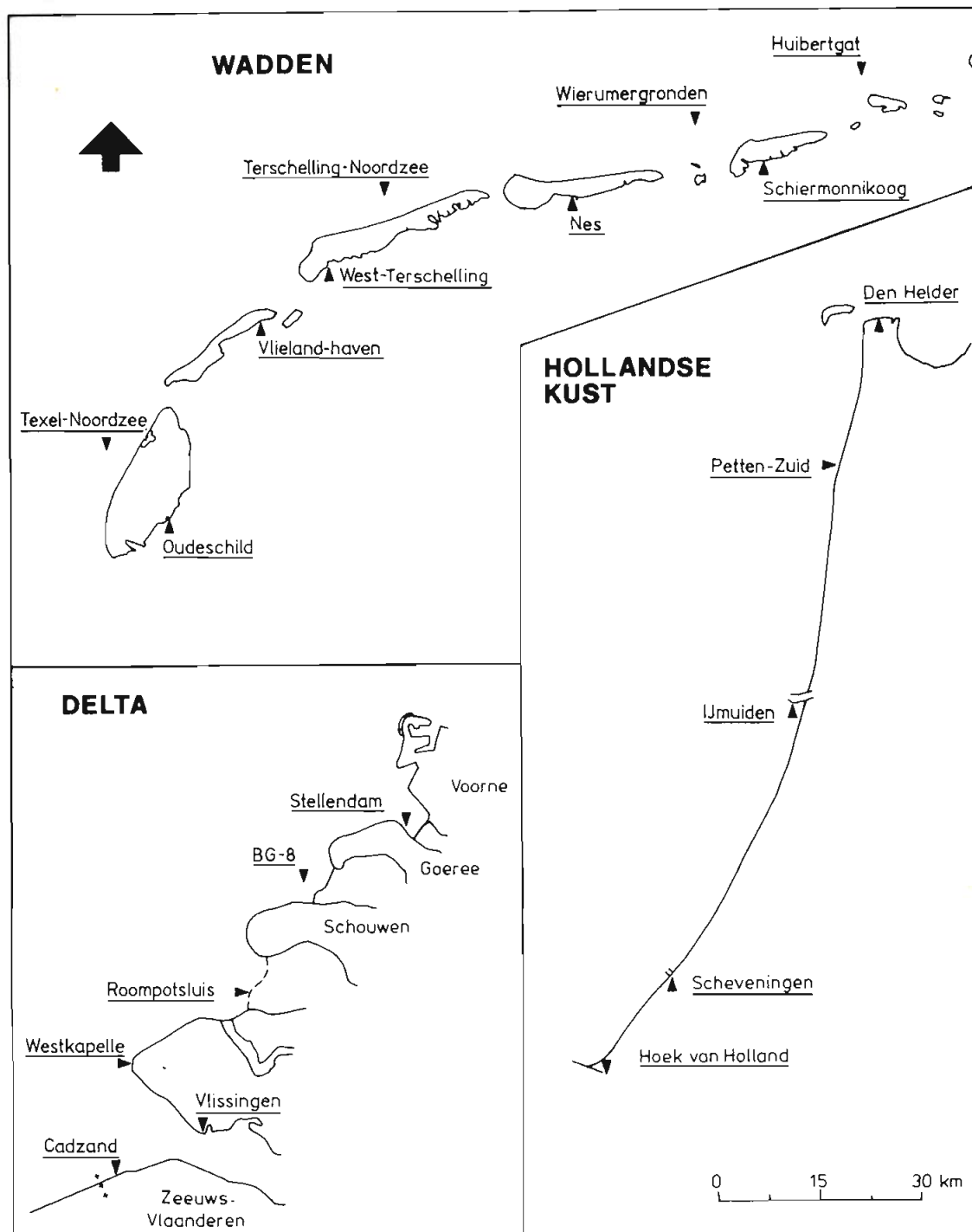


Fig. 2.1.

Meetpunten van het Landelijk Waterstandsmeetnet langs de Noordzeekust en de Waddeneilanden.

