

Evaluatie 'Slufter' 1986 - 2001

**Deelrapport Bodemligging en
Bodemsamenstelling**

9 april 2002

Evaluatie 'Slufter' 1986 - 2001

**Deelrapport Bodemligging en
Bodemsamenstelling**

9 april 2002

auteur: G. van Holland
Alkyon Hydraulic Consultancy & Research

datum: april 2002

Alkyon rapport A835

Inhoudsopgave

	Lijst van tabellen	
	Lijst van figuren	
1	Inleiding	7
2	Overzicht gebruikte gegevens	10
2.1	Bodemligging van zeebodem en strand	10
2.2	Slibfractie en mediane korreldiameter	10
2.3	Hydrologische omstandigheden	12
3	Methoden en technieken	13
3.1	Opzet van het onderzoek	13
3.2	Nadere afbakening studiegebied	13
3.3	Relaties met de andere deelonderzoeken	15
3.4	Aanpak van de analyses	16
4	Veranderingen 1986 - 2001	20
4.1	Menselijke ingrepen in het systeem	20
4.2	Grootschalige morfologische veranderingen	21
4.2.1	Morfologie	21
4.2.2	Sedimentbalans	23
4.2.3	Arealen	26
4.2.4	Bodemsamenstelling	29
4.3	Gedetailleerde beschrijving van de vijf deelgebieden	31
4.3.1	Omgeving Hindergat	31
4.3.2	Omgeving Slufterdam	34
4.3.3	Omgeving Bokkegat	37
4.3.4	Omgeving Brielse Gat	41
4.3.5	Omgeving Voorne	44
4.4	Enkele analyses ten behoeve van de andere deelonderzoeken	47
5	Vergelijking van in 1984 voorspelde ontwikkelingen met waargenomen veranderingen	49
5.1	Evaluatie van de voorspellingen uit MER	49
5.2	Conclusies	55
6	Evaluatie: oorzaken van veranderingen en de rol van de 'Slufter' daarin	57
6.1	Tijd- en ruimteschalen	57
6.2	Grootschalige morfologie	57
6.3	Per deelgebied	59
6.4	Conclusies	62
7	Evaluatie monitoringprogramma	64
8	Conclusies en aanbevelingen	66
8.1	Conclusies	66
8.2	Aanbevelingen	68

Lijst van tabellen

Tabel 2.1	Digitaal beschikbare opnames van de bodemligging
Tabel 2.2	Digitaal beschikbare opnames van de bodemsamenstelling
Tabel 4.1	Ongecorrigeerde arealen (ha) voor de periode 1970 – 2000
Tabel 5.1	Hellingen evenwichtsprofiel en aanlegprofiel
Tabel A.1	Overzicht grote werken in het gebied
Tabel A.2	Gebaggerde hoeveelheden in het Slijkgat 1983 – 1998
Tabel A.3	Suppleties uitgevoerd op de Kop van Goeree 1969 – 1985
Tabel A.4	Suppleties uitgevoerd op de kust van Goeree 1970 – 1998
Tabel A.5	Suppleties uitgevoerd op de kust van Voorne 1973 – 1987
Tabel A.6	Suppleties uitgevoerd op Slufterdam 1991 – 2001
Tabel A.7	Gebaggerde hoeveelheden in de Euro-Maasgeul 1985 - 1998
Tabel B.1	Hoogste, gemiddelde en laagste etmaalgemiddelde spuidebieten per jaar (oktober – september) in de periode 1986 - 2000
Tabel B.2	Hoogste voorkomende golven per jaar (juli – juni) in de periode 1986 – 2001, met bijbehorende periode, richting en windsnelheid.

Lijst van figuren

Figuur 1.1	Plaatsnamenkaart monding Haringvliet
Figuur 2.1	Bodemligging 1970, isolijnen 1957, Bron RIKZ
Figuur 2.2	Bodemligging 1979, isolijnen 1972, Bron RIKZ
Figuur 2.3	Bodemligging 1986, isolijnen 1980, Bron RIKZ
Figuur 2.4	Bodemligging 1990, isolijnen 1970, Bron RIKZ
Figuur 2.5	Bodemligging 1995, isolijnen 1994, Bron RIKZ
Figuur 2.6	Bodemligging 2000, isolijnen 1999, Bron RIKZ
Figuur 2.7	Korrelgrootte (D50) in het jaar 1985 (bodem 1986)
Figuur 2.8	Korrelgrootte (D50) in het jaar 1989 (bodem 1990)
Figuur 2.9	Korrelgrootte (D50) in het jaar 1994 (bodem 1994)
Figuur 2.10	Korrelgrootte (D50) in het jaar 2000 (bodem 2000)
Figuur 2.11	Slibgehalte (%) in het jaar 1985 (bodem 1986)
Figuur 2.12	Slibgehalte (%) in het jaar 1989 (bodem 1990)
Figuur 2.13	Slibgehalte (%) in het jaar 1994 (bodem 1994)
Figuur 2.14	Slibgehalte (%) in het jaar 2000 (bodem 2000)
Figuur 3.1	Ligging balansvakken, Bron Steijn e.a. 2001
Figuur 3.2	Gebiedsgrenzen voor bepaling arealen, Bron Steijn e.a. 2001
Figuur 4.1*	Suppleties op de Slufterdam (1987 – 2001)
Figuur 4.2*	Ontwikkeling van de natte doorsnede van diverse geulen (Eysink 1990 en Arends 1997)
Figuur 4.3*	Verandering van het sediment-volume in het balansvak Zuid (Tönis 2001)
Figuur 4.4*	Verandering van het sediment-volume in de balansvakken Ondiep Noord, Ondiep Zuid, Diep Noord en Diep Zuid
Figuur 4.5*	Exponentieel afnemende trend in het sediment-volume in de balansvakken Ondiep Noord en Ondiep Zuid
Figuur 4.6*	Berekende volumeveranderingen voor zand en slib in het balansvak Ondiep Zuid (Steijn e.a. 2001)
Figuur 4.7a*	Gemeten arealen (1970 – 2000) in m tov NAP
Figuur 4.7b*	Gemeten arealen (1970 – 2000) in m tov NAP
Figuur 4.8*	Gemiddelde waarde slibgehalte en mediane korreldiameter voor het Mondingsgebied
Figuur 4.9*	Morfologie omgeving Hindergat (1970 – 2000)
Figuur 4.10*	Ontwikkeling maximale diepte Hindergat ten opzichte van NAP
Figuur 4.11*	Morfologie omgeving Slufterdam (1970 – 2000)
Figuur 4.12*	Verandering hoek tussen de Strandhaak en de Slufterdam
Figuur 4.13	Verschilbodem 2000 – 1986, isolijnen 2000
Figuur 4.14	Verschilbodem 1990 – 1986, isolijnen 2000
Figuur 4.15	Verschilbodem 1995 – 1990, isolijnen 2000
Figuur 4.16	Verschilbodem 2000 – 1995, isolijnen 2000
Figuur 4.17	Gemeten profielen JARKUS-raai 941 1988 t/m 2000
Figuur 4.18*	Morfologie omgeving Bokkegat (1970 – 2000)
Figuur 4.19*	a) Ontwikkeling diepte zeezijde Hinderplaat, b) Ontwikkeling diepte binnenzijde Hinderplaat (diepte ten opzichte van NAP)
Figuur 4.20*	a) Ontwikkeling maximale diepte Bokkegat, b) Ontwikkeling hoogte Hinderplaat (ten opzichte van NAP)
Figuur 4.21*	Ontwikkeling diepte Garnalenplaat (ten opzichte van NAP)
Figuur 4.22*	Morfologie omgeving Brielse Gat (1970 – 2000)

Figuur 4.23*	Gemiddelde waarde slibgehalte en mediane korreldiameter op de Westplaat
Figuur 4.24*	Morfologie omgeving Voorne (1970 – 2000)
Figuur 4.25	Gemeten profielen JARKUS-raai 1003 1988 t/m 2000
Figuur 4.26*	Ontwikkeling bodemdiepte Rak van Scheelhoek
Figuur 4.27*	Gemiddelde waarde slibgehalte en mediane korreldiameter voor de kust van Voorne
Figuur 4.28	Slibgehalte (%) voor diverse raaien, NW-kust van Voorne, raai 6.400 t/m 8.000
Figuur 4.29	Slibgehalte (%) voor diverse raaien, NW-kust van Voorne, raai 8.400 t/m 10.000
Figuur 4.30	Korrelgrootteverdeling (D50) voor diverse raaien, NW-kust van Voorne, raai 6.400 t/m 8.000
Figuur 4.31	Korrelgrootteverdeling (D50) voor diverse raaien, NW-kust van Voorne, raai 8.400 t/m 10.000
Figuur 4.32	Bodemschuifspanning, 1986
Figuur 4.33	Bodemschuifspanning, 2000
Figuur 4.34*	a) Verloop waterstanden in het Brielse Gat, b) bijbehorende overschrijdings-kromme uitgedrukt in de droogvalduur
Figuur 4.35	Droogvaltijd in minuten, bodem 1986
Figuur 4.36	Droogvaltijd in minuten, bodem 2000
Figuur 5.1*	Dwarsprofielen van de Slufterdam JARKUS-raai 976
Figuur B.1	Afvoer door de Haringvlietsluizen 1986 – 2000
Figuur B.2a	Golfrozen juli 1986 t/m juni 1992, Europlatform
Figuur B.2b	Golfrozen juli 1992 t/m juni 1998, Europlatform
Figuur B.2c	Golfrozen juli 1998 t/m juni 2000, Europlatform

De figuren met een * zijn in de tekst opgenomen.

1 Inleiding

In de jaren 1986 en 1987 is aan de zeezijde van het Rotterdamse havengebied (zie figuur 1.1) de 'Grootschalige locatie voor de berging van baggerspecie' aangelegd. Het depot - vaak kortweg 'Slufter' of baggerslibberging genoemd - is aangelegd voor de berging van verontreinigde baggerspecie uit de Rotterdamse havens en uit het benedenrivierengebied. Het is in september 1987 in gebruik genomen. Voorafgaand aan het besluit tot aanleg is in 1984 een Projectnota/MER opgesteld, waarin te verwachten milieueffecten als gevolg van aanleg werden verwacht. Bij de concessieverlening is destijds als voorwaarde gesteld dat mogelijke effecten van de aanleg gedurende een periode van dertig jaar zouden worden gemonitord; hierdoor zouden onverwachte en ongewenste ontwikkelingen tijdig kunnen worden gesignaleerd en maatregelen kunnen worden genomen. Sinds de aanleg worden daarom de ontwikkelingen in een aantal parameters in de omgeving gemonitord en zijn op basis van deze gegevens evaluatierapporten uitgebracht over de perioden 1986 tot en met 1990 en 1986 tot en met 1996. In 2002 wordt een derde evaluatierapport opgesteld dat betrekking heeft op de periode 1986 tot en met 2001. Als basis hiervoor worden over de ontwikkelingen in de verschillende gemonitorde parameters aparte studies uitgevoerd waarvan de resultaten in een viertal deelrapporten worden weergegeven.

In dit deelrapport worden de resultaten van het onderzoek met betrekking tot de veranderingen in bodemligging en bodemsamenstelling in en rond de 'Slufter' gepresenteerd. Om de veranderingen in de monding van het Haringvliet te verklaren kunnen bodemsamenstelling en bodemligging niet onafhankelijk van elkaar worden beschouwd. Daarom zijn de evaluaties betreffende de bodemveranderingen en de bodemsamenstelling geïntegreerd in één deelrapport.

De andere drie deelrapporten hebben betrekking op:

- Bodemdieren,
- Foeragerende kustvogels, broedvogels en zeezoogdieren,
- Vegetatie en flora.

De deelonderzoeken zijn technisch van aard. Na afronding van de verschillende deelstudies worden de resultaten gebundeld en op een toegankelijke manier voor een breder publiek gepresenteerd in een hoofdrapport, de derde evaluatie sinds de aanleg van de 'Slufter'.

Onderzoeksvragen

De volgende door de opdrachtgever gestelde onderzoeksvragen zijn leidend geweest in de uitgevoerde evaluatie:

Morfologie:

- Zijn er veranderingen in de kustlijnligging waardoor het kustonderhoud toeneemt (bijvoorbeeld Groene Punt van Voorne)?

- Zijn er nieuwe morfologische ontwikkelingen opgetreden waardoor de landschappelijke waarde van het gebied is gewijzigd (bijvoorbeeld strandhaak en natuurbouwproject de Kleine Slufter)?
- Wat is de verandering van de oppervlakte van specifieke diepte- en hoogtezones (bijvoorbeeld de oppervlakte van slikken en schorren)?
NB: Ecologie en landschap komen hier niet aan de orde.

Bodemsamenstelling:

- Is het slibgehalte veranderd (bijvoorbeeld op het Strand van Voorne) en wat is hiervan het gevolg?
- Zijn er veranderingen in de verhouding zand / slib?
- Is de korrelgrootteverdeling in de monding van het Haringvliet veranderd en zo ja hoe?

Ook in de Projectnota/MER (1984) zijn onderzoeksvragen geformuleerd. De doelstelling van de Projectnota/MER ten aanzien van de kustmorfologie werd als volgt omschreven:

- Bepalen van de morfologische consequenties met betrekking tot ontwerp, aanleg en onderhoud;
- Bepalen van de invloed van het aanleggen van het depot op de directe omgeving, geulen en platen, zeebodem, en kust van Voorne en Goeree.

Om deze vragen te beantwoorden komen in de Projectnota/MER (1984) de volgende aspecten aan de orde:

- De morfologische ontwikkeling van de Slufterkust
- Dwarsprofiel Slufterdam
- Stabiliteit ligging Hindergat
- Morfologie van het studiegebied na een periode van 20 jaar
- Verwachte aanslibbing
- Effecten op de kust van Voorne
- Invloed van de aanleg op het Slikgat en kust van Goeree

De bevindingen uit de Projectnota/MER zullen worden vergeleken met de opgetreden veranderingen gedurende de periode 1986 tot 2001 (hoofdstuk 5).

Vanuit de andere deelonderzoeken wordt gebruik gemaakt van de resultaten van de analyses uit het voorliggende deelonderzoek. Er zijn vanuit de andere deelonderzoeken geen additionele onderzoeksvragen geformuleerd.

Afbakening studiegebied

Het studiegebied wordt beperkt tot het invloedsgebied van de Slufterdam. Dit gebied strekt zich globaal uit van de Zuiderdam tot en met de Hinderplaat, en van het gebied zeewaarts van de Hinderplaat tot en met het Brielse Gat.

Het samenspel tussen de kust van Goeree, het Slikgat en het zuidelijk deel van de Garnalenplaat wordt als een opzichzelfstaand systeem beschouwd. Er wordt verondersteld dat dit systeem niet door de aanleg van de 'Slufter' is beïnvloed. Ook in de Projectnota/MER (1984) wordt geen invloed van de aanleg van de 'Slufter' op de kust van Goeree verwacht. De veranderingen van het Slikgat, de kust van Goeree en Rockanje, en het gebied voor de Haringvlietluizen zullen daarom in deze evaluatie niet worden geanalyseerd. Hiervoor wordt verwezen naar andere literatuur zoals Van Vessem (1998) en Arends (1997). Omdat in de Projectnota/MER wel aandacht wordt besteed aan het Slikgat en de kust van Goeree, wordt bij de evaluatie van de Projectnota/MER (hoofdstuk 5) hierop toch, zij het beknopt, ingegaan.

Leeswijzer

In de vier deelonderzoeken wordt zoveel mogelijk dezelfde werkwijze gevolgd. In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van beschikbare basisgegevens en bronnen, en van relevante methodologische aspecten.

In hoofdstuk 3 worden de in het deelonderzoek gebruikte aanpak en methoden nader toegelicht.

Op basis van de beschikbare data, en van de bevindingen en analyses die beschikbaar zijn in de literatuur worden de veranderingen in het gebied in kaart gebracht (hoofdstuk 4). Centraal hierbij staat een zo direct en inzichtelijk mogelijke weergave van gebleken veranderingen in de parameters zoals deze zijn gemonitord; er worden nog geen verklaringen gezocht of verbanden gelegd.

Vervolgens worden in hoofdstuk 5 de veranderingen vergeleken met de voorspelde ontwikkelingen zoals gerapporteerd in de projectnota / MER (1984, 1985). Met behulp van de huidige inzichten zijn de verschillen toegelicht.

In hoofdstuk 6 wordt door middel van een denkmodel ingegaan op de ontwikkeling van de morfologie van de Haringvlietmond en de rol die de aanleg van de 'Slufter' daarin heeft gespeeld. Waar mogelijk worden hiertoe ontwikkelingen in verschillende parameters met elkaar in verband gebracht, maar de uiteindelijke basis voor conclusies over oorzaken van veranderingen berust op deskundigenoordeel.

In hoofdstuk 7 wordt een evaluatie van het monitoringprogramma gegeven.

Hoofdstuk 8 geeft een overzicht in de vorm van samenvattende conclusies en aanbevelingen.

2 Overzicht gebruikte gegevens

2.1 Bodemligging van zeebodem en strand

Van de volgende jaren zijn van de opdrachtgever digitale data van de bodemligging van de Haringvlietmond ontvangen (zie tabel 2.1). In figuur 2.1 tot 2.6 is hiervan een selectie gepresenteerd:

jaar	1957	1964	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
Monding	x	x	x									x	x				
jaar	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Monding		x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

tabel 2.1 Digitaal beschikbare opnames van de bodemligging

Bij aanvang van het evaluatieprogramma is een gebied afgebakend waarbinnen de invloed van de 'Slufter' verwacht werd. Binnen dit gebied vonden de metingen plaats. Het ingemeten gebied beslaat het mondingsgebied, het gebied rond de Hinderplaat en een zone rond de Slufterdam en strekt zich afwisselend circa 5 tot 10 kilometer zeewaarts uit.

Voor dit gebied zijn echter alleen volledig dekkende kaarten beschikbaar voor de jaren 1970, 1972, 1980, 1986, 1991 en 1995. De overige jaren (1979, 1989, 1990, 1992 – 1994 en 1996 – 2000) zijn aangevuld met zo relevant mogelijke dieptegegevens uit andere jaren.

Het Brielse Gat is niet alle jaren even gedetailleerd gepeild. Van de jaren 1997 tot en met 2000 zijn voor de Westplaat en het achterliggende schorregebied geen metingen beschikbaar. Van enkele jaren zijn wel metingen van de Noordkust van Goeree en het gebied zeewaarts van de Zuiderdam beschikbaar.

De data zijn aangeboden op een 20 m bij 20 m rooster en is samengesteld en geïnterpoleerd uit diverse bronnen, zoals lodingsdata en Jarkus-raaien. In het algemeen zijn de bodems gepeild in de zomermaanden (globaal april t/m augustus). De metingen zijn verricht langs raaien met een afstand variërend tussen de 125 m en 250 m (De Looff 1991).

De kwaliteit is in het algemeen goed. Er moet met een onnauwkeurigheid van circa 10 tot 20 cm rekening gehouden worden. Van de bodem van 1993 is bekend dat ter plaatse van de Hinderplaat het resultaat van de meting zeer onwaarschijnlijk is (Roelvink e.a. 1998).