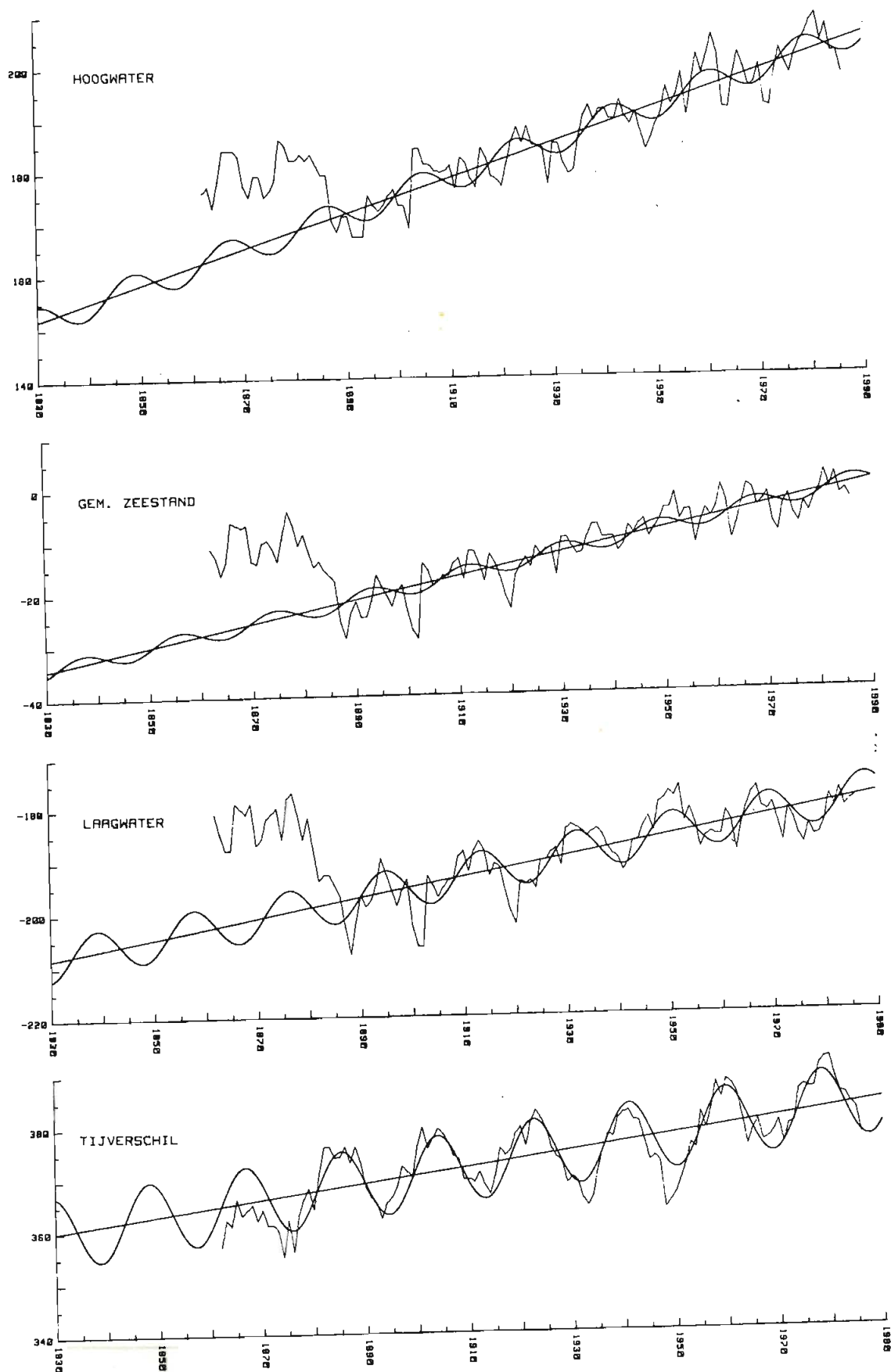


Fig. 2.2. Verloop gemiddelde zeeniveaus Vlissingen.
Berekeningsperiode 1900-1986

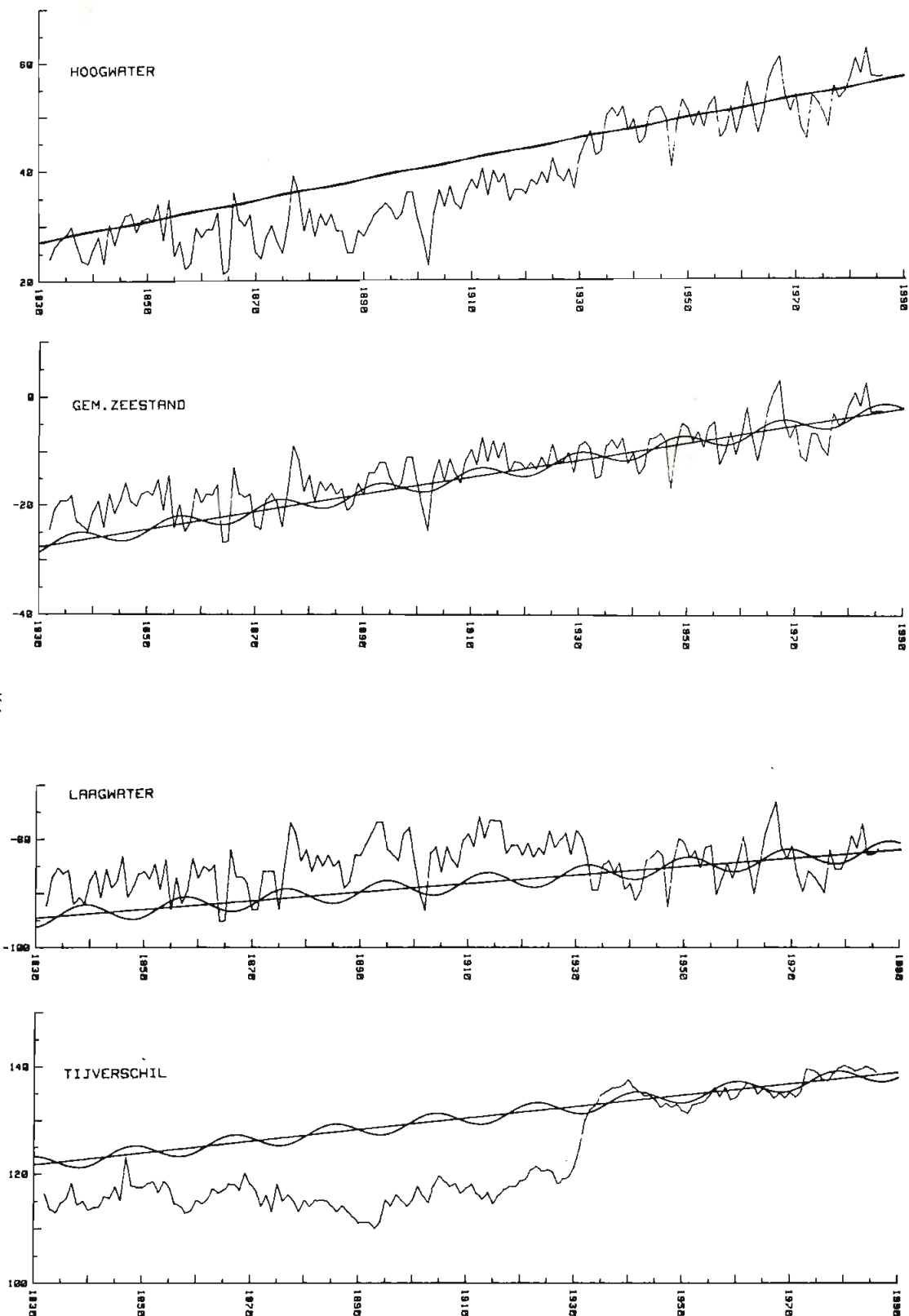


Fig. 2.3. Verloop gemiddelde zeenniveaus Den Helder.
Berekeningsperiode 1933-1986

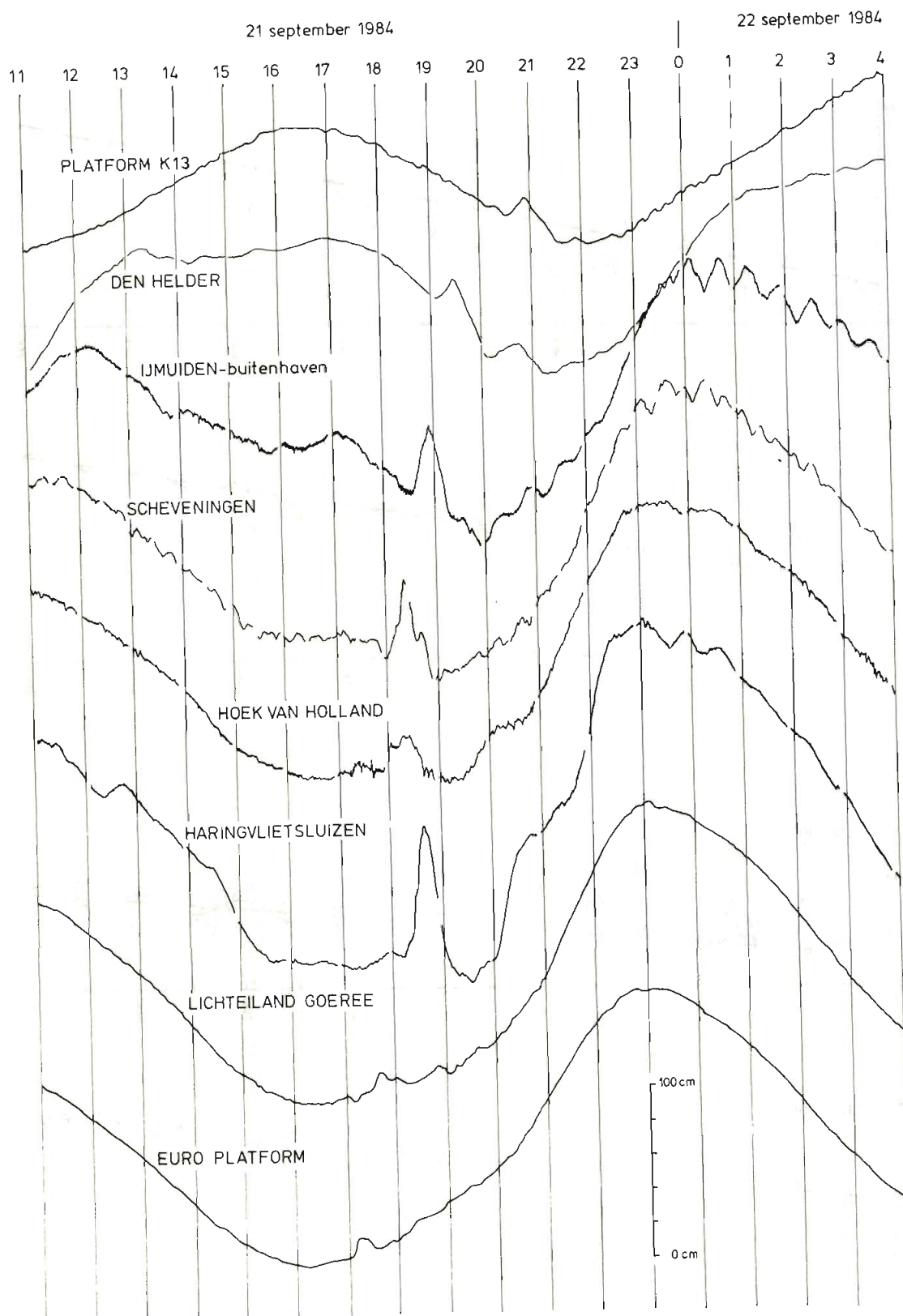


Fig. 2.4. Voorbeeld van een buistoot.

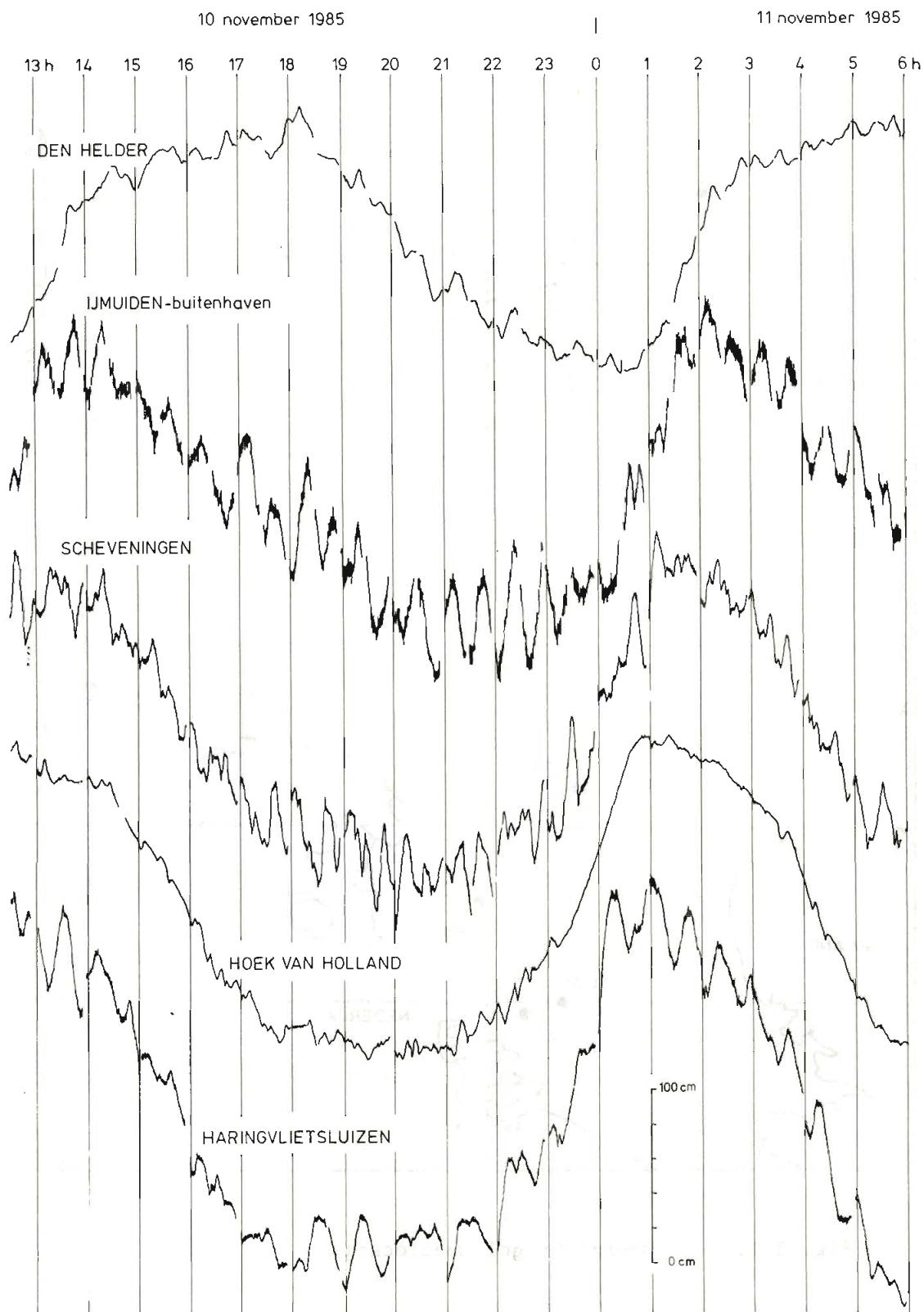


Fig. 2.5. Voorbeeld van bui-oscillaties.

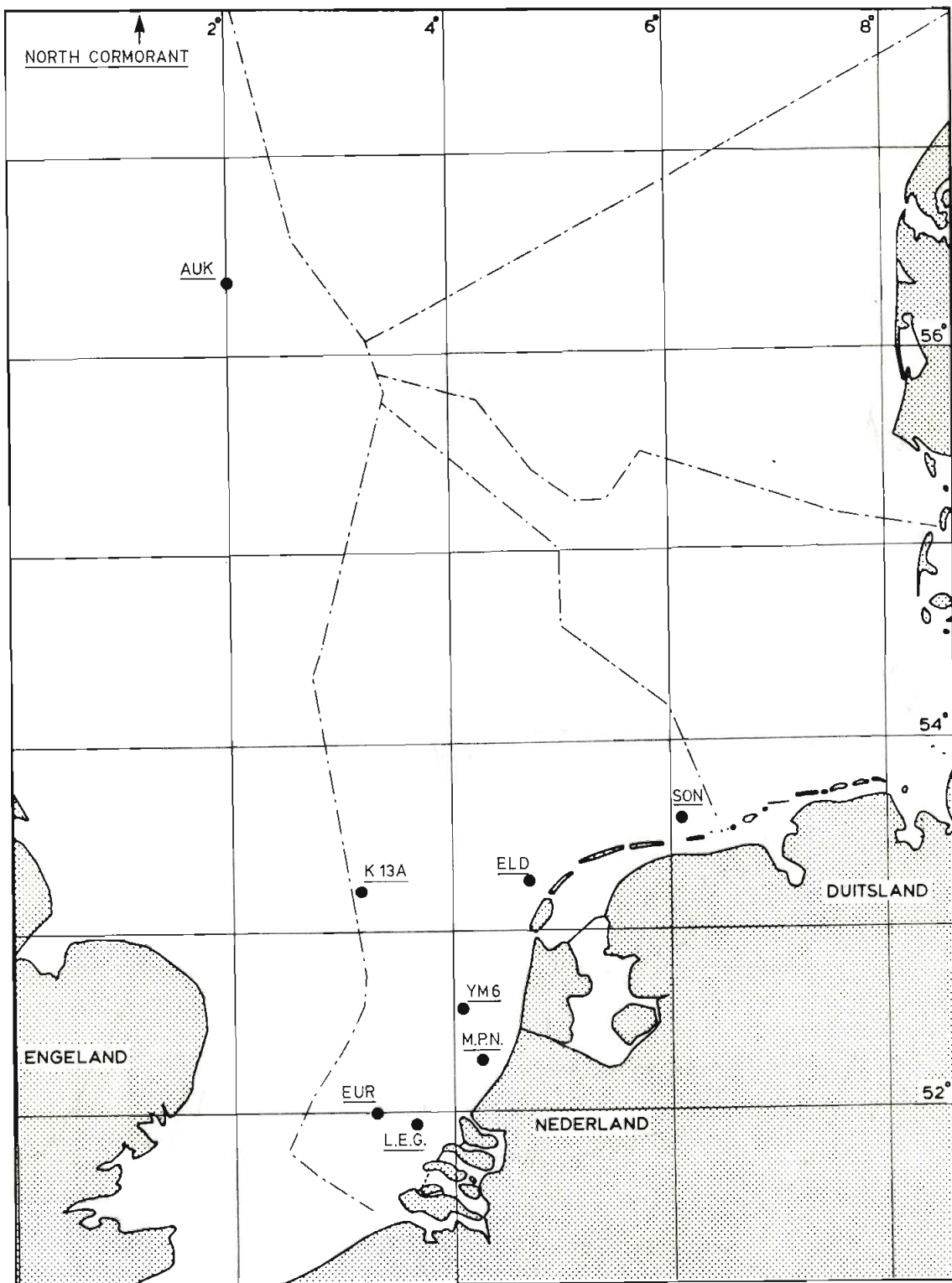


Fig. 3.1.