2.2 Slibfractie en mediane korreldiameter

Metingen van de slibfractie en de mediane korreldiameter hebben onderdeel uitgemaakt van verschillende bemonsteringscampagnes:

- Ten behoeve van de evaluatie van de 'Slufter' zijn in het gehele gebied rondom de 'Slufter' metingen verricht. Vóór de aanleg (1985) is een referentiemeting uitgevoerd (137 meetpunten). In de daaropvolgende jaren (1986, 1987 en 1989) is het bemonsteringsrooster uitgedund tot circa 100 meetpunten. In de evaluatienota van De Looff (1991) wordt geadviseerd elke twee jaren een meting uit te voeren (zie tabel 2.2). De gegevens van 1996 zijn niet digitaal beschikbaar. Na 1990 is afgeweken van het originele bemonsteringsrooster en is een nieuw bemonsteringsrooster, met een willekeurige verdeling van monsterpunten, gekozen. De bemonstering van 2000 vond plaats tussen 1 en 25 september 2000 en is uitgevoerd met een grote "van Veen-happer" (Sisternans e.a. 2001).
- Ten behoeve van de evaluatie van de 'Slufter' is tevens de ontwikkeling van het strand van Voorne bemonsterd. Tot en met 1990 zijn metingen uitgevoerd langs acht raaien (raai 6400 t/m raai 10000), met vijf monsterpunten in elke raai (duinvoet, hoogwaterlijn, laagwaterlijn en twee punten daar tussen in); na 1990 is het aantal raaien uitgedund tot vier (raai 6400 t/m 8000). In 1991 en 1997 is geen bemonstering uitgevoerd; 1994 en 1998 zijn niet digitaal beschikbaar (zie tabel 2.2). In tegenstelling tot de aanbevelingen uit het rapport van De Looff (1991) zijn raaien 8400 t/m 10000 na 1990 niet meer regelmatig bemonsterd, of niet digitaal beschikbaar.
- Om na te gaan in hoeverre de korrelgrootteverdeling van het sediment op de Westplaat is veranderd zijn in 1988, 1989, 1996, 1998 en 2000 monsters (circa 50 punten gemiddeld, 91 punten in 2000) genomen. De hogere delen van de Westplaat zijn niet bemonsterd.

De korrelverdeling van de verschillende fracties zijn met behulp van een *Malvern Particle Size Analyzer* (300 mm lens) bepaald. Zie voor meer informatie Craeymeersch e.a. (1996) en Sisternans e.a. (2001).

jaar	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Monding	x	x	x		x			x		x				x		x
Strand Voorne		x	x	x	x	x		x	x		x	x			x	x
Westplaat				x	x							x		x		x

tabel 2.2 Digitaal beschikbare opnames van de bodemsamenstelling

Bij de opname in september 1989 zijn op het strand van Voorne speciaal monsters gestoken om de homogeniteit van de bodem rondom een monsterpunt te bepalen. De gemiddelde standaardafwijking bedroeg voor het slibgehalte 0,6% en voor de korreldiameter 8 μm . Voor de korrelgrootteverdeling wordt een nauwkeurigheidsmarge aangehouden van 16 μm ($=2\sigma$), voor het slibgehalte 1,2% ($=2\sigma$). Aangezien dergelijke gegevens voor de andere twee gebieden en voor andere jaren ontbreken worden deze nauwkeurigheidsmarges gemakshalve voor het gehele mondingsgebied verondersteld.

In diverse figuren is een selectie van de beschikbare metingen uit tabel 2.2 gepresenteerd. De korreldiameter (figuur 2.7 tot 2.10) is weergegeven door middel van een lineaire schaalverdeling. Hoge waarden voor de korreldiameter zijn weergegeven in de rode tinten, lage waarden voor de korreldiameter in groene tinten. Het slibgehalte (figuur 2.11 tot 2.14) is weergegeven in een verlopende schaalverdeling. Om het onderscheid in de lage slibgehalten (oranje/geel) zichtbaar te maken zijn de klassengrenzen dicht bij elkaar gekozen. Voor de hoge slibgehalten (groen) zijn de klassen groter.

2.3 Hydrologische omstandigheden

De volgende waarnemingen zijn gerelateerd aan de meteorologische omstandigheden. Het betreft de afvoer van regen- en smeltwater door de Haringvlietsluizen alsmede de golven en waterstanden door wind en getij:

- **Debeten door de Haringvlietsluizen**
Voor deze studie hebben wij de beschikking over dagelijks gemiddelde debietgegevens voor de jaren 1986 t/m 2000 (zie ook figuur B.1 in bijlage B). De gegevens worden op basis van een eenvoudig model berekend uit waterstanden vóór en achter de sluizen en de grootte van de opening.
- **Uurlijkse golf- en waterstandsgegevens van Euro platform.**
Voor de periode januari 1986 t/m december 2001 hebben we de beschikking over significante golfhoogte H_{m0} , gemiddelde golfperiode T_{m02} en de gemiddelde golfrichting $Th0$ gemeten bij het Euro platform. Voor de periode t/m december 1998 hebben we tevens de beschikking over de gemiddelde windsnelheid en richting. De golfgegevens zijn gemeten met een directionele golfmeetboei (voorheen een WAVEC-boei, vanaf januari 2001 een Directional Waverider). Om technische redenen is de uitval in de jaren 1986 t/m 1990 vrij hoog (30 tot 60 procent); vanaf 1990 is de dekking volledig. In figuur B.2 in bijlage B zijn metingen gevisualiseerd door middel van golfrozen.

Voor meer informatie aangaande de meteorologische omstandigheden zie bijlage B.

3 Methoden en technieken

3.1 Opzet van het onderzoek

De kern van het onderzoek betreft de vraag welke veranderingen in de bodemligging respectievelijk in de bodemsamenstelling zijn veroorzaakt door de aanwezigheid van de 'Slufter'. Hiertoe hebben we geprobeerd deze effecten te onderscheiden van de veranderingen die op dat moment al gaande waren, bijvoorbeeld geïnitieerd door de afdamming van het Haringvliet in 1970.

Om de omvang van het studiegebied enigszins te beperken is een nadere afbakening gemaakt waarbij deelgebieden worden onderscheiden. Aan de hand van een kwalitatieve analyse van golven, getijbeweging en sedimenttransporten is een gebied geselecteerd dat binnen de invloedssfeer van het Slibdepot ligt (paragraaf 3.2). Binnen het studiegebied zijn vijf deelgebieden aangewezen waarbinnen de morfologische ontwikkelingen veel samenhang vertonen.

De evaluaties van de bodemligging en de bodemsamenstelling, zoals hier gerapporteerd, zijn uitgevoerd als min of meer zelfstandige onderzoeken. De bevindingen zijn echter ook relevant en zijn ook als zodanig als 'input' gebruikt voor overige deelonderzoeken, zoals bodemdieren en vegetatie. In de analyse van de veranderingen is ten behoeve van deze deelonderzoeken extra aandacht geschonken aan de ontwikkeling van de Westplaat en het strand van Voorne.

De relaties met de andere deelonderzoeken zijn toegelicht in paragraaf 3.3.

De veranderingen (en later ook de evaluaties) zijn op verschillende ruimteschalen bestudeerd:

- als eerste het gehele studiegebied in grote lijnen,
- vervolgens in detail een vijftal deelgebieden, en
- tenslotte zijn analyses uitgevoerd ter ondersteuning van de overige deelonderzoeken (bodemdieren en vegetatie).

De toegepaste analysemethoden staan beschreven in paragraaf 3.4.

Bij het in kaart brengen van de veranderingen in het gebied (hoofdstuk 4) hebben we gebruik gemaakt van de beschikbare data, en van de bevindingen en analyses die beschikbaar zijn in de literatuur. Regelmatig zijn in het kader van het Project Mainportontwikkeling Rotterdam (PMR) studies uitgevoerd, zie bijvoorbeeld Roelvink e.a. (1998) en Steijn e.a. (2001). De historische ontwikkeling van de monding van het Haringvliet vormde bij deze studies het uitgangspunt.

3.2 Nadere afbakening studiegebied

Het studiegebied is beperkt tot het invloedsgebied van de Slufterdam. Op basis van inzichten uit voorgaande studies is een nadere afbakening van het studiegebied gemaakt. Aan de hand van een kwalitatieve beschouwing van de fysische processen in het gebied (golven, getijbeweging en

sedimenttransporten) zijn gebieden geselecteerd die mogelijk binnen de invloedssfeer van het Slibdepot liggen.

Golven

Doordat golven sediment opwoelen zijn ze een belangrijke generator van het sedimenttransport en dus van invloed op de morfologische ontwikkeling van het gebied. Tegelijkertijd verhogen golven de (hydro-)dynamiek in de (ondiepe) kustgebieden. Hier hangt ondermeer vanaf of vegetatie en bodemdieren in staat zijn zich te vestigen.

Windgolven van zee zijn de belangrijkste bijdrage aan de golfdynamiek in het mondingsgebied. Lokaal opgewekte golven leveren vanwege de geringe strijklengten slechts een kleine bijdrage. Reflectie en diffractie zijn niet van belang; bodemwrijving en breken zijn van groot belang. De hoogste golven komen uit noordwestelijke richting; de meest voorkomende golfrichting is zuidwest. Wanneer de bodem geleidelijk ondieper wordt draaien de golven bij richting kust (refractie).

De aanleg van de 'Slufter' heeft gezorgd voor selectieve afscherming van de windgolven van zee, maar ook van de wind zelf. De gebieden die door de 'Slufter' worden afgeschermd zijn het Brielse Gat, de Westplaat, en de Noordwest-kust van Voorne inclusief de Groene Punt. Het gebied tussen de Hinderplaat en de Groene Punt wordt in mindere mate afgeschermd.

Getij

Effecten van het getij manifesteren zich in stroomsnelheden en waterstanden. Omdat de getijstromen het door golven of stroming opgewoelde zand vervoeren spelen ze een belangrijke rol in de morfologische ontwikkeling van het gebied. Het verschil tussen hoog- en laagwater bepaalt in combinatie met de lokale bodemligging de droogvalperiode en het oppervlak van het intergetijdegebied, belangrijk voor vogels, bodemdieren en vegetatie. Ook stroomsnelheden zijn voor deze groepen van belang.

Afhankelijk van de fase van het getij treedt er een instroming, een uitstroming of een rondstroming van water op door de verschillende geulen die het gebied achter de Hinderplaat ontsluiten. Na de aanleg van de Slufterdam is de functie van het Gat van de Hawk overgenomen door het zuidelijker gegraven Hindergat. Hierdoor is de aanstroming richting het gebied achter de Hinderplaat veranderd. Dit heeft mogelijk de (rond-)stromingspatronen, en dus de eb- en vloedvolumina van de diverse geulen rond de Hinderplaat, beïnvloed. Op termijn heeft dit mogelijk effect op de ontwikkeling van het gebied achter de Hinderplaat.

Ook is door de aanleg van de 'Slufter' het kombergingsgebied van het Brielse Gat verlengd. Mogelijk zijn hierdoor de getijslag (verschil tussen hoog- en laagwater) en de stroomsnelheden in het Brielse Gat (een weinig) toegenomen.

Sedimenttransporten

Sedimenttransport wordt veroorzaakt en in stand gehouden door een samenspel van golven en getij. Op het strand en de platen, die aan golven zijn blootgesteld, ontstaat door brekende golven een langs de kust gericht sedimenttransport. Een dergelijk transport is aanwezig langs de Slufterkust, de

Hinderplaat en de kust van Goeree. De kust van Voorne is zozeer van de golven afgeschermd dat slechts onder bepaalde condities een golfgedreven sedimenttransport optreedt.

Het onderhoud aan de zuidwestpunt van de Slufterdam is gerelateerd aan deze (langs)transporten. Hier zijn de sedimentverliezen zo groot dat het strand kunstmatig moet worden aangevuld. Deze strandsuppleties vormen een bron van vreemd sediment dat over het gehele gebied wordt verspreid. Het zand dat van de 'Slufter' erodeert draagt bij aan de ontwikkeling van de morfologie van het mondingsgebied.

In noordelijke richting wordt het zand afgevangen door de Euro-Maasgeul. Er wordt verondersteld dat ten noorden van de Euro-Maasgeul de effecten van de aanwezigheid van de 'Slufter' verwaarloosbaar zijn.

Omdat de valsnelheid van slib zeer laag is, kan er pas aanslibbing optreden bij zeer geringe stroomsnelheden in gebieden zonder golfwerking. Deze omstandigheden komen in de monding van het Haringvliet alleen voor in het Rak van Scheelhoek, voor de Haringvlietsluizen en achter in het Brielse Gat.

Doordat in het noordelijk deel van de monding de golfdoordringing en de stroomsnelheden zijn veranderd is er mogelijk ook een effect van de Slufterdam op de sedimentafzetting aldaar. Dit speelt in het gebied achter de Hinderplaat, tussen de Slufterdam en de Groene Punt.

Inventarisatie relevante deelgebieden en –systemen

Uit het bovenstaande kan worden afgeleid dat mogelijke effecten van de Slufterdam beperkt zijn tot de volgende vijf deelgebieden:

1. Het gebied rond het Hindergat, de noordzijde van de Hinderplaat, de zuidzijde van de Slufterdam en de Strandhaak,
2. De zeezijde van de Slufterdam van de Strandhaak tot en met de Zuiderdam en het dwarsprofiel van het Slufterstrand,
3. Het zuidelijke deel van de Hinderplaat, de vooroever, het Bokkegat en de Garnalenplaat en het achter de Hinderplaat liggende gebied,
4. Het Brielse Gat, de voormalige Westplaat, het voormalige Gat van de Hawk en de natuurbouwgebieden de Kleine Slufter en het voormalige Vogeileiland,
5. De Noordwestkust van Voorne, inclusief Groene Punt en de noordelijke uitlopers van het Rak van Scheelhoek.

3.3 Relaties met de andere deelonderzoeken

De evaluaties van de bodemligging en de bodemsamenstelling, zoals hier gerapporteerd, zijn uitgevoerd als min of meer zelfstandige onderzoeken. De bevindingen zijn echter ook relevant en als 'input' gebruikt bij de andere deelonderzoeken:

- Vegetatie en flora
- Bodemdieren
- Foeragerende kustvogels en broedvogels

Vegetatie en flora

Vegetatie vestigt zich in de gebieden waar schorvorming plaatsvindt. Dit zijn het restant van de Westplaat, het strand van Voorne en de Kleine Slufter. Deze gebieden karakteriseren zich door relatief lage slibgehalten (tot circa 5 à

6%) en een bepaalde ligging ten opzichte van de gemiddeld hoogwaterlijn (GHW). Vegetatie (zeekraal bijvoorbeeld) is in staat zich te wortelen in gebieden die enigszins beschermd zijn tegen golven (en stroming).

Bodemdieren

De voor het deelonderzoek bodemdieren interessante gebieden betreffen de droogvallende slikken, de droogvallende zandplaten, de schorren, de hoogdynamische gebieden, het ondiepe estuarium en de ondiepe kustzone buitengaats. Bodemdieren worden onderscheiden op basis van hun biotopen. Deze biotopen worden onder andere gekenmerkt door abiotische parameters, zoals waterdiepte, slibgehalte en dynamiek.

Foeragerende kustvogels en broedvogels

Tot de foeragerende kustvogels worden gerekend: de steltlopers, de duikeenden en de viseters. Steltlopers zijn vooral te vinden op de slikken van de Westplaat en de Brielse Gatdam. Hier eten zij bodemdieren, zaden en groen. Duikeenden komen voor op de slikken en op dieper water. In deze gebieden zijn veel schelpdieren (kokkels e.d.) aanwezig en bovendien zijn de omstandigheden kalm (lage golven). Viseters jagen in stromend water.

De aanwezigheid van de vogels is nauw verbonden met de aanwezigheid van bodemdieren die ze kunnen eten. Maar ook is er een verband met de hoogteligging en met hydraulische omstandigheden. De soorten kunnen worden gerubriceerd op basis van abiotische kenmerken zoals waterdiepte, droogvalperiode, slibgehalte en dynamiek.

De analyse van broedvogels is geheel gebaseerd op de aanwezige vegetatie en zal dus de resultaten van morfologie slechts indirect gebruiken.

3.4 Aanpak van de analyses

In deze paragraaf worden de toegepaste analysetechnieken besproken. De evaluatie is gebaseerd op nieuwe bewerkingen van de beschikbare data, bevindingen uit de literatuur, en op rekenresultaten van in andere studies uitgevoerde modeloefeningen. De beschrijving en evaluatie van de veranderingen wordt op verschillende niveaus van detail besproken in de betreffende hoofdstukken. Bij elk niveau zijn verschillende soorten analyses toegepast om de beschikbare data in bruikbare vorm te gieten. Per niveau zullen de toegepaste analyses worden toegelicht.

Grootschalige morfologische veranderingen (hoofdstuk 4.3)

Op basis van de beschikbare bodemkaarten worden in grote lijnen de opgetreden bodemveranderingen over de gehele evaluatieperiode 1986 – 2000 geschetst, eindigend met een beschrijving van de situatie anno 2000. Om de veranderingen ten gevolge van de 'Slufter' te kunnen onderscheiden van de veranderingen die op dat moment al gaande waren, bijvoorbeeld geïnitieerd door de afdamming van het Haringvliet, wordt ook de periode van 1970 tot 1986 behandeld. Tevens zal de ontwikkeling van de twee belangrijkste stroomgeulen, het Slijkgat en het Rak van Scheelhoek, aan de orde komen.

Om een beeld te krijgen van de grootschalige verplaatsingen van sediment (zand en slib) kan gebruik gemaakt worden van sedimentbalansen. Ten

opzichte van een bepaald niveau wordt de toe- en afname van het sedimentvolume bepaald. Hierbij worden grote volumevakken toegepast waarbij het onderscheid tussen plaat en geul niet relevant is. Hierbij zal gebruik gemaakt worden van het werk van Tönis (2001) en Steijn e.a. (2001). In dit laatste werk wordt tevens geschat wat de bijdrage van het slib aan de sedimentbalans is.

Het balansgebied van Tönis (2000) beslaat het hele mondingsgebied grofweg tot aan de doorgaande NAP –10 meterlijn, dus inclusief de vooroever en de kust van Goeree. Om de effecten van de 'Slufter' uit te sluiten is het balansvak opgedeeld in een noordelijk deel en een zuidelijke deel (zie figuur 3.1). Om het onderscheid tussen de eroderende vooroever en het sedimenterende gebied achter de Hinderplaat zichtbaar te kunnen maken is in Steijn e.a. (2001) een opsplitsing van het balansvak van Tönis gemaakt in een diep deel en een ondiep deel (zie figuur 3.1). De grens is gelegd op ongeveer de doorgaande NAP –4 m dieptelijn.

De veranderingen van specifieke diepte- en hoogtezones (bijvoorbeeld de oppervlakte van slikken en schorren) worden geëvalueerd door de oppervlakte van deze arealen te bepalen en uit te zetten in de tijd. Een dergelijke exercitie is uitgevoerd in het kader van het Bandbreedte Onderzoek MV2 (Steijn e.a. 2001) en is hier geanalyseerd met het oog op het effect van de 'Slufter'.