Overzicht golfmeetlocaties.

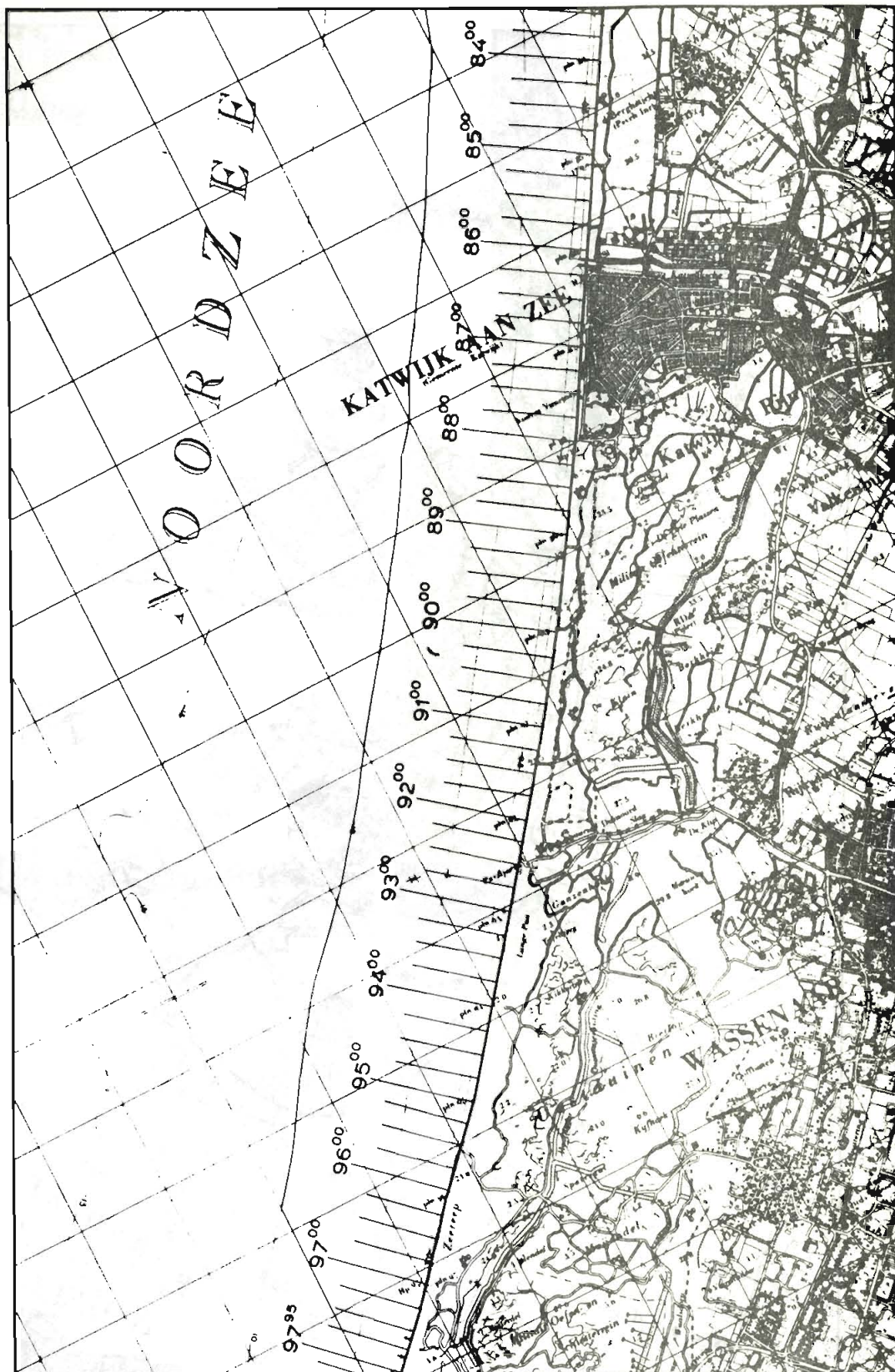


Fig. 4.1. Raaiensstelsel kustmetingen Rijnland.

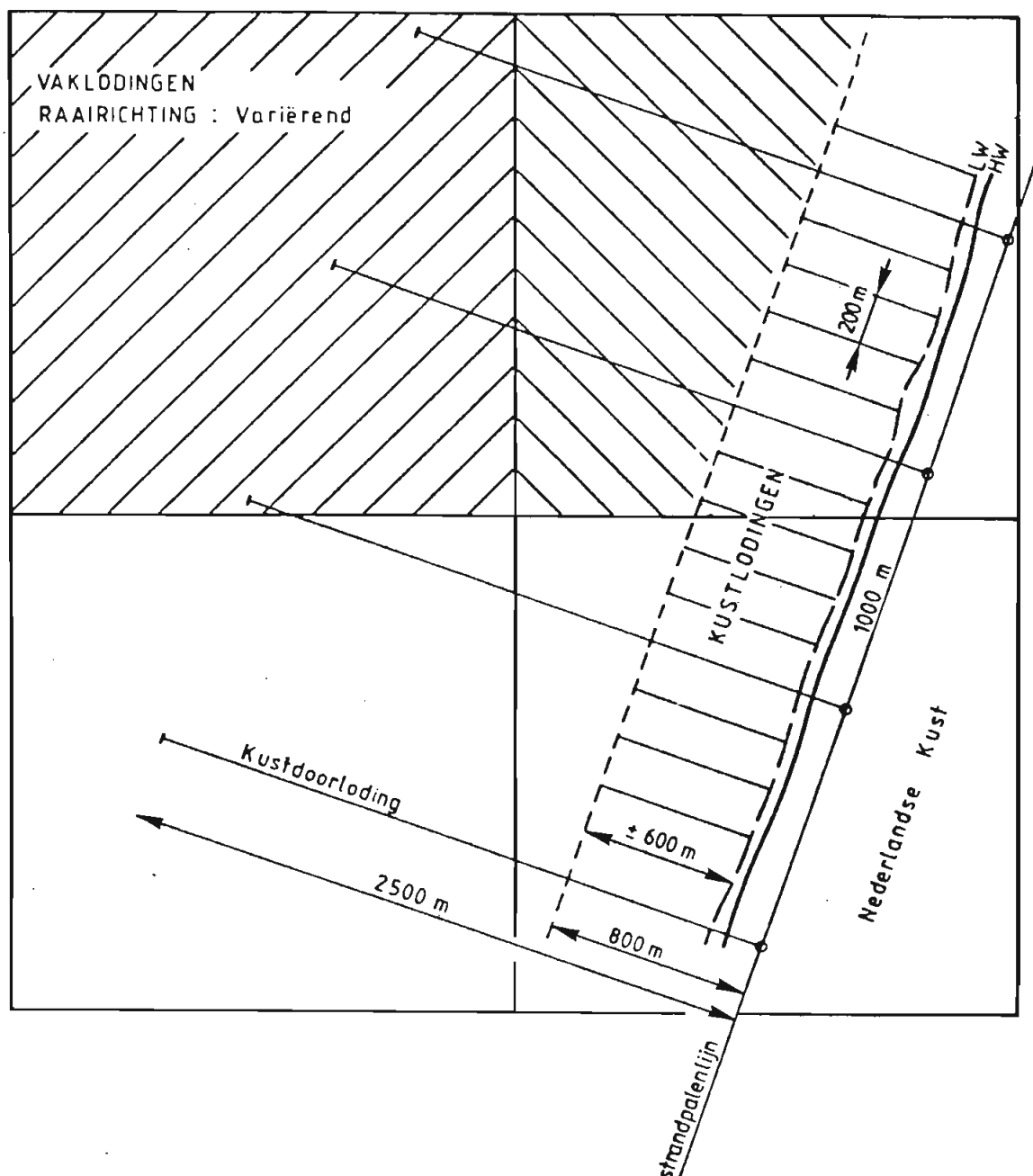


Fig. 4.3. Overzicht lodingen Nederlandse kust.