De arealen zijn berekend voor een gebied met vaste begrenzingen. De zeewaartse begrenzing valt ongeveer samen met de doorgaande NAP –10m dieptelijn volgens de 1970-bodem. Het gebied heeft ongeveer dezelfde begrenzingen als de kuberingsvakken voor de bepaling van de sedimentbalansen (zie figuur 3.2).

Er wordt tevens in grote lijnen ingegaan op de bodemsamenstelling in het studiegebied. Voor de interpretatie van de metingen is voor het studiegebied de gemiddelde waarde voor korrelgrootte en slibgehalte bepaald en uitgezet in de tijd.

Gedetailleerde beschrijving van de vijf deelgebieden (hoofdstuk 4.4)

Voor de vijf verschillende deelgebieden die zijn geselecteerd zijn de morfologische veranderingen in detail beschreven. Hierbij is onder andere gebruik gemaakt van postzegel-achtige figuren. Op deze postzegelvellen staan voor het betreffende deelgebied de bodemligging van een zestal jaren afgebeeld, te weten 1970, 1979, 1986, 1990, 1995 en 2000. Omdat deze figuren als het ware een filmpje vormen, vergroten ze het inzicht in de morfologische ontwikkeling. De figuren zijn uitsneden van de bodemkaarten die staan afgebeeld in figuur 2.1 tot en met 2.6.

De verplaatsingen zijn gekwantificeerd door het weergeven van lijnen met gelijke diepte (isolijnen, bijvoorbeeld NAP –5m) voor de verschillende opnamen. Uit het verloop van de beschouwde lijn in de tijd kunnen bepaalde trends en ontwikkelingen afgeleid worden. Een andere manier is het maken van een verschilkaart. De verschillen in bodemligging worden weergegeven voor een bepaald gebied, waarbij het verschil betrekking heeft op het tijdsinterval, liggend tussen de beide opnamen. Voor deze figuren is een kleurenpalet gebruikt dat verloopt van donker blauw, via wit, naar oranje en rood. De blauwe kleur komt overeen met erosie, de oranje of rode kleur komt overeen met sedimentatie.

In Roelvink e.a. (1998) is een uitgebreide analyse uitgevoerd die gericht is op het kwantificeren en visualiseren van de karakteristieke morfologische ontwikkelingen gedurende de periode 1989 tot 1996. Voor diverse geulen en platen is de bodemontwikkeling in de tijd gevolgd en is het verloop van een aantal morfologische eenheden in de tijd bekeken.

Om een beeld te krijgen van de ruimtelijke verdeling van het slibgehalte en de korreldiameter zijn voor een viertal jaren (1985, 1989, 1994 en 2000) de metingen geïnterpoleerd op een rooster en samen met de originele meetpunten gepresenteerd in één figuur (zie figuur 2.7 tot en met figuur 2.14). Voor zowel de figuren met daarin de korrelgrootte, als voor de figuren met daarin het slibgehalte is een kleurenpalet gebruikt dat verloopt van donker groen, naar oranje en rood. De groene kleur komt overeen met sediment met een kleine korreldiameter of een hoog slibgehalte. De oranje of rode kleur komt overeen met een grotere korreldiameter of een laag slibgehalte.

In verschillende gebieden wordt de ontwikkeling van de bodemsamenstelling uitgezet tegen de tijd. Omdat de locaties van de meetpunten gedurende de evaluatieperiode zijn gewijzigd (vanaf 1990 is er een nieuw bemonsteringsrooster) is het niet mogelijk de ontwikkeling van het slibgehalte (of korreldiameter) van een individueel meetpunt in de tijd te presenteren. Daarom is het gemiddelde genomen van een aantal meetpunten en uitgezet in de tijd.

Enkele analyses ten behoeve van de andere deelonderzoeken (hoofdstuk 4.5)

De morfologische analyses ten behoeve van de andere deelprojecten richten zich vooral op het noordelijk deel van de Haringvliet-monding. Dit betreft ondermeer de slikken en schorren rond de Kleine Slufter, de Westplaat, het Brielse Gat en het Strand van Voorne.

Ten behoeve van de vegetatie is de ontwikkeling van de bodemdiepte voor een viertal jaren bepaald, te weten: 1986, 1990, 1995 en 2000. De bodemligging van 2000 wordt voor een aantal dieptes in de range rond gemiddeld hoogwater (GHW) vergeleken met de overige jaren. Deze dieptes zijn (ten opzichte van NAP): -0,5m, 0m, +0,5m, +0,7m, +0,9m, +1,1m, +1,3m en +1,5m. Deze figuren worden in dit deelrapport niet gepresenteerd, en niet verder besproken. Hiervoor wordt verwezen naar het deelrapport "Vegetatie en flora".

Voor vegetatie is ook het onderscheid in slibgehalten tussen 0% en 5% interessant. Voor hogere slibgehalten is het onderscheid minder relevant. De gegevens zijn voor de Westplaat en het Strand van Voorne verwerkt in figuren waarbij de volgende klassengrenzen zijn gehanteerd: 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0%, 2,5%, 3,0%, 5,0%, 10%, 20%, 30% en 40%. Hierbij moet bedacht worden dat de nauwkeurigheid van de metingen circa 1% bedraagt. Deze figuren worden in dit deelrapport niet gepresenteerd, en niet in zoveel detail besproken. Hiervoor wordt eveneens verwezen naar het deelrapport "Vegetatie en flora".

De bodemdieren met overeenkomstige eigenschappen zijn onderverdeeld in een tiental clusters. Om inzicht te krijgen in de abiotische parameters die voor de clusters kenmerkend zijn, zijn de clusters afgebeeld met de bodemligging uit het overeenkomstige jaar. Ook deze figuren worden in dit deelrapport niet gepresenteerd of besproken. Hiervoor wordt verwezen naar het deelrapport "Bodemdieren".

Voor de indeling van de duikeenden is de oppervlakte, en de verandering daarin, tussen bepaalde dieptelijnen (de zogenaamde arealen) van belang. In hoofdstuk 4.3.3 wordt het gebied opgedeeld in een zestal arealen met bepaalde dieptegrenzen. Aangezien deze bewerking volstaat wordt verder niet op dit aspect ingegaan.

Als maat voor de dynamiek wordt de bodemschuifspanning (TauMax) gebruikt zoals die is berekend voor het Bandbreedte Onderzoek (Steijn 2001). In deze bodemschuifspanning worden zowel het getij als verschillende golfcondities meegenomen. De verandering van de golfdynamiek wordt bepaald door berekeningsresultaten van verschillende jaren met elkaar te vergelijken. Dynamiek is interessant voor alle drie de deelonderzoeken. In hoofdstuk 4.5 wordt kort op deze parameter ingegaan. Ter illustratie is slechts een enkele figuur aan het rapport toegevoegd. De overige resultaten zijn overgedragen aan de andere deelonderzoeken.

Voor zowel de vegetatie als de vogels is de droogvaltijd interessant. In hoofdstuk 4.5 wordt deze gepresenteerd. Hierbij wordt de waterdiepte gecombineerd met het verloop van de waterstand in de tijd en wordt gebruik gemaakt van de uitkomsten van getijberekeningen uit Steijn e.a. (2001). Ter illustratie is slechts een enkele figuur aan het rapport toegevoegd. De overige resultaten zijn overgedragen aan de andere deelonderzoeken.

Aangezien bovenstaande activiteiten voornamelijk bewerkingen zijn van de beschikbare data, en verder niet relevant zijn voor dit deelonderzoek, worden geen conclusies getrokken. Eventuele conclusies aangaande bovenstaande aspecten zijn terug te vinden in de rapporten van de andere deelonderzoeken.

4 Veranderingen 1986 - 2001

4.1 Aanpak

De bodem van de Haringvlietmonding is reeds lang aan het veranderen. Deze veranderingen horen deels bij een dynamisch estuariumsysteem, maar deels is dit een morfologische respons (geweest) op menselijk ingrijpen. Voordat we gaan proberen te onderscheiden wat precies een natuurlijk proces betreft en wat kan worden toegeschreven aan de morfologische respons, wordt in dit hoofdstuk een beschrijving gegeven van de waargenomen veranderingen. In figuur 1.1 is een overzichtskaartje gegeven waarin de meeste namen van geulen en platen staan vermeld.

Na een korte beschrijving van de menselijke ingrepen in het systeem worden de grootschalige morfologische veranderingen in bodemligging en bodemsamenstelling beschreven. Vervolgens wordt voor een vijftal relevante deelgebieden in detail op de veranderde morfologie ingegaan. Tenslotte zullen analyses worden gepresenteerd die specifiek gericht zijn op vragen van de andere deelonderzoeken.

4.2 Menselijke ingrepen in het systeem

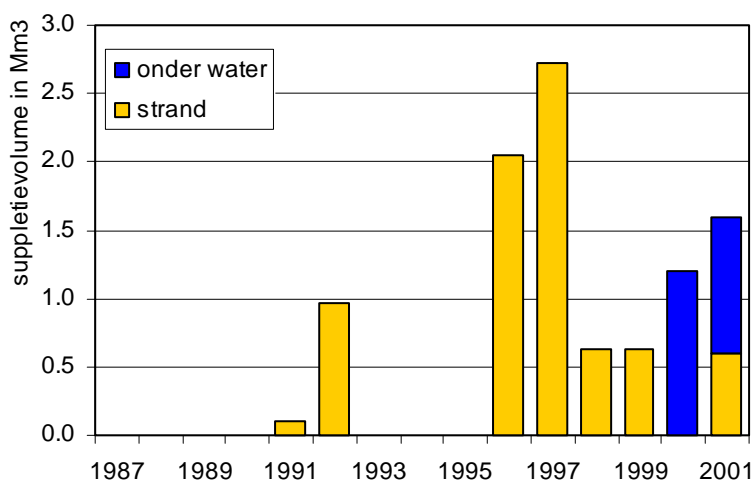
Op 2 november 1970 komt er met de ingebruikname een einde aan de bouwwerkzaamheden aan de Haringvlietsluizen. De aanleg van de Maasvlakte, die in 1964 met de afsluiting van het Sluisse Gat is gestart, is in 1970 nog niet voltooid. In 1970 en 1971 wordt er gewerkt aan de verlenging van de Zuiderdam en in de periode 1973 tot 1976 wordt aan de westzijde van de Maasvlakte nog een dam en een zanddepot opgespoten.

Suppleties hebben in de periode 1970 – 1987 met name plaatsgevonden op de kust van Voorne en Rockanje (ca. 9,6 miljoen m³) en in mindere mate op de kust van Goeree (ca. 3,6 miljoen m³). In 1983 is gestart met het verdiepen van de drempel in het Slijkgat.

In 1986 is met de aanleg van de dam van de 'Slufter' begonnen. In september 1987 is met het afsluiten van het Gat van de Hawk en het graven van het Hindergat ter vervanging hiervan, de aanleg van de Slufterdam klaar. Gekoppeld aan het project was de aanleg van een natuurontwikkelingsgebied aan de zuid-oostzijde van de dam. Hier is in 1987 de zogenaamde Kleine Slufter aangelegd. Deze slufter is in 1994 aangepast aan de verwachte morfologische ontwikkelingen in het gebied.

In 1991 en 1992 zijn op de Slufterdam onderhoudssuppleties aangebracht (in totaal ca. 1 miljoen m³). In het Slijkgat wordt met grote regelmaat gebaggerd (gemiddeld ca. 295.000 m³/j), enerzijds om de verondieping van de drempel te voorkomen, anderzijds om de haven van Stellendam toegankelijk te maken voor dieper stekende schepen. Op de kust van Voorne en Rockanje hebben na 1987 geen suppleties meer plaatsgevonden.

In 1996 is opnieuw gestart met het suppleren van de zuid-westzijde van de Slufterdam. Gemiddeld is gedurende de periode 1996 – 2001 ca. 1,5 miljoen m³/j aangebracht. Over de hele periode 1991 – 2001 bedraagt het gemiddelde 0,9 miljoen m³/j. In totaal is 9,9 miljoen m³ extra op de dam gesuppleerd (zie figuur 4.1).



Figuur 4.1 Suppleties op de Slufterdam (1987 – 2001)

Voor een compleet overzicht van werkzaamheden in het studiegebied wordt verwezen naar bijlage A.

4.3 Grootschalige morfologische veranderingen

4.3.1 Morfologie

Het sluiten van het Haringvliet-estuarium in november 1970 door middel van de Haringvlietdam heeft grote morfologische veranderingen in het gebied in gang gezet (zie ook de bodemliggingen in figuren 2.1 tot en met figuur 2.3). Deze veranderingen voltrokken zich naast de veranderingen die al gaande waren door de natuurlijke dynamiek en de werken voor de uitbreiding van de haven van Rotterdam met de Maasvlakte in de periode 1964 – 1973.

Na 1970 is de morfologie zich aan het aanpassen aan de nieuwe hydraulische situatie. Door de afgenomen debieten door de geulen wordt het effect van golven belangrijker. Tevens ontstaan in het gebied door de veranderde verhangen rondstromingen. De veranderingen in stroomrichting en sterkte en de toename van het relatieve belang van de golfwerking hebben grote invloed op zowel de doorsnede als de oriëntatie van de geulen. Kenmerkend is het verondiepen van het gebied achter de Hinderplaat en het omhoog komen van de Hinderplaat. De toename van het sedimentvolume in het gebied heeft een exponentieel afnemend verloop. Dit wordt toegelicht in paragraaf 4.2.3.

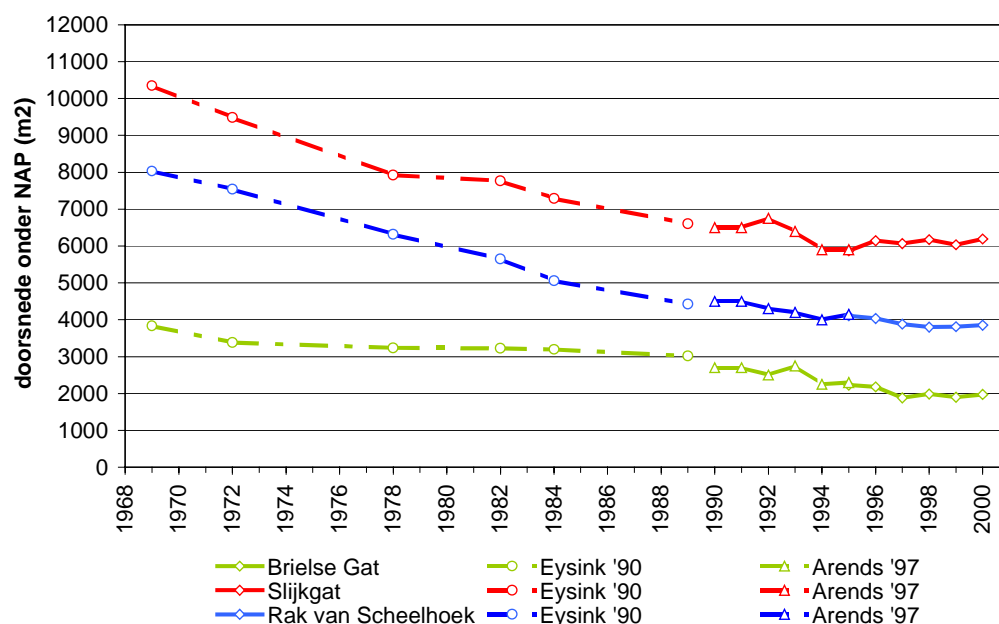
De verondieping van het gebied achter de Hinderplaat (het binnengebied) is in 1986 nog niet ten einde. De grootste veranderingen betreffen de Hinderplaat die vooral aan de zuidzijde verder landinwaarts verplaatst, het gebied vóór de Brielse Gatdam dat sterk verondiept, en de onmiddellijke omgeving van de 'Slufter' (zie ook de bodemligging in figuren 2.4 tot en met figuur 2.6). Simultaan aan de verondieping van het binnengebied treedt een verdieping van de vooroever op.

Door een nieuwe geul is de Hinderplaat opgesplitst in een noordelijk en een zuidelijk deel. Het noordelijke deel is sinds 1994 in hoogte stabiel. Het zuidelijke deel van de plaat is smaller geworden, maar tevens aanzienlijk hoger. Ook het zuidelijke deel van de Garnalenplaat is sterk veranderd. Deze is in hoogte toegenomen en in zuidwestelijke richting uitgebreid, waardoor het Slijkgat geknepen wordt. Het noordelijke deel van de Garnalenplaat is door de jaren heen relatief stabiel in grootte en ligging gebleven.

Geulen

Behalve de platen hebben ook de geulen veranderingen ondergaan. Anno 2000 is de globale ligging van geulen en platen niet veranderd sinds de aanleg van de 'Slufter'. In het algemeen zijn de getijgeulen aanzienlijk in natte doorsnede gereduceerd. Er is een tendens dat sommige geulen in belangrijkheid afnemen, en andere geulen in belangrijkheid toenemen. Zo neemt de doorsnede van het Bokkegat af, terwijl de middengeul over de Garnalenplaat in omvang min of meer constant is. Ook ontstaat er een nieuwe geul over de Hinderplaat.

Na de sluiting van de Haringvlietsluizen in 1970 begon een periode van snelle verzanding en aanslibbing van alle geulen op de buitendelta van het Haringvliet. Ten tijde van de bouw van de 'Slufter' hadden de geulen in het



Figuur 4.2 Ontwikkeling van de natte doorsnede van diverse geulen (Eysink 1990 en Arends 1997)

gebied nog geen evenwichtsdiepte bereikt. Eysink (1990) laat zien dat de getijgeulen aanzienlijk in natte doorsnede zijn afgenomen (zie figuur 4.2). Arends (1997) heeft de figuur aangevuld tot 1996.

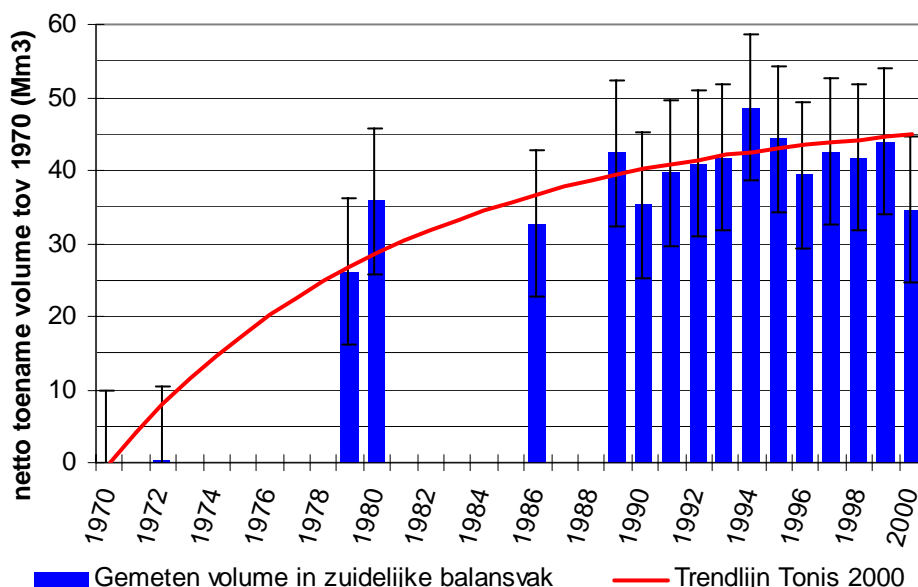
Het Rak van Scheelhoek was vóór 1970 een belangrijke watervoerende geul. De doorsnede ter hoogte van de Groene Punt is in de periode 1969 – 1984 met circa 3.000 m² afgenomen tot circa 5.000 m². Na de aanleg van de 'Slufter' neemt de doorsnede verder af tot circa 3.800 m² in 2000, een geringe afname van 1.000 m² in 15 jaar. Uit vershilkkaarten blijkt dat anno 2000 de diepte van de geul nog steeds langzaam afneemt.

Een dergelijke verondieping is voor het Slijkpat ook geconstateerd; ter hoogte van het Flauwe Werk is de afname van het geulprofiel tot 1984 circa 3.000 m²; de geuldoorsnede bedroeg toen circa 7.300 m². In de daarop volgende periode heeft de doorsnede van het Slijkpat zich min of meer gestabiliseerd op een doorsnede van circa 6.600 m². Roelvink e.a. (1998) laat zien dat deze doorsnede tot 1993 niet verandert. In 1993 en 1994 neemt de doorsnede verder af en stabiliseert zich op circa 6.000 m².

4.3.2 Sedimentbalans

Tönis (2000) heeft de ontwikkeling van het sedimentvolume van de monding van het Haringvliet als gevolg van de afsluiting van het Haringvliet geanalyseerd. Zij stelt dat het sedimentvolume binnen het door haar gedefinieerde balansvak (zie paragraaf 3.4 en figuur 3.1, diep en ondiep samengenomen) een exponentieel verloop vertoont (zie figuur 4.3).

Uit figuur 4.3 blijkt dat in 1986 (voor de aanleg van het depot) er nog geen nieuw evenwicht is ingesteld. Het sedimentvolume in het door haar gekozen balansvak bedroeg in dat jaar circa 70% van de evenwichtswaarde (circa 35 Mm³). Dit volume nam gedurende de daaropvolgende jaren geleidelijk toe tot circa 90% in 1999 (circa 43 Mm³).



Figuur 4.3 Verandering van het sedimentvolume in het balansvak Zuid (Tönis 2001)

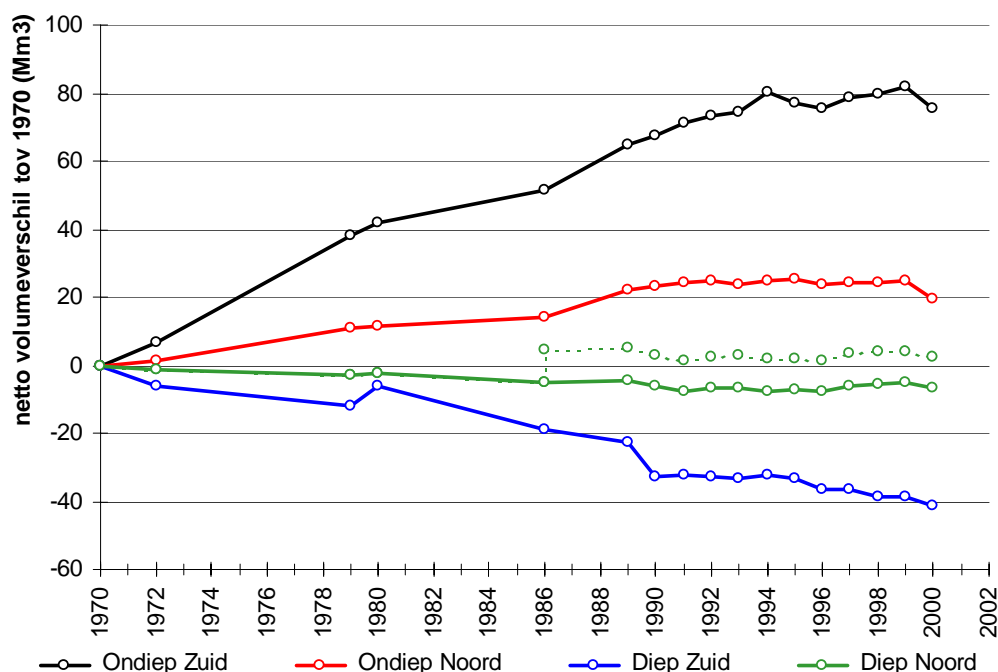
De karakteristieke morfologische tijdschaal waarop het volume van de monding van het Haringvliet zich aan de gewijzigde stromingscondities aanpast, bedraagt volgens Tönis circa 11 jaar. Dat wil zeggen dat binnen 11 jaar ruim 60% van de aanpassingen zijn voltooid. Het evenwichtsvolume ten opzicht van 1970 bedraagt 48 Mm³.

Uitwisseling sediment binnen het balansvak

Na het afsluiten van een getijdebekken treden twee simultane processen op. Enerzijds treedt er een verondieping van het gebied zeewaarts van de afsluiting op. Dit is hierboven inzichtelijk gemaakt. Maar tegelijkertijd vindt er erosie aan de buitenzijde van de voormalige delta op: deze verdiept.

Aangezien het balansvak van Tönis deze beide gebieden beslaat, kan dit onderscheid op basis van haar resultaten niet gemaakt worden.

Om het onderscheid tussen de eroderende vooroever en het sedimenterende gebied achter de Hinderplaat zichtbaar te kunnen maken is het balansvak van Tönis opgesplitst in een zeewaarts deel en een landwaarts deel (zie figuur 3.1). Onderstaande figuur 4.4 geeft de ontwikkeling van het volume in de vier balansvakken weer ten opzichte van 1970. De bodemligging direct na de aanleg van de 'Slufter' is niet gepeild. Er is daarom een zo realistisch mogelijk beginpunt geschat voor de bodemligging in 1986. Dit heeft alleen effect op het vak Diep Noord. De hoeveelheden van de jaren na 1986 zijn in dit vak vermindert met het volume dat voor de aanleg van de 'Slufter' is 1986 is ingebracht (zie figuur 4.4).



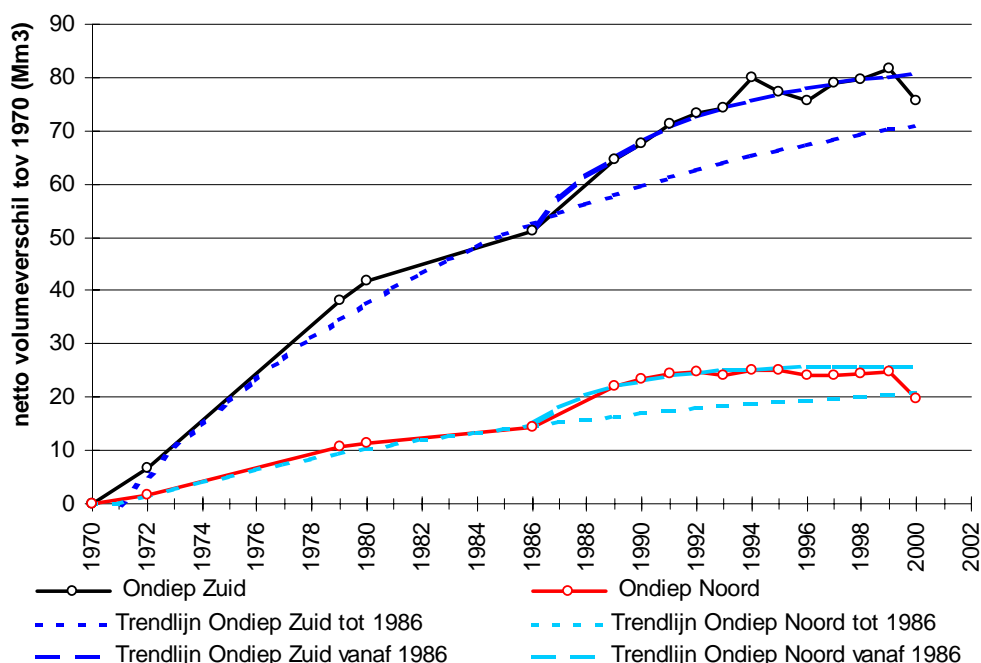
Figuur 4.4 Verandering van het sedimentvolume in de balansvakken Ondiep Noord, Ondiep Zuid, Diep Noord en Diep Zuid

De figuur visualiseert de simultane verdieping van de vooroever (tussen NAP – 10 m en NAP –4 m, de lijnen *Diep Zuid* en *Diep Noord*) en de sedimentatie van de Hinderplaat en het gebied hierachter (boven NAP –4 m, de lijnen *Ondiep Zuid* en *Ondiep Noord*). De toename van het volume ten opzichte van 1970 bedroeg voor het gehele zuidelijke balansvak (*Diep* en *Ondiep* samen) in 1999 circa 43,5 Mm³ (zie figuur 4.3). Dit is samengesteld uit een afname van circa 38,5 Mm³ in het diepe deel (*Diep Zuid*) en een toename van circa 82 Mm³ in het landwaartse deel (*Ondiep Zuid*).

In de periode 1970 – 1986 is het sedimentvolume in het vak *Ondiep Zuid* toegenomen met circa 50 Mm³. Vak *Ondiep Noord* is met circa 15 Mm³ toegenomen. Vak *Diep Zuid* en *Diep Noord* zijn beide afgenomen, ongeveer 5 Mm³ en 20 Mm³ respectievelijk. In de periode 1986 – 2000 nemen de vakken *Ondiep Zuid* en *Ondiep Noord* toe met respectievelijk circa 30 Mm³ en 10 Mm³. Het vak *Ondiep Zuid* is stabiel, terwijl het vak *Diep Zuid* verder afneemt met circa 20 Mm³,

Nu is het mogelijk door alle punten behorend bij de balansvakken *Ondiep Zuid* en *Ondiep Noord* een exponentiële functie te trekken. Maar wanneer de metingen vanaf 1986 apart worden geanalyseerd, kan een andere exponentiële ontwikkeling worden gevonden met een veel kortere tijdschaal (circa 3 tot 5 jaar). Het bijbehorende evenwichtsvolume is circa 83 Mm³ voor het zuidelijke deel (*Ondiep Zuid*) en circa 26 Mm³ voor het noordelijke deel.

Ook voor de punten vóór 1986 is een zo goed mogelijke fit gemaakt. Het is, gezien het geringe aantal punten tussen 1970 en 1986 niet mogelijk een heel nauwkeurige fit te maken. Hierdoor is het voor het eerste deel niet goed mogelijk de tijdschaal en het evenwichtsvolume te bepalen. Mogelijke tijdschalen variëren tussen 11 en 18 jaar. De evenwichtsvolumes zijn gelijk of lager dan de evenwichtsvolumes behorende bij de situatie na 1986.



Figuur 4.5 Exponentieel afnemende trend in het sedimentvolume in de balansvakken *Ondiep Noord* en *Ondiep Zuid*

In figuur 4.5 is voor elk van de balansvakken *Ondiep Zuid* en *Ondiep Noord* een exponentiële functie voor het deel tót 1986 én een exponentiële functie voor het deel vanaf 1986 getekend. De functie van het deel vóór 1986 is ook na 1986 doorgetrokken zodat een indruk gekregen kan worden van het mogelijke ongestoorde verloop. De meting van 2000 wijkt significant af van de waargenomen trend en is hier buiten beschouwing gelaten.

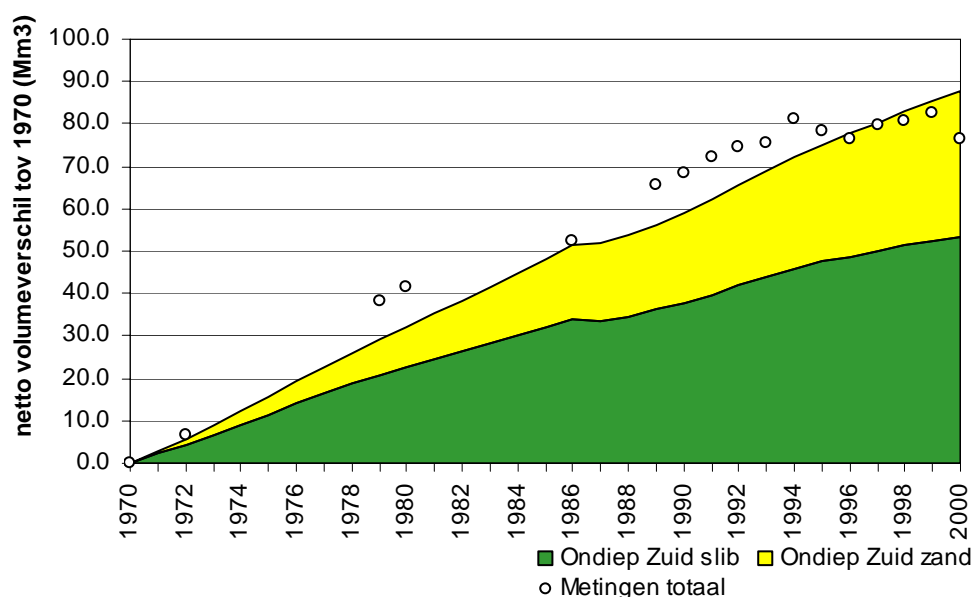
De balansvakken *Diep Zuid* en *Diep Noord* laten intussen een constante afname van het volume (verdieping) zien. Er zijn geen aanwijzingen voor een exponentieel verloop. De zeewaartse delen vertonen meer fluctuaties dan het landwaartse deel. Mogelijk worden grotere meetfouten gemaakt doordat de veranderingen in bodemligging klein zijn ten opzicht van de grote diepte.

Uit het werk van Tönis en bovenstaande analyse blijkt dat anno 2000, dertig jaar na afsluiting van het Haringvliet, het sedimentvolume van de Haringvlietmond slechts weinig verandert. Uitgaande van de trends zou er nog een geringe import van circa 2 Mm³ over de laatste 5 jaar moeten plaats vinden. Maar volgens de metingen heeft er in de periode 1995 – 1999 geen

sedimentimport plaatsgevonden. Wel is het sedimentvolume in balansvak *Ondiep Zuid* met circa 4,5 Mm³ toegenomen en is het balansvak *Diep Zuid* met circa 4,5 Mm³ verdiept.

Zand versus slib

In het werk van Tönis dat hierboven is besproken, wordt geen onderscheid gemaakt tussen zand en slib. In Steijn e.a. (2001) wordt op basis van model simulaties geconcludeerd dat een belangrijk deel van het door Tönis bepaalde volume uit slib bestaat. In het begin van deze paragraaf is afgeleid dat het sedimentvolume in vak *Ondiep Zuid* toeneemt met circa 80 Mm³. Uit de modelresultaten (zie figuur 4.6) blijkt dat circa 50 Mm³ (60 procent) hiervan uit slib bestaat en circa 30 Mm³ uit zand (40 procent). In de diep gelegen balansvakken (*Diep Zuid* en *Diep Noord*) is geen slib aanwezig. De afname betreft hier dus zand. In het noordelijke balansvak (*Ondiep Noord*, niet in de figuur) treedt voornamelijk aanslibbing op. Hier is de bijdrage van het slib circa 90 procent.



Figuur 4.6 Berekende volumeveranderingen voor zand en slib in het balansvak Ondiep Zuid (Steijn e.a. 2001)

Afzonderlijke metingen van het totale volume slib en het totale volume zand in het gebied zijn niet beschikbaar. Een vergelijking met metingen is alleen mogelijk voor het gecombineerde volume slib en zand. Uit de berekeningsresultaten blijkt dat de toename van het slibvolume afneemt, terwijl het zandvolume lineair blijft toenemen. Het totale volume wordt door het model goed berekend. Maar de afnemende trend van het volume kan het model niet goed representeren (Steijn e.a. 2001).

4.3.3 Arealen

De waardering van natuurwaarden gebeurt aan de hand van een natuurtypering. Deze natuurtypering wordt primair gebaseerd op de oppervlakten – en de veranderingen daarin – tussen bepaalde diepte- of hoogtecontouren, de zogenaamde maatgevende arealen. De arealen zijn ten behoeven van de studie Bandbreedtes Morfologische Effectvoorspelling (Steijn e.a. 2001) berekend voor een gebied met vaste begrenzingen (zie figuur 3.2).

Weliswaar maakt de 'Slufter' geen deel uit van het areaalgebied, het opgespoten onderwaterprofiel draagt wel bij aan een toename van de ondiepe arealen en een afname van de diepe arealen. Ondanks de mogelijkheid dat de aanleg mogelijk een aanzet heeft gegeven tot een verandering van de trend in de bodemveranderingen, maakt de aanleg zelf geen deel uit van de trend. Daarom zijn de jaren na 1986 gecorrigeerd voor deze kunstmatige areaalverandering tengevolge van de aanleg zelf.

De volgende diepteklassen zijn onderscheiden:

- Diep: Alles beneden NAP –10m;
- Half diep: Alles tussen NAP –3m en NAP –10m;
- Ondiep: Alles tussen NAP –1m en NAP –3m;
- Intergetijde - platen: Platen tussen NAP +1m en NAP –1m;
- Intergetijde - strand: Strand tussen NAP +1m en NAP –1m;
- Strand: Alles tussen NAP +2m en NAP +1m;
- Hoog: Alles boven NAP +2m.

Voor de arealen die hoger gelegen zijn dan NAP +1m is aangenomen dat ze niet voorkomen op platen; de arealen *Strand* en *Hoog* zijn daarom niet opgedeeld in een plaatareaal en een strandareaal.