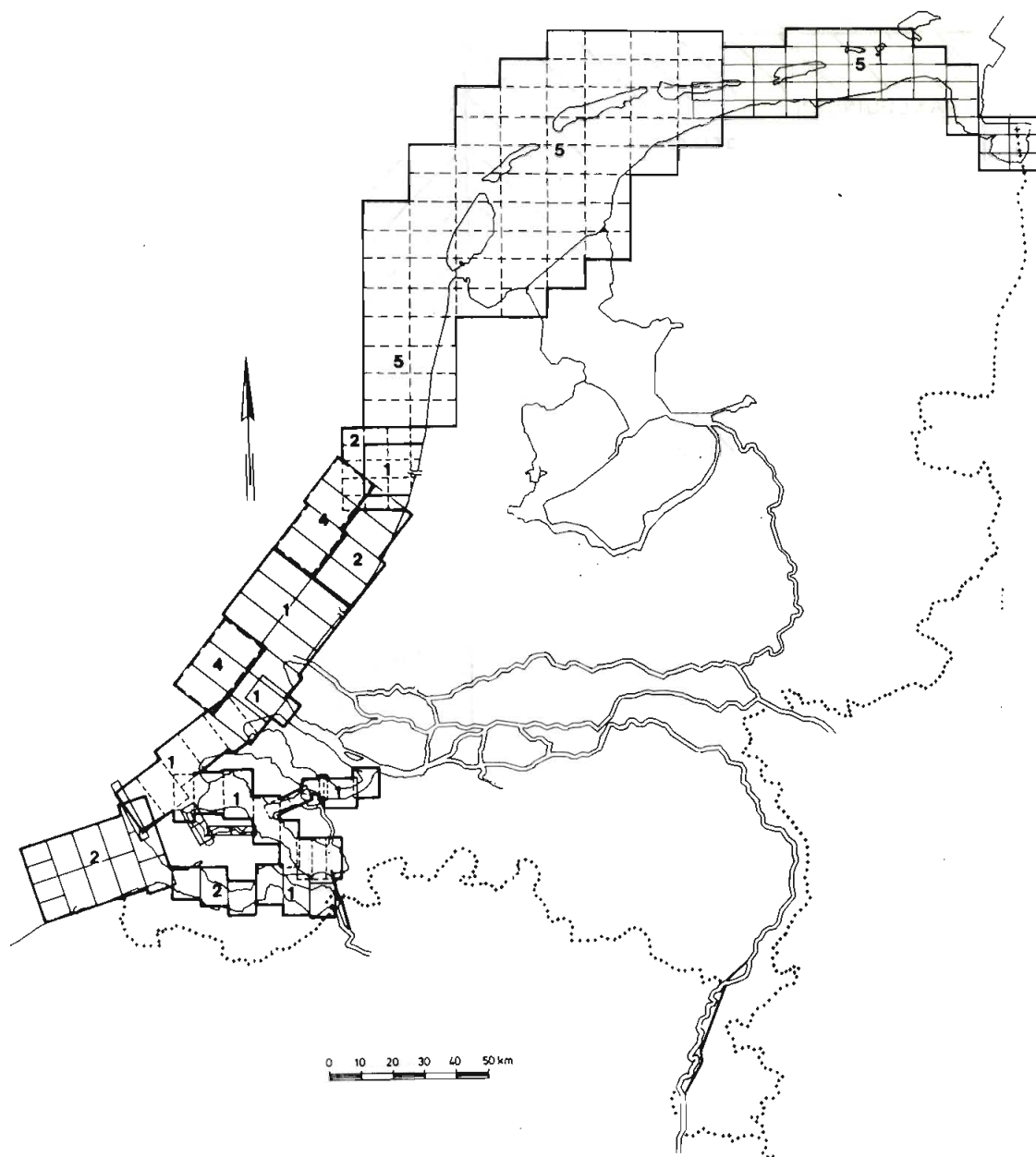


Fig. 4.4.

Huidige vakindeling en herhalingsperiode in jaren van de vaklodingen.

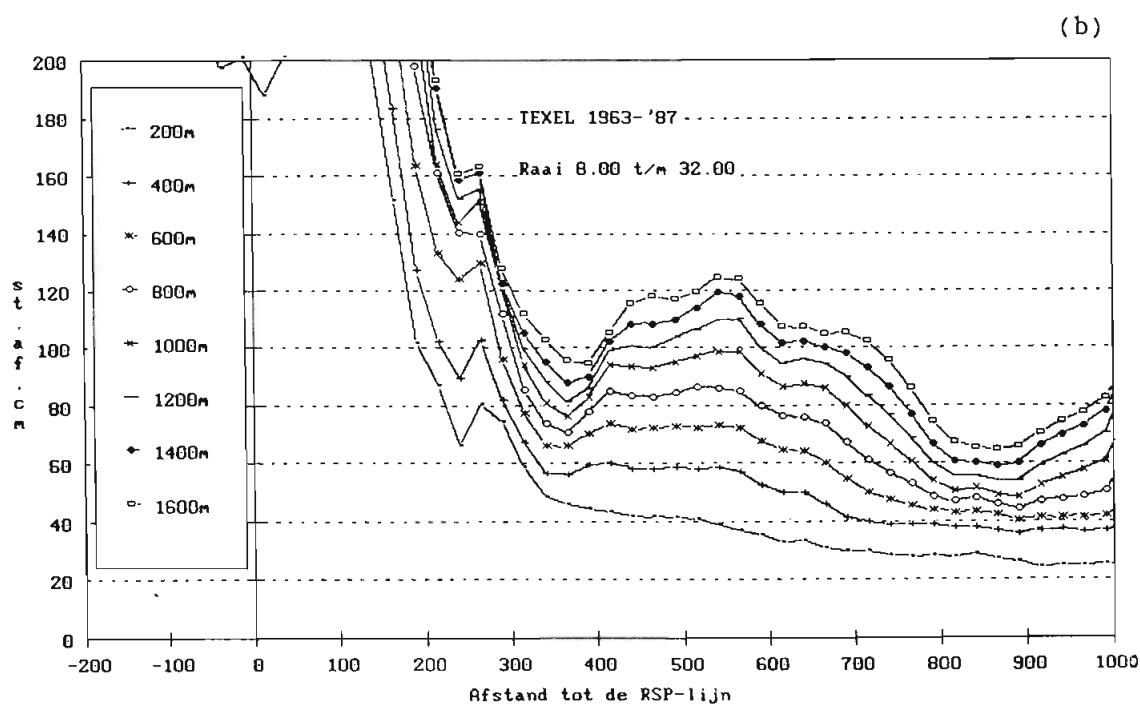
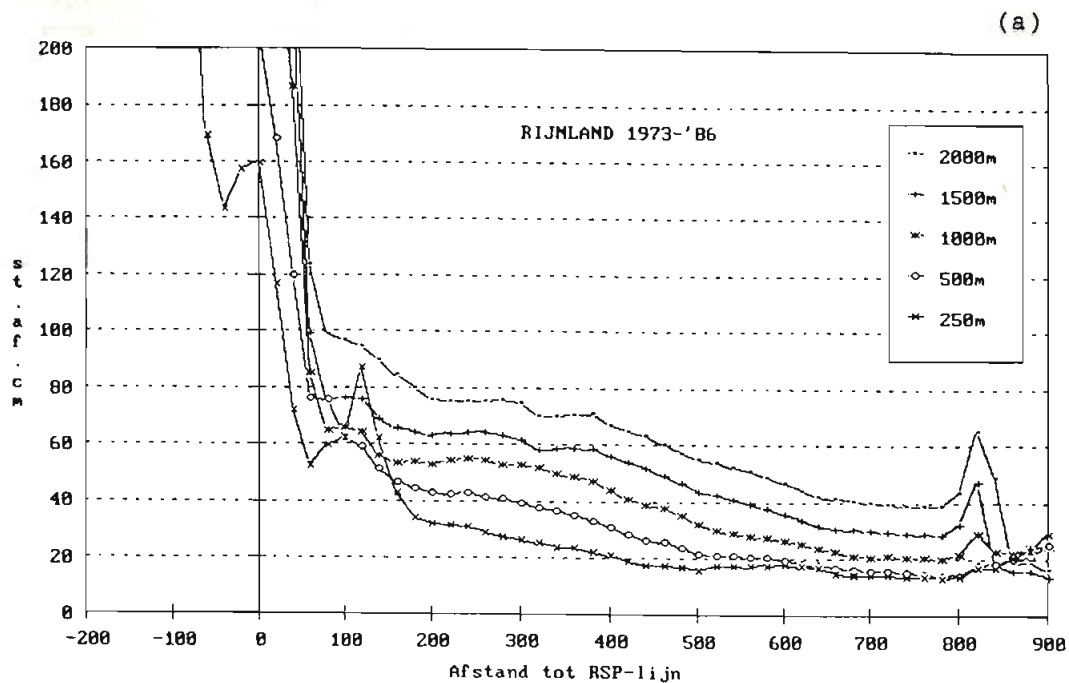