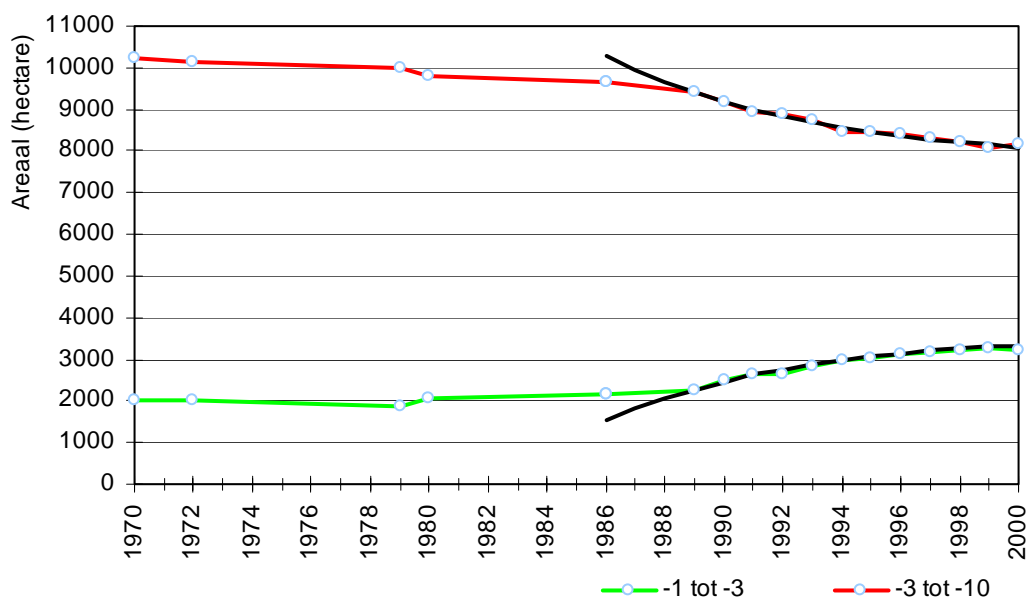
Figuur 4.7a en figuur 4.7b toont het verloop van de arealen uitgezet als functie van de tijd. Aangezien de arealen *Half diep* en *Ondiep* veel groter zijn dan de overige arealen zijn deze apart in een figuur geplaatst. In tabel 4.1 zijn de ongecorrigeerde arealen opgenomen.

jaar	Hoog > +2m	Strand +2m tot +1m	Intergetijde - strand +1m tot –1m	Intergetijde - plaat +1m tot –1m	Ondiep -1m tot –3m	Half diep -3m tot –10m	Diep -10m tot –20m
1970	480	303	516	37	2.018	10.217	88
1972	491	306	557	42	1.999	10.153	112
1979	506	355	578	238	1.887	9.985	64
1980	505	353	593	224	2.069	9.808	61
1986	582	348	626	217	2.174	9.648	59
onderstaande waarden zijn inclusief Slufterstrand							
1986	688	340	651	181	2.025	9.507	58
1989	707	381	741	176	2.114	9.253	76
1990	705	371	757	171	2.326	9.026	93
1991	694	384	778	203	2.475	8.802	112
1992	688	380	828	200	2.489	8.755	109
1993	695	370	821	174	2.680	8.595	112
1994	694	384	884	234	2.827	8.308	115
1995	694	382	878	205	2.884	8.291	111
1996	690	367	844	122	2.998	8.257	168
1997	713	425	829	103	3.019	8.171	186
1998	701	413	846	129	3.083	8.069	204
1999	716	411	870	163	3.124	7.940	220
2000	698	409	850	165	3.058	8.033	232

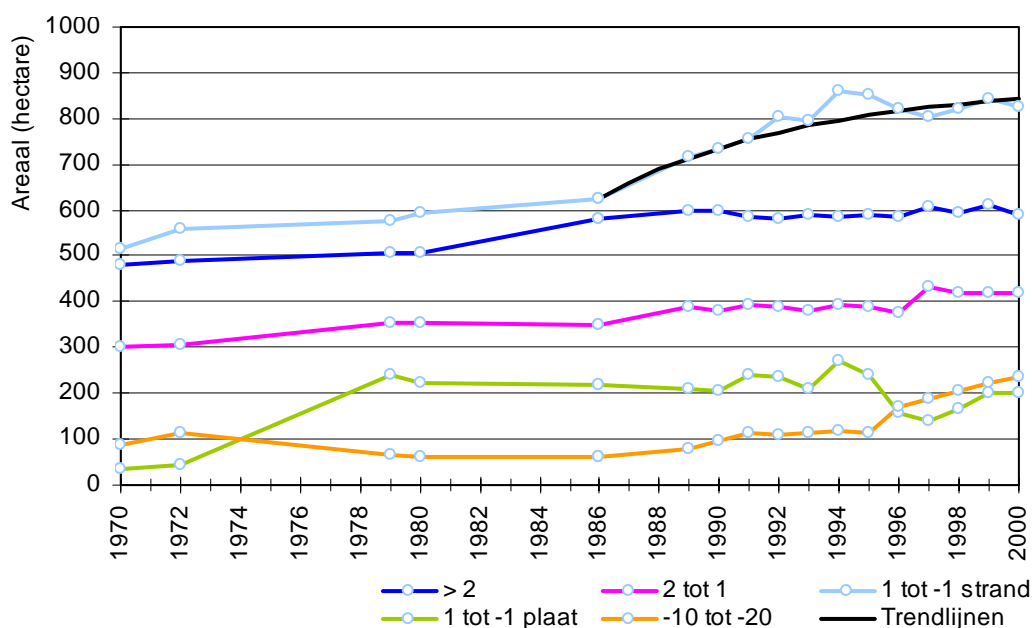
Tabel 4.1 Ongecorrigeerde arealen (ha) voor de periode 1970 – 2000

Er is relatief veel variatie van jaar tot jaar, zoals blijkt uit de berekende arealen voor de jaren negentig. Mogelijk heeft dit met meeton nauwkeurigheden te maken. Een meetfout van circa 20 cm voor een diepteklasse met een omtrek

van circa 40 km leidt tot een verschil van circa 80 ha! Ook worden onnauwkeurigheden veroorzaakt door het feit dat niet in alle gebieden accurate bodemgegevens zijn gebruikt.



Figuur 4.7a Gemeten arealen (1970 – 2000) in m tov NAP



Figuur 4.7b Gemeten arealen (1970 – 2000) in m tov NAP

De figuren laten het volgende zien:

- Diepteklasse: *Diep* (Dieper dan NAP –10m):

Er is een geringe reductie in het areaal *Diep* in de periode tot 1986. In de periode 1986 tot 2000 neemt het areaal weer toe met 175 ha, ten koste van de ondieper gelegen arealen (met name *Half diep*). Gedurende de jaren 1991 tot en met 1995 is het areaal stabiel, na 1995 neemt het areaal opnieuw toe met ruim 100 ha.

- Diepteklasse: *Half diep* (NAP –3m tot NAP –10m):

De grootste diepte klasse (circa 10.000 ha) neemt gedurende de periode voor 1986 gestaag af (550 ha in 16 jaar). Na 1989 komt er een verandering in de

trend, het areaal *Half diep* neemt vrij sterk af, voornamelijk ten gunste van het areaal *Ondiep*. De afname over de periode 1986 – 2000 bedraagt 1550 ha.

- Diepteklasse: *Ondiep* (NAP –1m tot NAP –3m):

De metingen laten gedurende de periode 1970 – 1986 een gering toename van het areaal *Ondiep* zien (circa 150 ha). Na 1986 is de trend aanvankelijk gelijk aan de periode ervoor. Maar vanaf 1989 treedt er een sterke toename van het areaal op. Over de periode 1986 – 2000 is de toename circa 1150 ha. Daarmee compenseert het areaal het leeuwendeel van de afname van het areaal *Half diep*. Ook de hoger liggende arealen *Intergetijde – strand* en *Strand* nemen een deel voor hun rekening (samen circa 270 ha).

- Diepteklasse: *Intergetijde – platen* (NAP +1m tot NAP -1m):

Het plaatareaal neemt tot 1986 toe. (van 37 ha naar circa 220 ha). Deze toename vindt plaats tussen 1972 en 1979. Over het verloop van deze veranderingen kan niets gezegd worden aangezien in de tussenliggende periode geen bodemkaarten beschikbaar zijn. Vanaf 1979 is het areaal min of meer stabiel. Na 1986 treden geen structurele veranderingen in het areaal op. Wel vinden er schommelingen plaats. Na 1994 neemt het areaal in 3 jaar ongeveer 100 ha af. In de daaropvolgende jaren herstelt het plaatareaal zich.

- Diepteklasse: *Intergetijde – strand* (NAP +1m tot NAP -1m):

Het areaal *Intergetijde – strand* neemt in de periode tot 1986 geleidelijk toe met circa 110 ha. Van 1986 neemt het areaal versneld toe. Let op: Voor de toename van het areaal door de aanleg zelf is gecorrigeerd. Uiteindelijk wast het areaal in de periode 1986 – 2000 circa 200 ha aan.

- Diepteklasse: *Strand* (NAP +2m tot NAP +1m):

Het strandareaal neemt in de hele periode 1970 – 2000 geleidelijk toe. Voor 1986 is de toename circa 45 ha, tot aan 2000 neemt het areaal nog eens circa 70 ha toe. Gedurende de periode 1989 – 1996 is het areaal stabiel. In 1997 neemt het areaal met een sprong toe waarna het de volgende drie jaar eveneens stabiel is.

- Diepteklasse: *Hoog* (Ondieper dan NAP +2m):

Tot aan 1986 neemt het hoge areaal met circa 100 ha toe. Na 1986 is het areaal constant.

Na 1986 vertonen de arealen *Half diep*, *Ondiep* en *Intergetijde – strand* een versnelde toename. Het blijkt mogelijk door de ontwikkeling van de arealen exponentiële trendlijnen te trekken. Hierdoor kan iets gezegd worden over de tijdschaal en de evenwichtswaarde van de arealen. De tijdschaal (waarin ruim 60% van de aanpassing is voltooid) van de areaalontwikkeling is orde 7 jaar. Opvallend is echter dat de arealen *Half diep* en *Ondiep* pas na 1989 veranderen, terwijl het areaal *Intergetijde – strand* vanaf 1986 verandert.

Anno 2000 nemen de arealen *Diep*, *Ondiep* en *Intergetijde – strand* nog steeds geleidelijk toe en het areaal *Half diep* nog steeds af. Aangezien de grootste veranderingen in het gebied reeds hebben plaatsgevonden (zie de hierboven afgeleide tijdschalen) zijn deze veranderingen echter zeer gering.

4.3.4 Bodemsamenstelling

Vlak voor de aanleg van de 'Slufter' werd de monding van het Haringvliet gekenmerkt door een grote ruimtelijke variatie van korrelgrootte en slibgehalte. Zeewaarts van de Hinderplaat varieerde de D_{50} tussen 130 μm en 160 μm (zie figuur 2.7 en 2.11, 1985). Hier werden slibgehalten kleiner dan 1% gemeten. In het gebied achter de Hinderplaat varieerde de korrelgrootte van circa 100 μm in het Brielse Gat tot 20 μm à 60 μm in het Rak van Scheelhoek en op de kust van Voorne. Deze korrelgrootten gingen gepaard met slibgehalten van

respectievelijk 5 à 8 % in het Brielse Gat tot zelfs 30 à 40 % in het Rak van Scheelhoek (De Looff 1991).

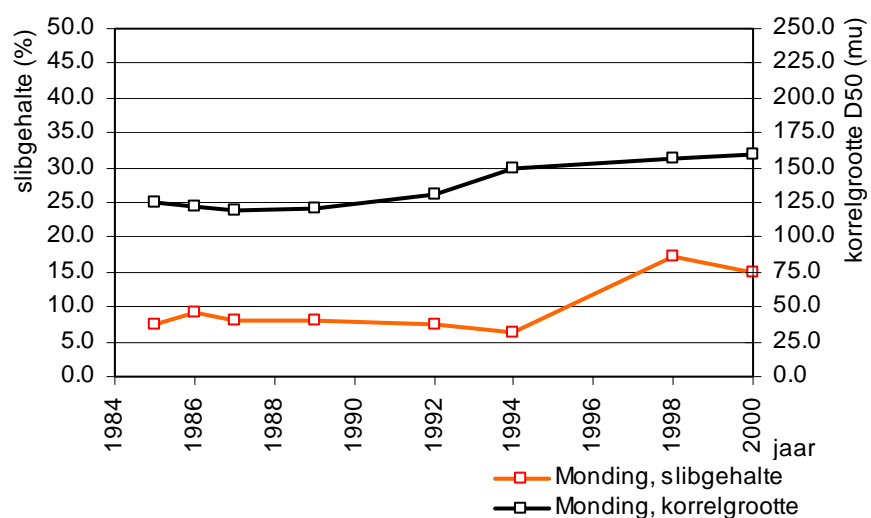
Uit de metingen blijkt dat tijdens de aanleg van de 'Slufter' sprake is van een toename van het slibgehalte en een toename van de D_{50} -waarde. Enkele jaren na de aanleg is de bodemsamenstelling in grote lijnen weer gelijk aan die uit 1985 (zie figuur 2.8 en 2.12, 1989). Voor wat betreft de mediane korreldiameter is over de periode 1987-1989 een toename te constateren direct voor de Slufterdam. Twee jaar na de voltooiing van het Baggerspeciedepot (1989) wordt vrijwel over het gehele gebied een afname van het slibgehalte waargenomen. Ten opzichte van de referentiesituatie (1985) is echter nog in een groot gebied sprake van een verhoogd slibgehalte (De Looff 1991).

In 1994 is er in het hele bemonsteringsgebied een toename van de korrelgrootte zichtbaar. Zeewaarts van de Hinderplaat varieert de mediane korrelgrootte tussen de 150 μm en 180 μm , een toename met circa 20 μm ten opzichte van 1989. Het slibgehalte is ongeveer 1%. De slibgehaltenes in het Rak van Scheelhoek zijn zeer hoog: 40 tot 60%. De mediane korreldiameter is hier in de voorgaande periode toegenomen tot circa 30 μm à 90 μm . Zie ook figuur 2.9 en 2.13.

Anno 2000 is de ruimtelijke variatie van de korreldiameter verder toegenomen. Zeewaarts van de Hinderplaat is de korrelgrootte ongeveer gelijk aan die van 1994: tussen 150 μm en 180 μm . Het slibgehalte in het Rak van Scheelhoek is ten opzicht van 1994 verder toegenomen. Slibgehaltenes groter dan 80% zijn aangetroffen. De mediane korreldiameter in het Rak van Scheelhoek is kleiner dan 30 μm . Zie ook figuur 2.10 en 2.14.

Gemiddelde waarde voor mediane korreldiameter en slibgehalte

De ontwikkeling van het slibgehalte en de korrelgrootteverdeling is gevisualiseerd door het gemiddelde te bepalen van alle meetpunten in het gebied rondom de 'Slufter' en uit te zetten in de tijd (figuur 4.8). Op de linker verticale as staat het slibgehalte uitgezet, op de rechter verticale as de korreldiameter. Ondanks het feit dat de gedetailleerde metingen op de Westplaat en het strand van Voorne in deze middeling niet zijn meegenomen,



Figuur 4.8 Gemiddelde waarde slibgehalte en mediane korreldiameter voor het mondingsgebied

ligt het zwaartepunt van de metingen in de omgeving van het Brielse Gat.

Op basis van de metingen kan geconcludeerd worden dat de gemiddelde korreldiameter in het gebied rondom de 'Slufter' is toegenomen van circa 125 μm in 1986 naar 160 μm in 2000. De grootste stijging is opgetreden in de periode 1989 – 1994. In de eerste jaren na de aanleg nam de korreldiameter iets af en nam daarna toe. De korreldiameter heeft zich na 1994 geleidelijk gestabiliseerd.

In het jaar van aanleg is er een toename van het slibgehalte geconstateerd (De Looff 1991) die simultaan optrad met de baggerwerkzaamheden in het gebied. Een jaar later is het gemiddelde terug op de oude waarde van 1985. Over de periode 1987 – 1994 is een geleidelijke afname van het slibgehalte van 8% naar 6,4% waargenomen. Na 1994 is het gemiddelde slibgehalte toegenomen van 6,4% naar ruim 15% in 1998 en 2000. Uit figuur 2.14 blijkt dat de toename in het hele gebied optreedt. Omdat geen metingen beschikbaar zijn over de tussenliggende periode is het niet mogelijk om in meer detail uitspraken te doen over deze ontwikkeling.

Een koppeling met de modelresultaten die in paragraaf 4.3.2 worden besproken is niet mogelijk. De hierboven besproken metingen betreffen de bovenste laag van de bodem; informatie over de onderliggende sedimentlagen is niet beschikbaar. In de sedimentbalansen van paragraaf 4.3.2 wordt de totale volumeverandering van slib en zand ten opzicht van 1970 geëvalueerd.

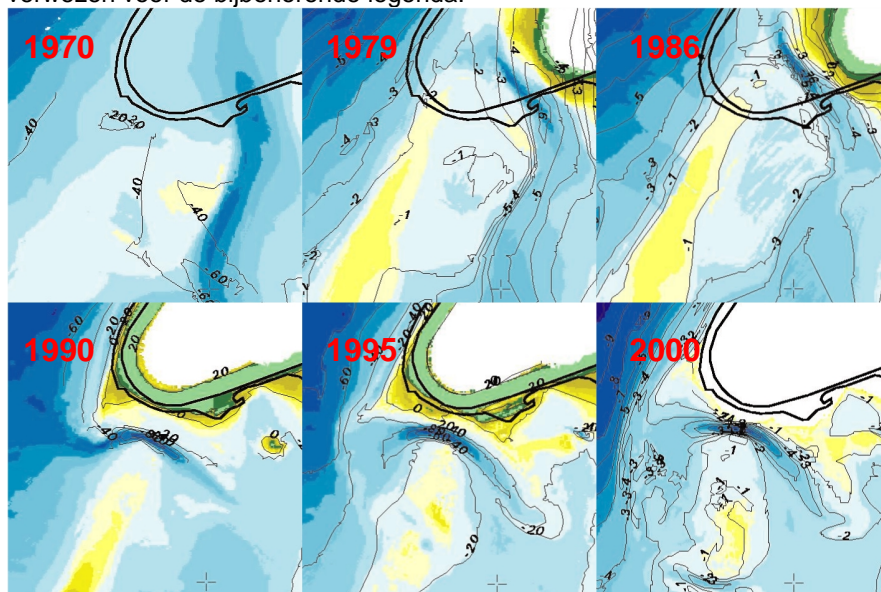
4.4 Gedetailleerde beschrijving van de vijf deelgebieden

4.4.1 Omgeving Hindergat

De omgeving van het Hindergat bestaat de volgende eenheden:

1. Hindergat
2. Strandhaak
3. Slufterstrand zuidzijde
4. Noordelijk deel van de Hinderplaat

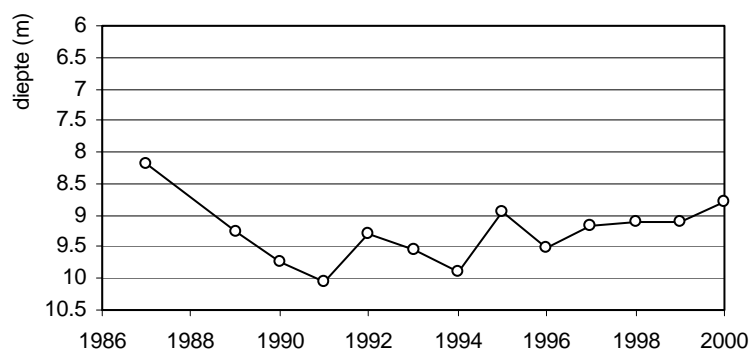
Onderstaande figuur is opgebouwd uit uitsneden van bodemkaarten die staan afgebeeld in figuur 2.1 tot en met 2.6. Naar deze figuren wordt tevens verwezen voor de bijbehorende legenda.



Figuur 4.9 Morfologie omgeving Hindergat (1970 – 2000)

Het Hindergat

Ter vervanging van het Gat van de Hawk is ten zuiden van de 'Slufter' het Hindergat gebaggerd. De geul is na de aanleg ervan in 1987 stabiel in diepte gebleven. Bij de aanleg is een overdiepte gehanteerd. In figuur 4.10 is uit de beschikbare opnemingen steeds het diepste punt genomen en uitgezet in de tijd. Aanvankelijk neemt de diepte van de geul toe, van NAP +8,2 m in 1987 tot circa NAP -10 m in 1991. Na 1991 treedt er een geleidelijke verondieping van het Hindergat op. In de periode 1996 – 2000 is de diepte van het Hindergat gestabiliseerd op ongeveer NAP -9,0 m. In het jaar 2000 is de diepte NAP -8,8 m.



Figuur 4.10 Ontwikkeling maximale diepte Hindergat ten opzichte van NAP

Het Gat van de Hawk nam na 1970 met circa 3.300 m² af tot een doorsnede van 1.900 m² in 1984. In 1989 bedroeg de doorsnede van het Hindergat, dat naar de afmetingen van het Gat van de Hawk gedimensioneerd is, circa 2.000 m². Uit Roelvink e.a. (1998) blijkt dat, op seizoensafhankelijke fluctuaties na, de doorsnede van het Hindergat zich stabiliseert. In de jaren 1994 en 1995 neemt de doorsnede van de geul tijdelijk toe.

Het Hindergat was indertijd recht aangelegd. In de periode tot 1990 heeft het Hindergat zich vooral aan de westzijde gekromd, simultaan met de uitbreiding van de strandhaak in zuidelijke richting. Het oostelijke deel was redelijk plaatsvast (De Looft e.a. 1991). Vooral in 1994 en 1995 is het middelste deel van het Hindergat naar het noorden toe gemigreerd waardoor de kromming verder is toegenomen. Over de periode 1990 - 1995 is de geul ongeveer 150 m in noordelijke richting verplaatst (Roelvink e.a. 1998). De laatste jaren heeft een verdere migratie van het Hindergat naar het noorden plaatsgevonden. Desondanks hebben de migrerende banken, die aan de zuidzijde van de slufterdam zijn ontstaan, zich kunnen handhaven. De oriëntatie van het westelijke deel van het Hindergat is bijgedraaid in noordelijke richting, simultaan met een verdieping van de strandhaak. De maximale diepte bedraagt in 2000 circa NAP -8,8 m.

Waar het Hindergat in het gebied achter de Hinderplaat uitmondt, bouwt zich vanaf 1987 een binnendelta op. De groei van deze binnendelta trad voornamelijk op in de periode 1990 – 1995. Na 1995 is de groei gestopt. Aan de noordzijde is deze ontwikkeling opgenomen in het natuurbouwproject de 'Kleine Slufter'.

Na 1991 ontwikkelt zich tevens een buitendelta. De buitendelta valt samen met de uitbouwende strandhaak. In 1993 sluit de buitendelta zich waardoor de

diepe uitloper naar zee van het Hindergat verdwijnt. In de daarop volgende jaren verondiept de buitendelta verder en breidt uit in zuidelijke richting.

De strandhaak

Aan de zuidwestpunt van de Slufterdam heeft zich direct na aanleg een strandhaak gevormd. In lengte en hoogte verandert de strandhaak slechts weinig. Vanaf 1998 neemt de hoogte van de strandhaak af. De uitlopers van de strandhaak zijn geïntegreerd met de opbouwende buitendelta van het Hindergat (zie ook paragraaf 4.4.2).

De oriëntatie van de strandhaak is anno 2000 ongeveer gelijk met die van de Slufterdam, en de buitendelta van het Hindergat is bijna volgroeid. De hoogte van de strandhaak is afgenomen in vergelijking tot de voorgaande jaren. Doordat de buitendelta van het Hindergat in zuidwestelijke richting uitbreidt, vindt er zeewaarts van de strandhaak een verdere versteiling van het onderwaterprofiel plaats.

De natuurlijke slufte

Aan de oostzijde van de strandhaak vormde zich rond 1990 een geulen- en platenstelsel. Er vindt bankmigratie langs de zuidzijde van de 'Slufte' plaats. Van Vessem (1996) typeert dit gebied als een natuurlijke slufte. In deze slufte zijn de hoogteverschillen geringer dan de hoogteverschillen in de aangelegde Kleine Slufte (zie paragraaf 4.4.4 en Van Vessem 1996). Ondanks het feit dat dit gebied wordt bedreigd door het Hindergat dat zich in noordwaartse richting verplaatst weet het gebied zich te handhaven.

De noordzijde van de Hinderplaat

In de eerste jaren na de aanleg van de 'Slufte' is de noordzijde van de plaat nauwelijks aan verandering onderhevig. De hoogte van de plaat neemt geleidelijk toe. In 1991 is de minimale diepte van de noordzijde van de plaat circa NAP -0,5 m. Na 1991 verdiept de noordzijde van de plaat en breidt in oostelijke richting uit. In 1992 is dit deel van de plaat aan de oostkant circa 500 m breder geworden ten opzichte van 1990. Na 1992 neemt de oostwaartse groei geleidelijk af.

In 1995 breekt de plaat op enkele plaatsen door en er ontstaat op circa één kilometer ten zuiden van het Hindergat een kortsluitgeul. Ook in 1996 is deze geul nog aanwezig. In 1997 is de geul verzand; de noordzijde van de plaat is in dit jaar op z'n diepst (circa NAP -1,5 m tot -2 m). In 1998 ontstaat iets zuidelijker een nieuwe kortsluitgeul die in 1999 doorzet tot een diepte van circa NAP -4 m.

Anno 2000 vormt deze middengeul door de Hinderplaat een scheiding tussen het noordelijke, stabiele deel van de Hinderplaat en het dynamische zuidelijke deel. Het noordelijke deel van de plaat is deels 1 à 2 m diep, meer zuidelijk komen dieptes voor tussen NAP -0,5 en NAP.

Sedimentkarakteristieken

Op het noordelijke deel van de Hinderplaat liggen vóór 1994 geen meetpunten van slibgehalte en mediane korreldiameter. De metingen van 1994 op het noordelijke deel van de Hinderplaat laten een mediane korreldiameter zien van 170 à 200 µm. Het slibgehalte is klein (circa 1%). Anno 2000 is de Hinderplaat

in korrelgrootte toegenomen. De mediane korreldiameter varieert tussen 180 μm en 225 μm . Het slibgehalte is 1 à 3%.

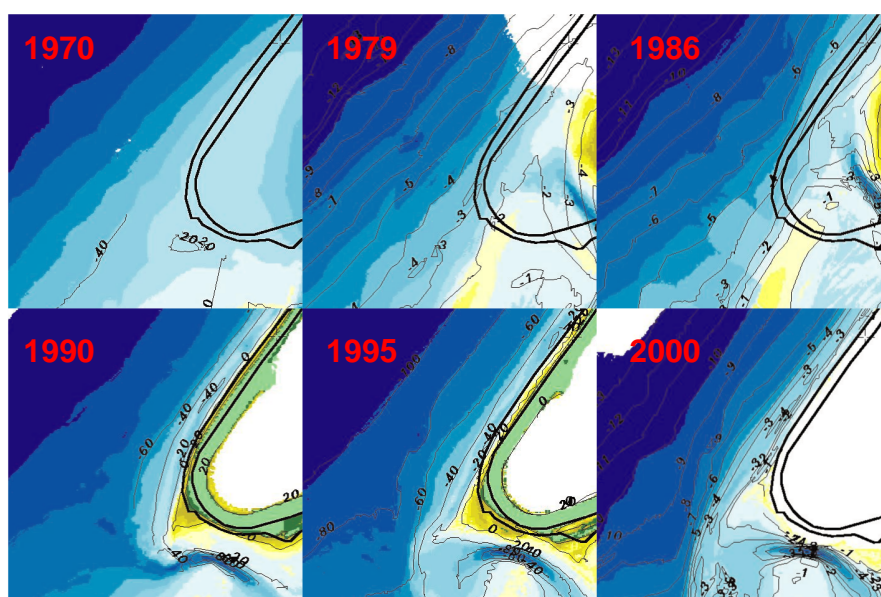
De metingen van slibgehalte en korrelgrootte hebben te weinig detail om meer over de ontwikkeling van de bodemsamenstelling van het Hindergat, de Strandhaak of de zuidzijde van de Slufterdam te kunnen zeggen.

4.4.2 Omgeving Slufterdam

De omgeving van de Slufterdam bestaat de volgende eenheden:

1. De zeezijde van de Slufterdam
2. Het dwarsprofiel van het Slufterstrand

Onderstaande figuur is opgebouwd uit uitsneden van bodemkaarten die staan afgebeeld in figuur 2.1 tot en met 2.6. Naar deze figuren wordt tevens verwezen voor de bijbehorende legenda.



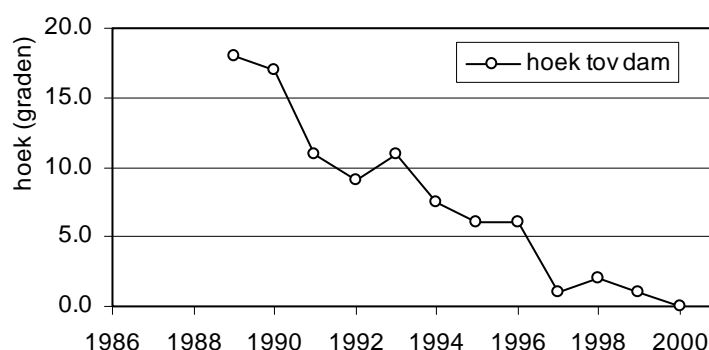
Figuur 4.11 Morfologie omgeving Slufterdam (1970 – 2000)

Het Slufterstrand

Het Slufterstrand is aangelegd met een veronderstelde evenwichtsoriëntatie van 33°N - 213°N , dus met een normaal wijzend naar 303°N . Na de aanleg bleek vooral de zuidwestpunt van de 'Slufter' onderhevig aan sterke erosie. Hierdoor draaide lokaal de kustlijn bij. In 1989 week de oriëntatie van de zuidwestpunt circa 20 graden af van het noordelijke deel van het Slufterstrand. Deze hoek nam in de daarop volgende jaren geleidelijk af (zie figuur 4.12). Uit de kaarten komt naar voren dat de Slufterkust eind jaren negentig een vrijwel rechte oriëntatie had. Deze heroriëntatie ging gelijk op met het opbouwen van de buitendelta van het Hindergat en het uitbouwen van de strandhaak (zie vorige paragraaf).

Zeewaarts van de Strandhaak is de bodem zeer steil. Dit wordt enerzijds veroorzaakt door het uitbouwen van de Strandhaak. Anderzijds doordat er zeewaarts van de Strandhaak erosie optreedt. Deze erosie was het grootst in de periode 1986 tot 1990, zoals blijkt wanneer de verschilkaarten onderling

worden vergeleken (figuur 4.13 tot en met figuur 4.16). Over de hele periode 1986 – 2000 is hier de bodem 2 tot 2,5 m verdiept.



Figuur 4.12 Verandering hoek tussen de Strandhaak en de Slufterdam

Uit verschilkaarten blijkt de aanwezigheid van een sedimentatiegebied ten westen van het zuidelijke deel van de Slufterdam. Deze sedimentatie heeft niet zozeer te maken met het uitzakken van de buffer, als wel met het opvullen van een kuil die in de bodem van 1986 op die locatie aanwezig was. Met het opvullen van deze kuil zijn de dieptelijnen tussen NAP –4,0 m en NAP –8,0 m rechtgetrokken.

Uit de verschilkaart 1990 – 1995 (figuur 4.15) blijkt de erosie die het Slufterstrand heeft ondergaan. Met uitzondering van het noordelijke deel is over de gehele lengte van het Slufterstrand erosie opgetreden. Bedenk dat een deel van de erosie in de figuur wordt veroorzaakt door de migratie van kustparallelle banken. De sedimentatie die in de verschilkaart 1995 – 2000 zichtbaar is wordt veroorzaakt door het onderuitzakken van de aangebrachte suppleties.

Aan de noordzijde van het Slufterstrand zijn alleen de diepe kustlijnen (vanaf NAP –8,0 m) veranderd. Hier is in de periode 1986 tot 1995 een geringe erosie opgetreden van circa 0,5 m. De ligging in 2000 is nagenoeg gelijk aan die van 1995. De ligging van de ondiepe kustlijnen is hier door de jaren heen vrijwel onveranderd gebleven.

De Slufterdam heeft zich in de periode tot 1990 aangepast zodat deze op een vloeiende manier aansluit op de Zuiderdam van de Maasvlakte. De Slufterdam sluit met een geleidelijke curve aan op de blokkendam. Tot 1990 vindt er aanzanding plaats.

Het dwarsprofiel van het Slufterstrand

Bij de aanleg van de zeezijde van de 'Slufter' is een aanlegmethode toegepast waarbij een zeer steil talud is aangelegd. Volgens het ontwerp zou dit steile profiel zich geleidelijk aanpassen totdat het lokale evenwichtsprofiel is bereikt. Om te voorkomen dat de dam van het slibdepot zou eroderen is een zandbuffer aangebracht. Tussen de raaien 881 en 1015 is circa 1,2 miljoen m³ extra zand aangebracht.

In figuur 4.17 is voor verschillende jaren de ontwikkeling van het profiel van het Slufterstrand gepresenteerd. Ter plaatse van JARKUS-raai 941 is een dwarsdoorsnede van het strand getekend. Er is een raai gekozen ten noorden van de strandhaak, op de zuidwestpunt van de 'Slufter'. In de bovenste figuur

is de ontwikkeling van 1988 tot en met 1994 gepresenteerd, in de onderste figuur de ontwikkeling van 1994 tot en met 2000.

In de eerste jaren na de aanleg van de Slufterdam is de buffer die op het strand is aangebracht sterk geërodeerd. Van 1988 tot 1992 is het strand tussen NAP -4,0 m en NAP +8,0 m circa 125 m teruggetrokken, dus gemiddeld circa 30 m per jaar. Om de zuidwestpunt te versterken is in 1992 vervolgens circa 700 m³/m in het betreffende kustvak opgebracht (strandsuppletie). In figuur 4.17 is de suppletie zichtbaar als de toename van 1993 ten opzicht van 1992.

De suppletie betekent een tijdelijke versterking van de punt; een jaar later (1994) is circa 60% van het suppletievolume verdwenen. De NAP +4,0 m lijn verplaatst nu met circa 15 m per jaar landwaarts. Uit noordelijk gelegen JARKUS-raaien kan afgeleid worden dat de aanliggende kustvakken noordwaarts van JARKUS-raai 941 van de suppletie profiteren. De erosie, aanvankelijk circa 25 m per jaar, neemt hier in de jaren 1993 tot en met 1995 af tot circa 6 m per jaar.

In 1995 is de teruggang van de kust sinds 1988 het grootst. De kust van de zuidwestpunt van de 'Slufter' (NAP tot NAP +4,0 m) ligt circa 115 m tot 130 m landwaarts ten opzicht van 1988. In 1996 wordt daarom opnieuw gesuppleerd. Op de zuidwestpunt wordt circa 650 m³/m op het strand gebracht. In 1997 wordt vanaf het strand met circa 775 m³/m het hele profiel gevoed. In figuur 4.17 zijn deze suppleties zichtbaar als de toename van 1996 ten opzichte van 1995 en de toename van 1997 ten opzichte van 1995. Ook in 1998, 1999 en 2000 wordt het Slufterstrand versterkt. Deze suppleties zijn niet zo duidelijk in de gekozen figuur terug te vinden.

In 1999 ligt de zuidwestpunt van de 'Slufter' (NAP +4,0 m en NAP +2,0 m lijnen) circa 100m landwaarts ten opzicht van 1988. De NAP-lijn ligt circa 80 m landwaarts ten opzicht van 1988.

Door de regelmatig uitgevoerde suppleties is het niet mogelijk een autonome meerjarige trend in de profielontwikkelingen te onderscheiden. Wel blijkt uit de eerste jaren waarin niet is gesuppleerd dat de teruggang in die periode circa 30 m per jaar bedroeg.

Sedimentkarakteristieken

Voor de aanleg van de 'Slufter' bevond zich in het gebied rond de locatie voornamelijk sediment met een mediane korreldiameter van 115 µm à 130 µm en een slibgehalte van circa 0,9% à 2,7%. In de omgeving van het reeds aanwezige zanddepot werd sediment gevonden met een mediane korreldiameter van 150 µm à 190 µm en grover. Het slibgehalte aldaar is laag: 0,1% à 0,9%.

In 1989, enkele jaren na de aanleg van de 'Slufter', is de korreldiameter aan de zeezijde van de dam toegenomen tot 120 µm à 145 µm. Het slibgehalte is ongeveer gelijk: 1,5% à 2,5%. Op het Slufterstrand is een beperkt aantal meetlocaties beschikbaar. Het is niet bekend op welke diepte de metingen zijn genomen. De waarde varieert tussen 120 µm en 140 µm; het slibgehalte is circa 1%.

In 1991 en 1992 is in totaal circa 1 miljoen m³ zand gesuppleerd. Het zand is gewonnen op de strandhaak en in de Euro-Maasgeul. De korreldiameter en het slibgehalte zijn niet bekend.

Voor 1994 en 2000 zijn te weinig meetpunten op het Slufterstrand en aan de zeezijde van de Slufterdam beschikbaar om nauwkeurige uitspraken te doen over korreldiameter en slibgehalte aldaar. Uitgaande van de beschikbare punten lijkt de korreldiameter aan de zeezijde van de dam toe te nemen naar circa 170 µm in 1994 en 170 µm à 195 µm in 2000. Op het strand wordt in 1994 sediment aangetroffen van circa 135 µm. In 2000 is de spreiding van de korreldiameter op het strand groter: 150 µm à 240 µm. Het slibgehalte is in 1994 aan de zeezijde vergelijkbaar met de voorgaande periode: 1,1% à 2,2%. In 2000 is het slibgehalte aanmerkelijk hoger: 2% à 4,9%. Op het strand is het slibgehalte laag: circa 1% in 1994 en 0,8% à 2,6% in 2000.

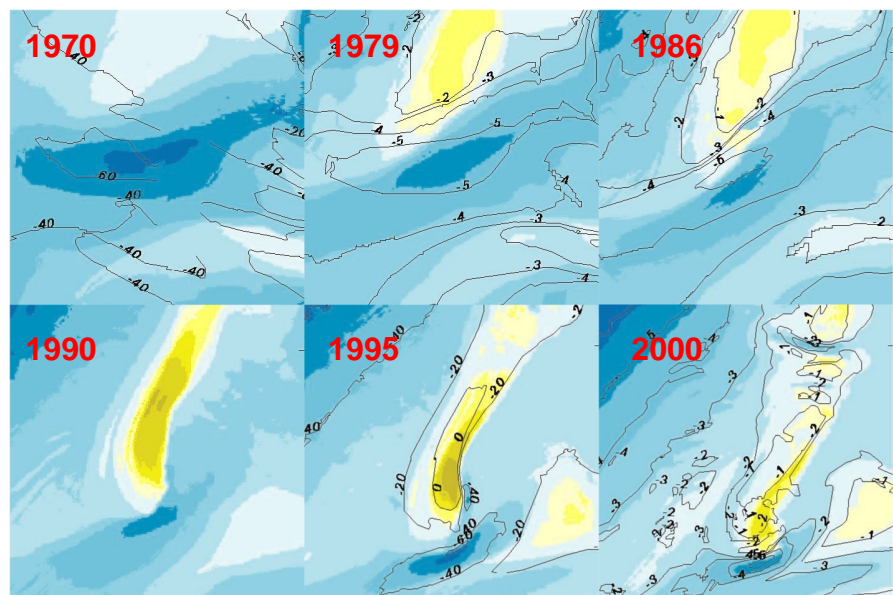
Langs de Slufterkust zijn in de negentiger jaren meerder (strand-)suppleties uitgevoerd om te sterke aantasting van de Slufterdam te voorkomen. In totaal is in de periode 1996 - 2000 ruim 7 miljoen m³ zand gesuppleerd. Uit kuberingen blijkt dat dit volume vrijwel gelijk is aan het zandverlies van de Slufterkust (Steijn e.a. 2000). Het sediment is afkomstig uit het havengebied (1996, 1998 en 1999), de Euro-Maasgeul (1997) en de Loswal Noord (2000). De korrelkarakteristieken van het suppletiezand afkomstig uit het havengebied variëren tussen 145 µm en 185 µm, met een gemiddelde van 165 µm. Het materiaal van de Loswal Noord is aanmerkelijk grover: 200 µm à 250 µm.