Fig. 4.5. Ruimtelijke interpolatie van de kustmetingen in langsrichting van de kust, als functie van de afstand tot de RSP-lijn voor (a) kustvak Rijnland en (b) kustvak Texel.

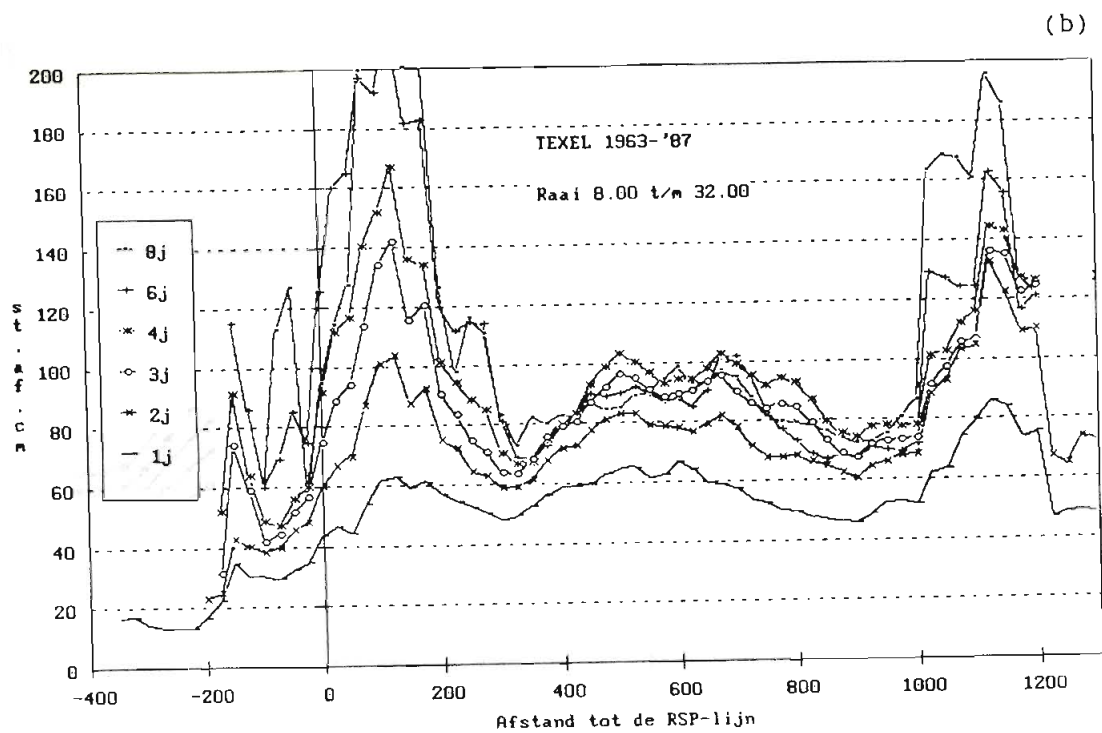
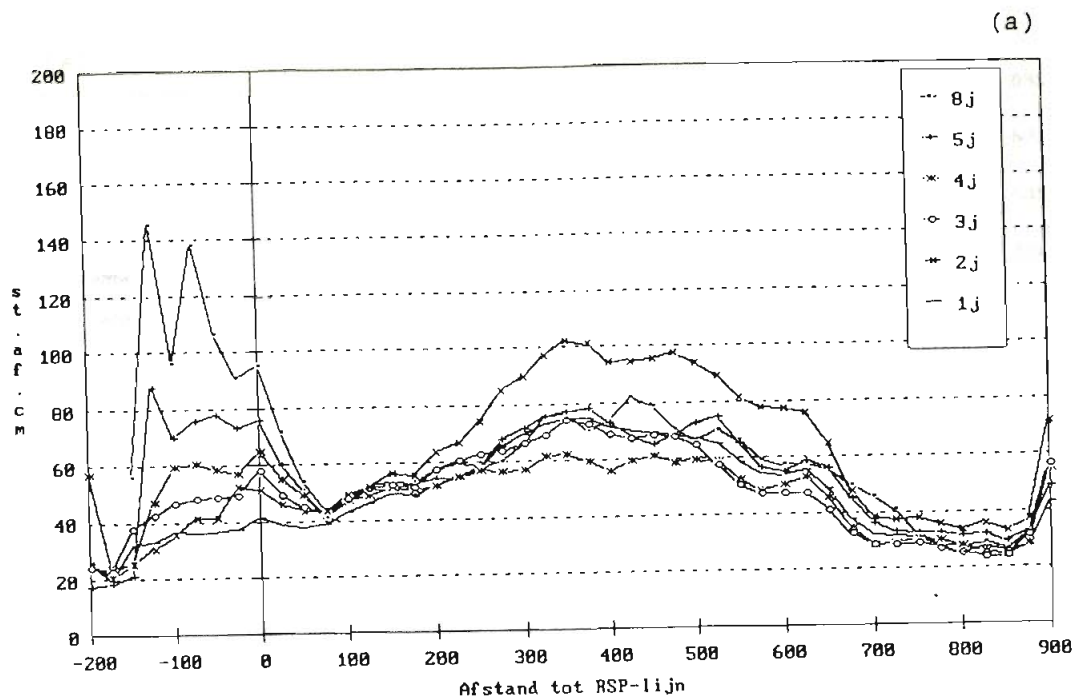


Fig. 4.6. Interpolatie in de tijd van de kustmetingen, als functie van de afstand tot de RSP-lijn voor (a) kustvak Rijnland en (b) kustvak Texel.

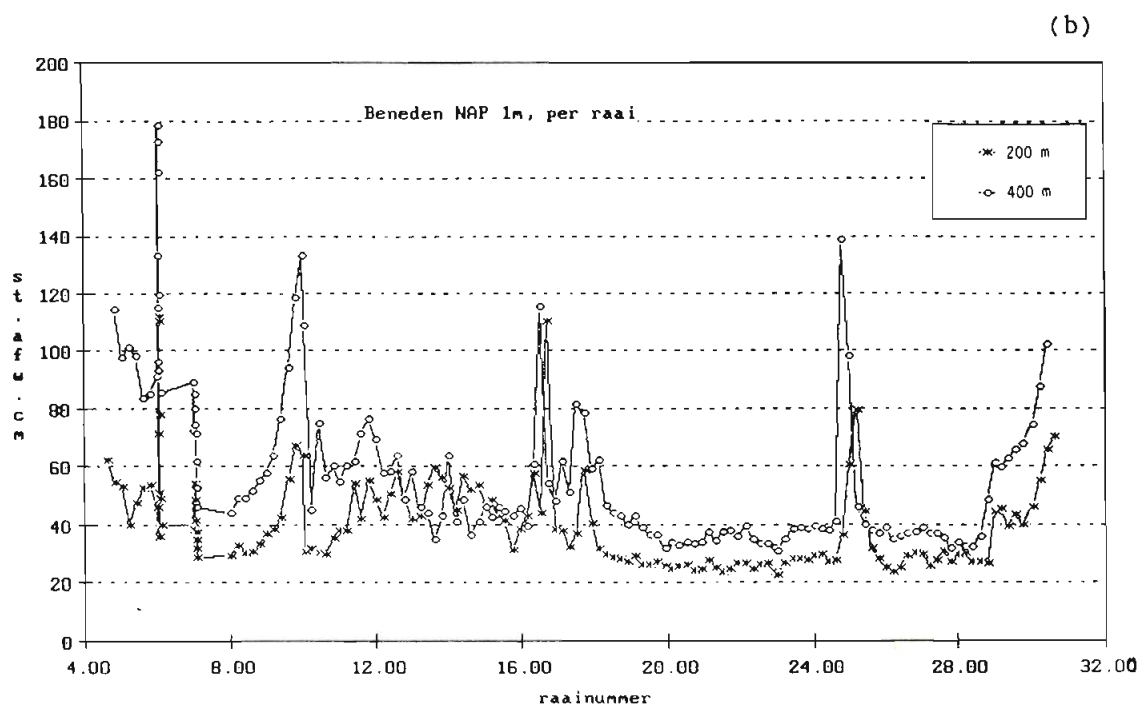
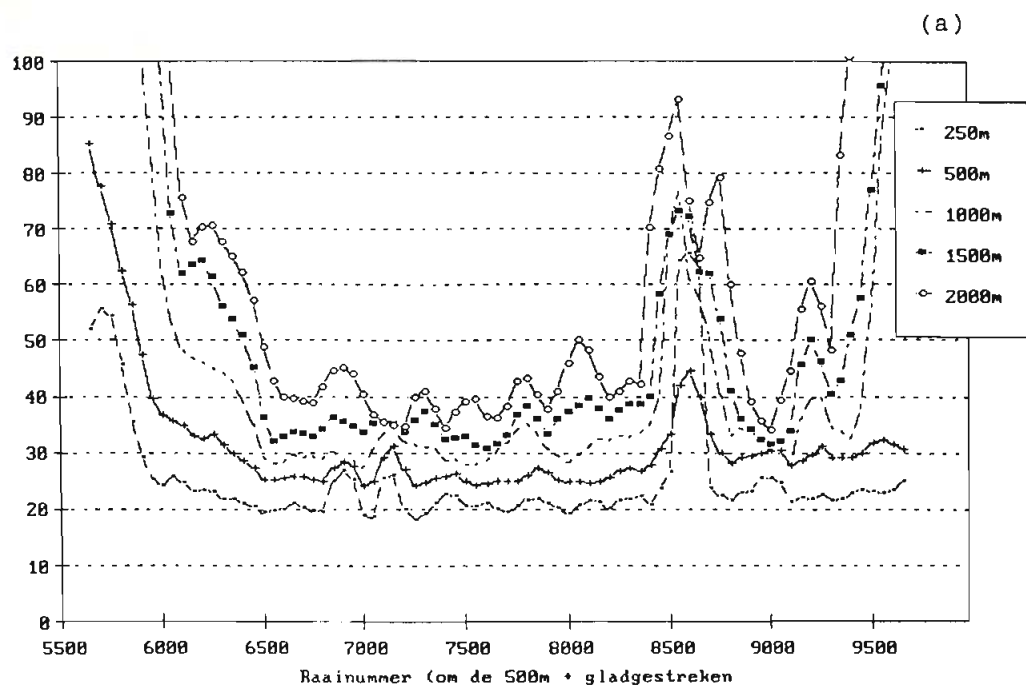


Fig. 4.7. Ruimtelijke interpolatie beneden NAP+1m in langsrichting van de kust als functie van het raainummer voor (a) kustvak Rijnland en (b) kustvak Texel.

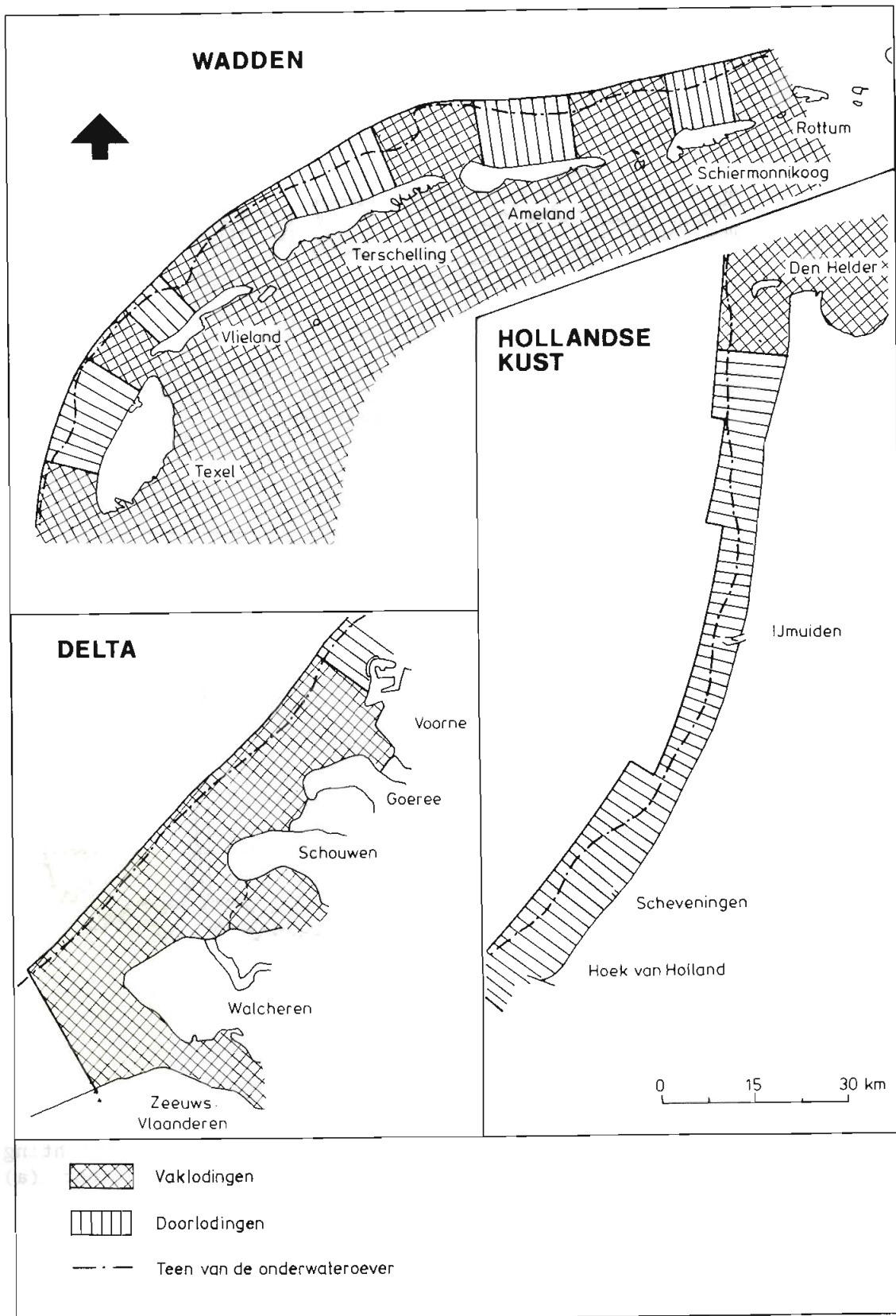


Fig. 4.8. Gebiedsindeling voor vakkeringen en doorlodingen.