4.4.3 Omgeving Bokkegat

De omgeving van het zuidelijke deel van de Hinderplaat beslaat de volgende eenheden:

- 1 Vooroever en het gebied achter de Hinderplaat (het binnengebied)
- 2 Bokkegat, Hinderplaat en Garnalenplaat

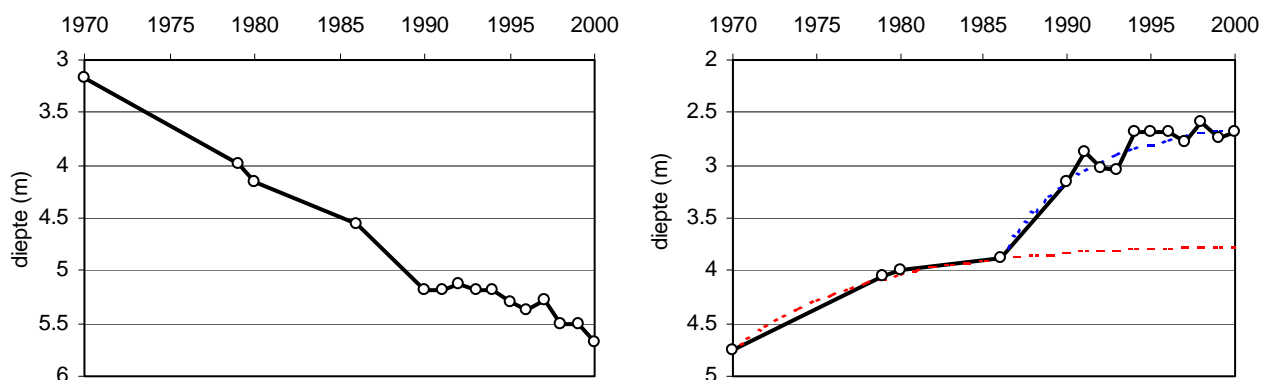
Onderstaande figuur is opgebouwd uit uitsneden van bodemkaarten die staan afgebeeld in figuur 2.1 tot en met 2.6. Naar deze figuren wordt tevens verwezen voor de bijbehorende legenda.



Figuur 4.18 Morfologie omgeving Bokkegat (1970 – 2000)

Vooroever en binnengebied

Na de afsluiting van het Haringvliet in 1970 is de vooroever gaan verdiepen. Dit betekent dat de dieper gelegen contouren verder landinwaarts komen. In figuur 4.19a is de ontwikkeling van de diepte van een locatie zeewaarts van de Hinderplaat gepresenteerd. Dit punt had in 1970 een diepte van ruim 3 m. In de daaropvolgende jaren is de diepte lineair toegenomen tot circa 4,5 m in 1986 en ruim 5,5 m in 2000. Dit is een verdieping van 2,5 m over 30 jaar: circa 8,5 cm per jaar. De helling van de vooroever is circa één op 500 à 600. Dit betekent dat bij een verdieping van één meter de contouren 500 m à 600 m landwaarts verplaatsen. Anno 2000 zijn de contouren van het centrale deel van de monding van het Haringvliet ten opzichte van 1970 dus circa 1200 m tot 1500 m landwaarts verschoven. Dit komt overeen met circa 40 m tot 50 m per jaar. Er is geen indicatie dat de verdieping zal afnemen.



Figuur 4.19 a) Ontwikkeling diepte zeezijde Hinderplaat, b) Ontwikkeling diepte binnenzijde Hinderplaat (diepte ten opzichte van NAP)

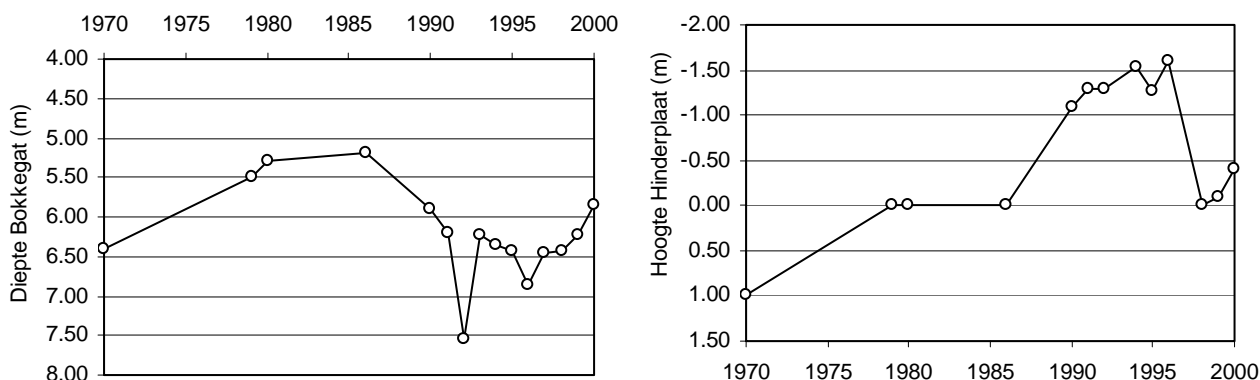
Tegelijkertijd met de verdieping van de vooroever verondiept het gebied achter de Hinderplaat. In figuur 4.19b is de ontwikkeling van een locatie achter de Hinderplaat getekend. In 1970 had dit punt een diepte van ruim 4,5 m. Dit nam af tot circa 4 m in 1979. In 1986 is de diepte ongeveer gelijk aan de diepte in 1979. Na 1986 neemt de diepte af tot ruim 3 m in 1989. In de periode 1995 – 2000 stabiliseert de diepte zich op circa 2,7 m.

Analoog met trends voor het sedimentvolume uit paragraaf 4.3.2 is het mogelijk door de meetpunten in figuur 4.19b een exponentiële functie te trekken. De bijbehorende tijdschaal bedraagt voor de curve vóór 1986 ongeveer 8 jaar en voor de curve ná 1986 ongeveer 5 jaar. De evenwichtsdiepte bedraagt circa 2,5 m.

Bokkegat, Hinderplaat en Garnalenplaat

Het Bokkegat maakt een interessante ontwikkeling door. In figuur 4.20a is de maximale diepte van het Bokkegat uitgezet tegen de tijd. Na de afsluiting van het Haringvliet in 1970 is de geul gaan verondiepen. De maximale diepte nam in die periode af van circa 6,5 m tot ruim 5 m in 1986. Na 1986 is de diepte van het Bokkegat sterk toegenomen, tot circa 6,5 m eind jaren negentig. Sinds 1999 en 2000 neemt de diepte echter weer af. Deze afname verloopt simultaan met het ontstaan van de middengeul over de Hinderplaat en de sterke afname van de maximale hoogte van de Hinderplaat.

Het Bokkegat, in 1970 nog een geul van formaat, nam in oppervlakte af van 12.000 m² naar circa 5.500 m² in 1989, een afname van circa 6.500 m². Uit Roelvink e.a. (1998) blijkt dat de doorsnede in de periode 1990 – 1996 blijft afnemen, zij het met slechts circa 100 m² per jaar.

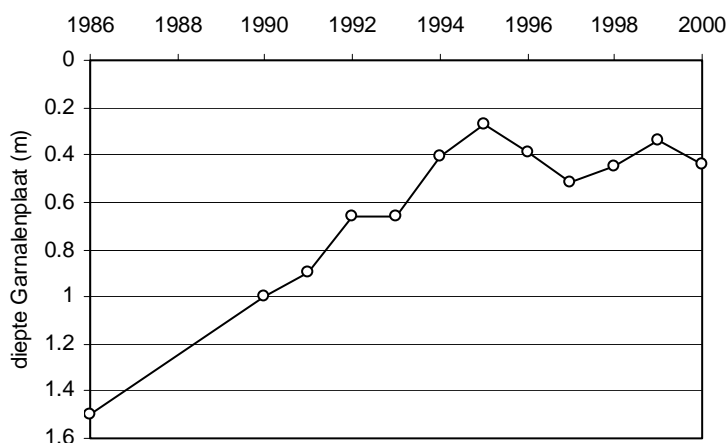


Figuur 4.20 a) Ontwikkeling maximale diepte Bokkegat, b) Ontwikkeling hoogte Hinderplaat (ten opzichte van NAP)

De Hinderplaat maakt grote veranderingen door. Sinds 1970 is de hoogte van de plaat gestaag toegenomen (zie figuur 4.20b). Begin jaren tachtig was de maximale hoogte rond de gemiddelde waterlijn (NAP). Na 1986 neemt de hoogte toe tot ruim NAP +1,0 m in 1990 en NAP +1,5 m in 1996. De oppervlakte boven NAP neemt echter af: van circa 70 ha in 1990, via circa 35 ha in 1995 tot circa 10 ha in 2000.

In 1998 is de hoogte van de Hinderplaat circa 1,5 m afgenomen ten opzichte van 1996 (in 1997 is de top van de Hinderplaat niet bemeten). In 2000 blijkt de maximale hoogte van de Hinderplaat te zijn toegenomen tot circa NAP +0,5 m.

De zuidpunt van de Hinderplaat migreert in de periode 1986 – 1990 circa 500 m zuidoostwaarts, in de periode 1990 – 1995 circa 400 m zuidwaarts en in de periode 1995 – 2000 circa 450 m oostwaarts. Aangezien de westzijde van de Garnalenplaat (noordelijke helft) nauwelijks van plaats verandert (circa 250 m in de periode 1986 – 2000) komt het Bokkegat in de verdrukking.



Figuur 4.21 Ontwikkeling diepte Garnalenplaat (ten opzichte van NAP)

De Garnalenplaat in de huidige vorm is ontstaan in de periode 1986 – 1990. In 1986 was de maximale hoogte van de plaat NAP –1,5 m. In de daaropvolgende jaren is de hoogte toegenomen tot boven NAP –0,5 m (zie figuur 4.21). Na 1995 stabiliseert de hoogte en is in 2000 circa NAP –0,45 m. De uitbreiding van de Garnalenplaat vindt voornamelijk in noordelijke richting plaats met circa 700 m.

In het verlengde van de Hinderplaat bevindt zich aan de zuidwestzijde een ondiepte. Deze ondiepte neemt door de jaren heen langzaam in hoogte toe. Sinds 1998 doorbreekt de ondiepte de NAP –2,0 m lijn. Anno 2000 heeft deze nieuwe plaat boven het niveau van NAP –2,0 m een lengte van circa 2.500 m en een oppervlakte van circa 60 ha. Tussen deze ondiepte en de zuidwestpunt van de Hinderplaat ontstaat een klein geultje.

Sedimentkarakteristieken

Zeewaarts van de Hinderplaat wordt in 1985 een mediane korreldiameter aangetroffen van circa 140 µm (130 µm à 160 µm voor het hele gebied zeewaarts van de Hinderplaat). Deze waarde blijft min of meer gehandhaafd tot 1992. In de metingen van 1994 en 2000 is de mediane korreldiameter toegenomen tot circa 155 µm (150 µm à 180 µm voor het hele gebied). Het slibgehalte is aan de zeezijde van de Hinderplaat in 1985 kleiner dan 1%. Tijdens de aanleg verdubbelt deze waarde naar circa 2%. In de daarop volgende jaren neemt het slibgehalte af naar minder dan 1% in 1994. De meting van 2000 laat een voor het buitengebied relatief hoge waarde zien van circa 2,7%

In het gebied achter de Hinderplaat is de mediane korreldiameter zeer afhankelijk van de locatie waar gemeten wordt. Direct landwaarts van de Hinderplaat wordt in 1985 een mediane korreldiameter aangetroffen van circa 90 µm. Het slibgehalte is vrij hoog, 20% à 25%. In de volgende jaren neemt de korreldiameter geleidelijk toe naar 115 µm in 1994. In 2000 is de korreldiameter toegenomen tot circa 180 µm.

Het slibrijke gebied achter de Hinderplaat neemt van 1985 tot 1994 in omvang af (vergelijk figuur 2.11 tot en met figuur 2.13), terwijl de waarde van de optredende slibgehalten varieert tussen 20 % en 40%. In 2000 wordt een toename van het slibrijke gebied waargenomen (figuur 2.14) en ook het slibgehalte neemt toe.

De metingen van 1994 op de hoogste delen van de Hinderplaat geven een mediane korreldiameter van 180 à 210 µm. In 1989 was deze waarde niet groter dan 180 µm. Ook op de Hinderplaat zijn de slibgehalten klein (circa 1%). Anno 2000 is de Hinderplaat verder in korrelgrootte toegenomen. De mediane korreldiameter varieert tussen 180 µm en 240 µm voor de hele plaat en op de hoogste delen zelfs tussen 240 µm en 270 µm. Op het zuidelijke deel van de Hinderplaat zijn de slibgehalten kleiner dan 1%, op het noordelijke deel van de Hinderplaat komen hogere slibgehalten voor: 1 tot 3%.

De mediane korreldiameter op de westzijde van de Garnalenplaat is 150 µm à 170 µm in 1994. In 2000 worden hier grotere waarden gemeten, 170 µm à 200 µm. Naar het oosten toe is het sediment fijner. Het slibgehalte is in 1994 aan de westzijde kleiner dan 1% en is 1% à 3% op de plaat zelf. In 2000 is het slibgehalte op de plaat 4% à 10%. In het Bokkegat is de korrelgrootte 130 µm à 160 µm in 1994, en 130 µm à 150 µm in 2000. In het Bokkegat worden zowel in 1994 als in 2000 vrij grote slibgehalten aangetroffen, respectievelijk

7,4% en 18,2%. Op de ondiepte ten zuiden van de Hinderplaat is de korrelgrootte 150 μm à 170 μm in 1994, en 180 μm à 215 μm in 2000. Het slibgehalte is hier kleiner dan 1%.

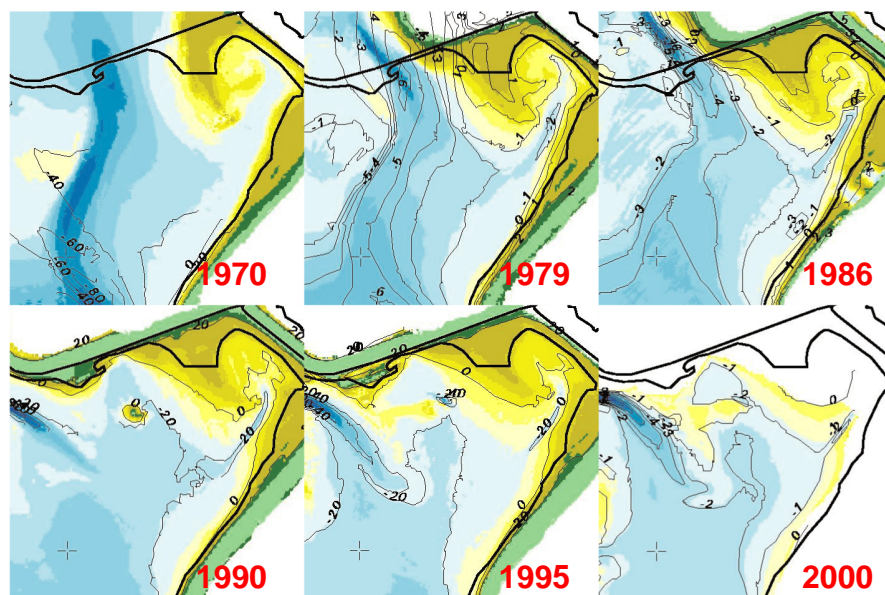
De metingen van 1985 tot en met 1992 hebben te weinig detail om meer over de ontwikkeling van de bodemsamenstelling van de Hinderplaat, de Garnalenplaat, het Bokkegat of de nieuwe ondiepte ten zuiden van de Hinderplaat te kunnen zeggen.

4.4.4 Omgeving Brielse Gat

De omgeving van het Brielse Gat bestaat de volgende eenheden:

- 1 Voormalig Gat van de Hawk
- 2 Voormalige Westplaat
- 3 Het Brielse Gat
- 4 Het Vogeleiland
- 5 De Kleine Slufter

Onderstaande figuur is opgebouwd uit uitsneden van bodemkaarten die staan afgebeeld in figuur 2.1 tot en met 2.6. Naar deze figuren wordt tevens verwezen voor de bijbehorende legenda.



Figuur 4.22 Morfologie omgeving Brielse Gat (1970 – 2000)

Het Brielse Gat

Door de bouw van de Slufterdam werd de mond van het voormalige Brielse Gat iets naar het zuidwesten verplaatst. Het sluftergebied kwam hierdoor iets meer beschermd te liggen voor golven uit het noorden tot noordwesten en kreeg een iets grotere komberging ten koste van komberging op de buitendelta (Eysink 1990).

De diepte van het Brielse Gat is zeer constant circa 2 m. Omdat de bodem hier een zeer kleine helling heeft, zorgen kleine veranderingen in het bodemniveau voor grote veranderingen in de ligging van de contouren. Vandaar dat door de jaren heen in de kaarten veel fluctuaties van de ligging van de NAP -2,0 m lijn zichtbaar zijn. De veranderingen in het gebied zijn in 2000 zeer gering.

Het smalle geultje dat het gebied achter de Westplaat ontsluit neemt geleidelijk in breedte en diepte af. Anno 2000 is de diepte van het geultje ruim 2 m. De doorsnede van de geul is in overeenstemming met de het getijdeprisma van het achterliggende gebied. (zie Arends 1997, van Vessem 1998, Thönis 2001)

Voormalige Gat van de Hawk

Restanten van het Gat van de Hawk zijn nog in de huidige dieptelijnen te herkennen. Na het sluiten van de Slufterdam in 1987 is het Gat van de Hawk ondieper geworden. In de periode tot 1990 is de bodem ruim 2 m omhoog gekomen. Gedurende de jaren 1990 – 1995 is er ruim een halve meter bijgekomen. Na 1995 blijft de bodemligging gelijk. Gedurende de periode 1995-2000 is de sedimentatie in dit gebied zeer gering.

Natuurbouwprojecten de Kleine Slufter en het Vogeleiland

Het natuurbouwproject de Kleine Slufter sluit aan bij de natuurlijke morfologische ontwikkeling van de binnendelta van het Hindergat. Hierdoor groeit vooral de westelijk gelegen 'Stuifdijk'. Deze zanddijk groeit in de periode 1990 tot 1995 circa 500 à 800 m uit in zuidoostelijke richting. Let op, ook de herstelwerkzaamheden uit 1994 vallen in deze periode. Het gebied tussen het vogeleiland en de uitlopers van de Stuifdijk wordt circa 1,80 m ondieper. In de jaren tot 2000 breidt de dijk verder uit; verder zijn de veranderingen klein (zie figuur 4.16). De gegevens hebben niet genoeg detail om iets over de slufter achter de zanddijk te kunnen zeggen.