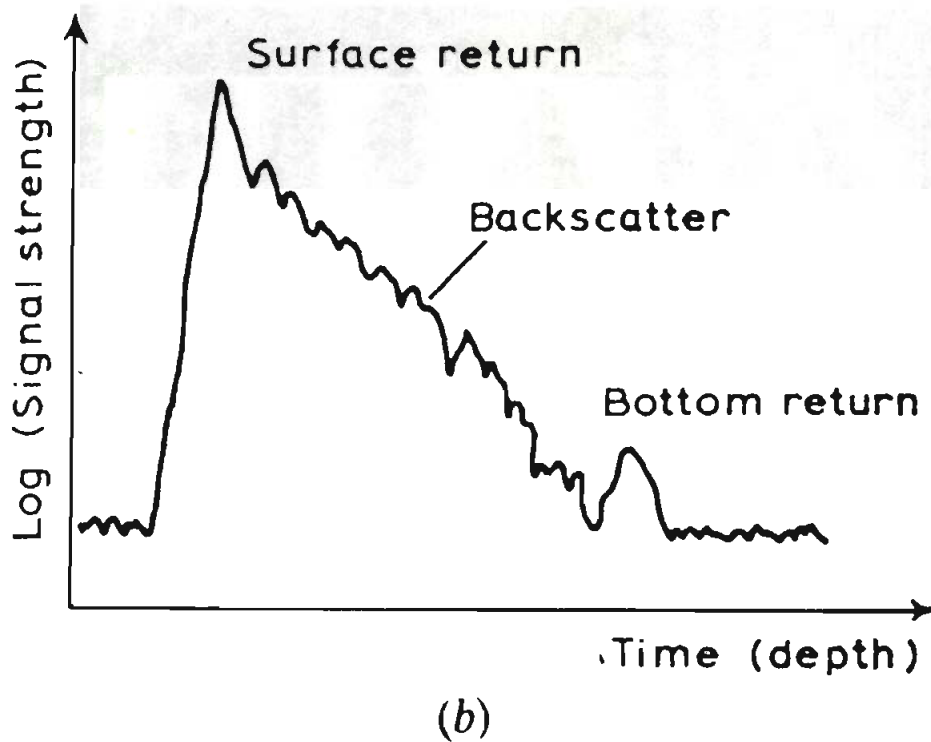
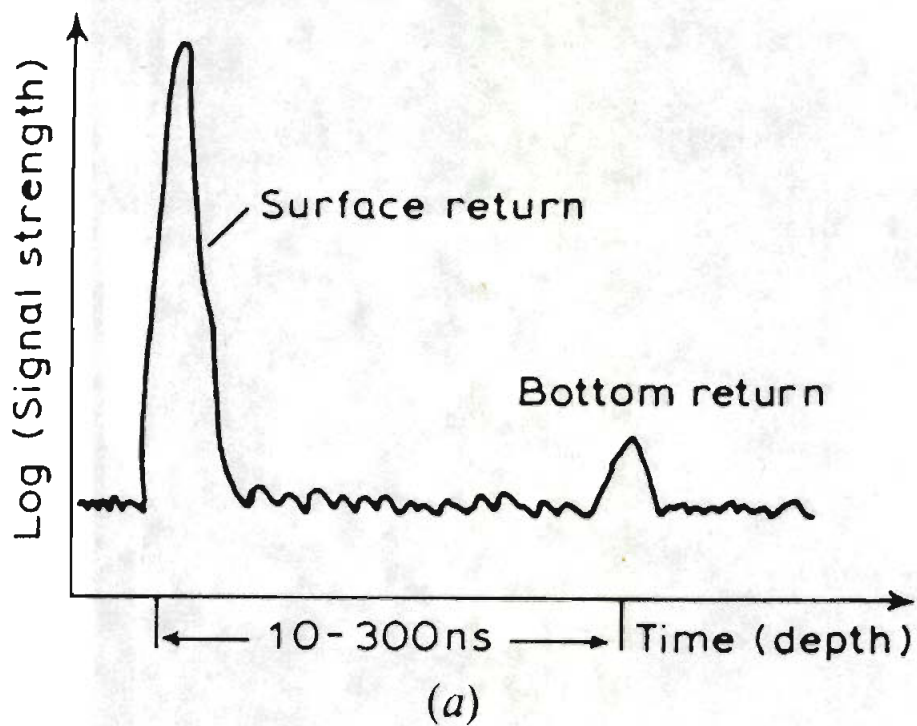
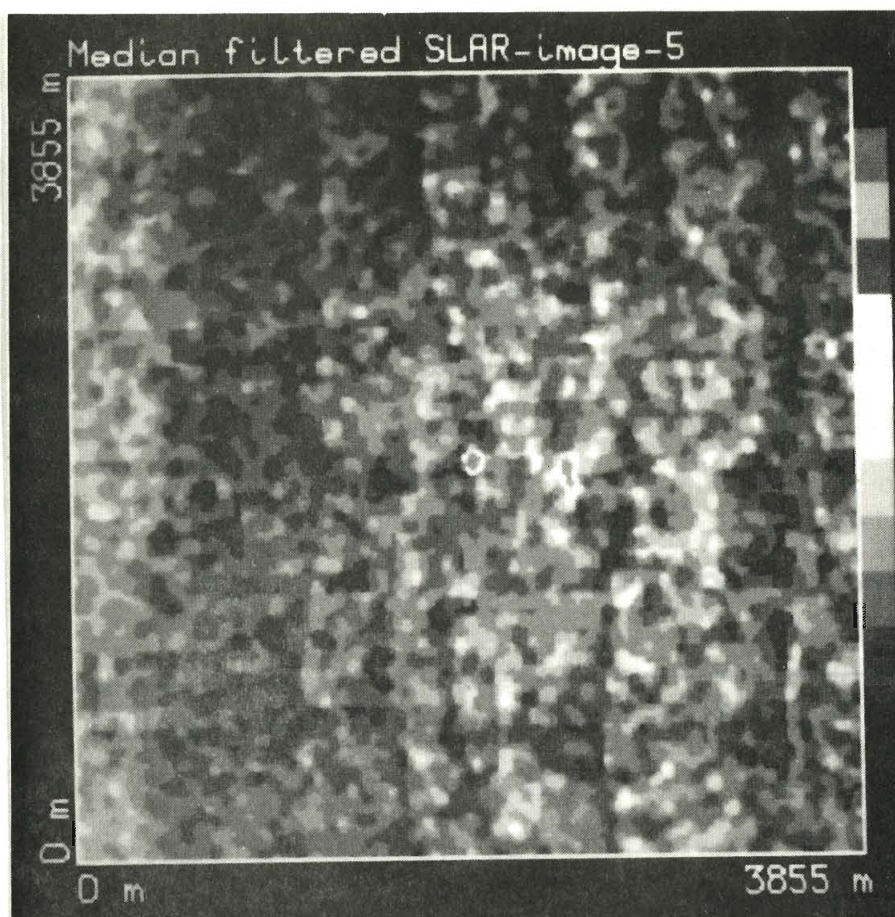


Fig. 6.1. Geïdealiseerd lasersignaal geregistreerd door een LIDAR-systeem voor (a) helder water en (b) troebel water.

Fig. 6.2.a,b.



a.
radarbeeld
"Noordwijk".



b.
bodemkaart
"Noordwijk".