Het vogeleiland is in het voormalige Gat van de Hawk aangelegd. Het Vogeleiland heeft in de beginjaren een belangrijke functie gehad voor broedvogels. Sinds 1990 is een groot deel van het eiland door stormen afgeslagen. In 1993 is gepoogd het eiland te herstellen. Maar in hetzelfde jaar sloegen opnieuw de stormen toe. Daarna zijn er geen verdere pogingen ondernomen het eiland te herstellen. In de periode 1995 tot 2000 neemt de hoogte van het vogeleiland verder af van NAP +0,5 m tot circa NAP. De ontgraving die ten behoeve van de versterking van het vogeleiland is uitgevoerd handhaaft zich als een kleine geul.

Voormalige Westplaat

Het havengebied Maasvlakte is op de ondiepten van de voormalige Westplaat aangelegd. Het meest zuidelijke deel van de Westplaat is in de huidige morfologie nog steeds te herkennen als de ondiepte die de Brielse Gatdam afschermt van het mondingsgebied. Na voltooiing van het zanddepot in 1976 heeft zich veel sediment aan de zuidwestzijde op de plaat afgezet waardoor de plaat aanvankelijk in breedte toenam.

Sinds de aanleg van de 'Slufter' ondergaat de Westplaat subtiele veranderingen. Door de kleine gradiënten in de bodemligging kunnen relatief grote fluctuaties ontstaan in de ligging van de dieptelijnen. Niet alle ontwikkelingen kunnen worden aangewezen als een trend. Helaas ontbreken gegevens over de bodemligging na 1996 voor het deel van de Westplaat boven NAP. Ook hier geldt dat door de kleine hellingen grote fluctuaties in de ligging van de contouren ontstaan.

Sinds 1986 is op de plaat ongeveer 50 à 60 cm verdieping opgetreden; hierdoor zijn de contouren van de plaat circa 250 m in oostelijke richting

verschoven. Het gebied achter de Westplaat is verondiept. De sedimentatie bedraagt circa 20 tot 80 cm. Deze verondieping is vooral in de eerste vijf jaar na aanleg opgetreden. Aan de zeezijde is de plaat circa 20 tot 40 cm geërodeerd. Hierdoor zijn de contouren circa 150 m noordwaarts verplaatst. Uit de contour voor gemiddeld waterniveau (NAP-lijn) blijkt dat de kop van de plaat in oostelijke richting uitbreidt. Hierdoor wordt het verbindingsgeultje naar het achterliggende gebied bekneld.

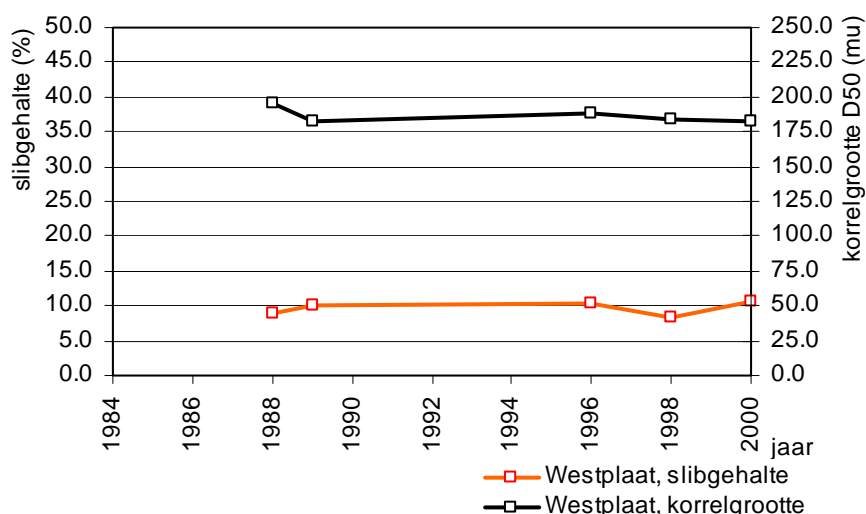
Sedimentkarakteristieken

In de monding van het Brielse Gat worden slibgehalten aangetroffen tussen 1% en 60%. Het slibgehalte is sterk afhankelijk van de locatie. In het gebied grofweg tussen de kust van Voorne en de Slufterdam varieert het slibgehalte tussen 2% en 8% voor de metingen uit 1985, 1989 en 1994. Tijdens de meetcampagne van 2000 worden slibgehalten gevonden tussen 5% en 30% (zie figuren 2.7 tot en met 2.14).

In het voormalige Gat van de Hawk zijn hoge slibgehalten gemeten. In zijn oorspronkelijk staat bevond zich in het Gat van de Hawk sediment met een slibgehalte van 2% à 5% en een mediane korreldiameter van 145 µm à 170 µm. Na de afsluiting van de geul worden in 1987 en 1989 slibgehalten tussen 50% en 60% aangetroffen. Deze gaan gepaard met korreldiameters tussen 15 µm en 60 µm. In 1994 en 2000 worden aanmerkelijk lagere slibgehalten gemeten: tussen 10% en 30%. De korreldiameter varieert in 1994 tussen 100 µm en 150 µm, en in 2000 tussen 200 µm en 300 µm. Hierbij moet opgemerkt worden dat het aantal meetpunten zeer gering is en dat de meetpunten in de nabijheid van het voormalige vogeleiland liggen dat vermoedelijk met vrij grof zand is aangelegd.

Het detail van de metingen is te gering om uitspraken te kunnen doen over de bodemsamenstelling van de Kleine Slufter.

In figuur 4.23 is het gemiddelde van alle op de Westplaat genomen monsters uitgezet tegen de tijd. Het blijkt dat zowel de waarden voor het slibgehalte als de waarden voor de mediane korreldiameter door de jaren heen vrij constant zijn.



Figuur 4.23 Gemiddelde waarde slibgehalte en mediane korreldiameter op de Westplaat

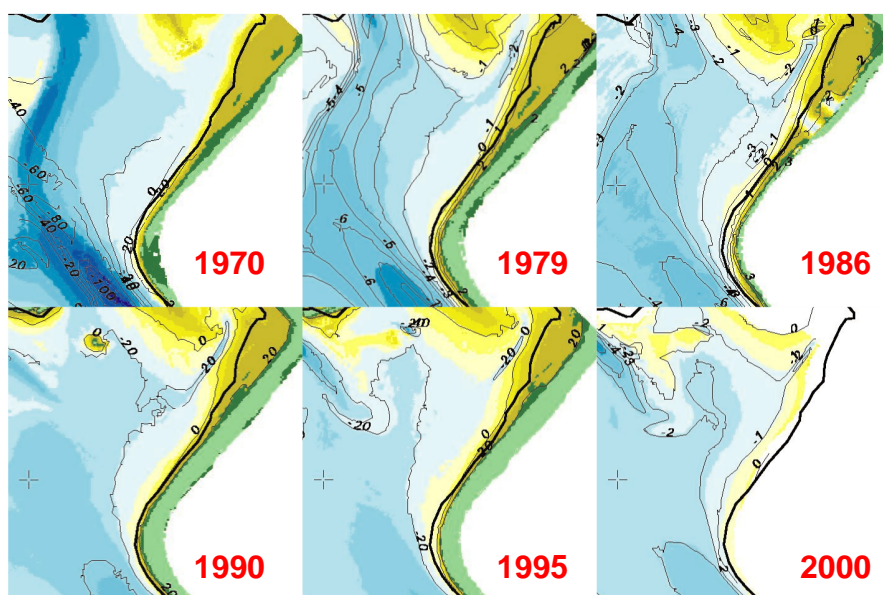
Aan de zeezijde van de Westplaat worden slibgehalten aangetroffen tussen 1% en 4%. In het gebied achter de Westplaat zijn de slibgehalten hoger: 20% tot 50%. De mediane korreldiameter die op de Westplaat wordt aangetroffen varieert tussen 200 μm en 300 μm . In het gebied achter de Hinderplaat is het sediment fijner: 60 μm à 100 μm .

4.4.5 Omgeving Voorne

De omgeving van de noordwest-kust van Voorne bestaat de volgende eenheden:

- 1 De noordwest-kust van Voorne (Strand van Voorne),
- 2 De Groene Punt
- 3 De noordelijke uitlopers van het Rak van Scheelhoek

Onderstaande figuur is opgebouwd uit uitsneden van bodemkaarten die staan afgebeeld in figuur 2.1 tot en met 2.6. Naar deze figuren wordt tevens verwezen voor de bijbehorende legenda.



Figuur 4.24 Morfologie omgeving Voorne (1970 – 2000)

Noordwestkust van Voorne

Na de afsluiting van het Brielse Gat in 1966 en de afsluiting van het Haringvliet in 1970 is het gebied veel veranderd. De onderwateroever is ondieper geworden en het strand is verbreed. In de periode 1985 - 1987 is op de Noordwestkust van Voorne, van de Brielse Gatdam tot en met de Groene Punt circa 3,4 miljoen m^3 gesuppleerd. Het betrof een duinvoetversterking van 100 à 170 m breedte over een hoogte van globaal NAP +2,0 m tot NAP +8,0 m.

Het strand van Voorne kan opgedeeld worden in twee zones. Het eerste deel wordt begrensd door RSP 6.2 en RSP 8.2. Het strand is begroeid en er vindt initiële duinvorming plaats. Op het droge deel bevindt zich ook het voormalige autostrand. Het gebied is zeer stabiel en lijkt weinig in hoogte te variëren. De gemiddelde laagwaterlijn ter hoogte van het autostrand is in de periode 1987-1995 over een afstand van circa 100 m in zeewaartse richting verplaatst (Van Vessem 1996).

Het tweede deel strekt zich uit van RSP 8.2 tot de Groene Punt. Het strand is relatief smal: 200 à 300 m. Beneden de laagwater is de bodem bijna horizontaal; de diepte varieert tussen 1,5 m en 2,5 m beneden NAP. De veranderingen treden op rond de laagwaterlijn. In de periode 1990 tot 1995 treedt in het gebied halverwege tussen de Groene Punt en de Brielse Gatdam sedimentatie op. De NAP -1,0 m lijn verplaatste circa 50 m zeewaarts.

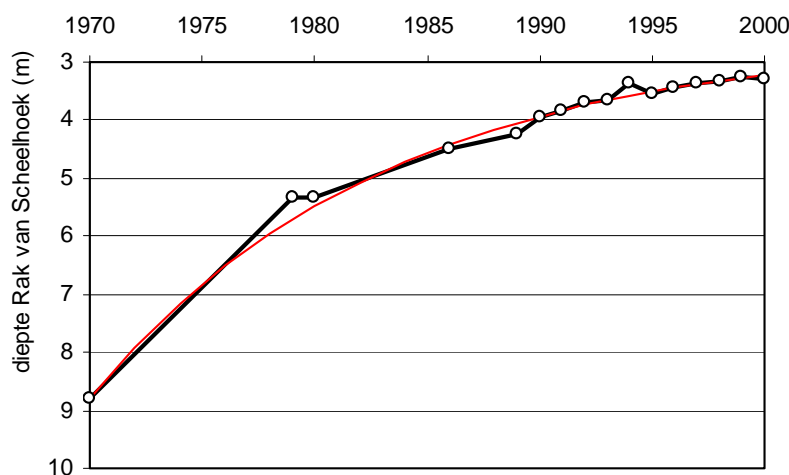
De Groene Punt

Het noordwestelijke strand loopt tot de Groene Punt. De Groene Punt is continu aan erosie onderhevig, wat geleid heeft tot regelmatige suppleties en de teruggang van het duin dat in de diverse metingen zichtbaar is (zie figuur 4.25). De erosie is het sterkst ter hoogte van de Groene Punt (RSP 9.40 tot en met 10.60).

Dankzij de suppleties gaat het strand van de Groene Punt in de periode 1986 - 1987 ongeveer 150 m zeewaarts. In de periode 1987 tot 2000 verplaatst de duinvoet circa 150 m landwaarts. Dit is een teruggang van circa 10 à 15 m per jaar. De laatste jaren neemt de teruggang af.

De noordelijke uitlopers van het Rak van Scheelhoek

In de eerste jaren na de afsluiting van het Haringvliet heeft in het Rak van Scheelhoek een snelle sedimentatie plaatsgevonden. In figuur 4.26 is voor een locatie in het Rak van Scheelhoek tussen de Groene Punt en de Garnalenplaat de diepte van de bodem uitgezet tegen de tijd. Uit deze figuur blijkt dat in de periode 1970 tot 1986 een verondieping van circa 4,5 m optrad. Anno 2000 zijn de veranderingen gering.



Figuur 4.26 Ontwikkeling bodemdiepte Rak van Scheelhoek

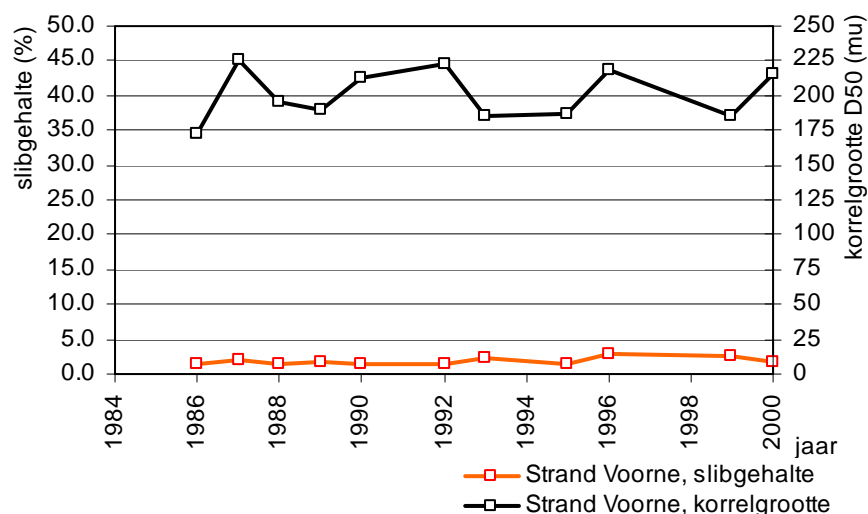
Analoog aan de voorgaande paragrafen is ook hier getracht een exponentiële curve door de meetpunten te trekken. Het is mogelijk door de meeste punten een enkele exponentiële lijn te trekken. Deze lijn heeft een karakteristieke tijdschaal van 13 jaar en een evengewichtswaarde van circa NAP -2,5 m.

Sedimentkarakteristieken

Het op de kust van Voorne gesuppleerde zand kwam niet uit het actieve gedeelte van de buitendelta. Een groot deel van dit zand komt uit de havens van Rotterdam en de laatste suppletie is uitgevoerd met zand uit het

Slufterdepot en bestond uit Pleistoceen zand met een mediane korreldiameter van 250 μm à 300 μm .

In figuur 4.27 is het gemiddelde van alle op de kust van Voorne genomen monsters uitgezet tegen de tijd. Het blijkt dat er veel fluctuatie optreedt in de mediane korreldiameter maar dat zowel de waarden voor het slibgehalte als de waarden voor de mediane korreldiameter door de jaren heen vrij constant zijn.



Figuur 4.27 Gemiddelde waarde slibgehalte en mediane korreldiameter

Op het strand van Voorne zijn geen slibafzettingen waargenomen (zie figuur 4.28 en 4.29). De slibgehaltenes fluctueren tussen 0% en 3% op het zuidelijke deel van het strand (vanaf RSP 8.2 tot Groene Punt). Op het noordelijke deel van het strand, nabij de Brielse Gatdam (RSP 6.2) is een geleidelijke toename van het slibgehalte van het natte strand waarneembaar van circa 4% in 1990 tot ruim 8,5% in 2000. Op het droge strand neemt het slibgehalte na 1996 weer af tot circa 2% in 2000.

In de periode 1986 tot 1990 neemt de korreldiameter op het strand van Voorne toe (zie figuur 4.30 en 4.31). Op het zuidelijke deel neemt de mediane korreldiameter toe van circa 175 μm in 1986 tot circa 250 μm in 1990. Daarna is de korreldiameter constant of neemt zelfs af. Nabij de Brielse Gatdam is de korreldiameter zeer constant 150 μm . Richting het zuiden neemt ook hier de korreldiameter geleidelijk toe.

De mediane korreldiameter in het Rak van Scheelhoek is aan schommelingen onderhevig. De gemeten waarden variëren tussen 20 μm in 2000 en 85 μm in 1994. De slibgehaltenes zijn in het algemeen hoog, maar ook hier is variatie: tussen circa 95% in 2000 en 50% in 1994. Er is geen sprake van een trend. De metingen op het regelmatige bemonsteringsrooster (1985 tot en met 1989) hebben geen bruikbare locaties in het Rak van Scheelhoek.

4.5 Enkele analyses ten behoeve van de andere deelonderzoeken

Bodemschuifspanning

Om de (hydro-)dynamiek te beschrijven wordt de bodemschuifspanning gebruikt zoals deze is berekend voor het Bandbreedte Onderzoek (Steijn 2001). Op basis van de berekeningsresultaten wordt de jaargemiddelde waarde van bodemschuifspanning bepaald. Het jaar is in de berekeningen geschematiseerd door middel van elf golfcondities, elk met een bepaalde duur van voorkomen. Om de jaargemiddelde bodemschuifspanning te bepalen wordt het gewogen gemiddelde bepaald van de (getijgemiddelde) bodemschuifspanning van elk van de berekende (golf-)condities.

Als maat voor de bodemschuifspanning ten gevolge van golven en stroom (die vervolgens dus over getij en golfcondities gemiddeld is) is de piekwaarde genomen die binnen een golfperiode optreedt. Deze parameter, ook wel 'Taumax' genoemd, wordt in de modelleringpraktijk in het algemeen gekozen als maat voor de opwoeling van slib (Steijn e.a. 2001).

Wanneer de Taumax wordt vergeleken met de bodemschuifspanning ten gevolge van de maximale eb- of vloedstroom blijkt dat het effect van golven dominant is ten opzichte van het effect van de stroming. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat het in de modellering niet mogelijk was relevante turbulente processen die bepalend zijn voor de hoge bodemschuifspanningen in geulen, mee te nemen. Hierdoor wordt in de berekening de bodemschuifspanning in de geulen onderschat.

Uit het onderzoek van Steijn e.a. 2001 hebben we de beschikking over jaargemiddelde bodemschuifspanningen uit 1986 (met 'Slufter') en 2000. In figuur 4.32 en 4.33 worden de bodemschuifspanningen voor deze jaren weergegeven (let op: de klassen in de legenda zijn niet allemaal even groot). De verandering van de golfdynamiek wordt bepaald door de berekeningsresultaten van de twee jaren met elkaar te vergelijken.

Omdat in 2000 enerzijds de Hinderplaat gemiddeld lager ligt dan in 1986, en anderzijds de bodem achter de Hinderplaat ten opzichte van 1986 ondieper is geworden, zijn de bodemschuifspanningen in het achterliggende gebied toegenomen. Ook op de Groene Punt en in het Brielse gat zijn de bodemschuifspanningen toegenomen. Door de ontwikkeling van de ondiepte ten zuiden van de Hinderplaat en door de ontwikkeling van het zuidelijke deel van de Garnalenplaat is de bodemschuifspanning op het oostelijke deel van de kust van Goeree afgenomen.

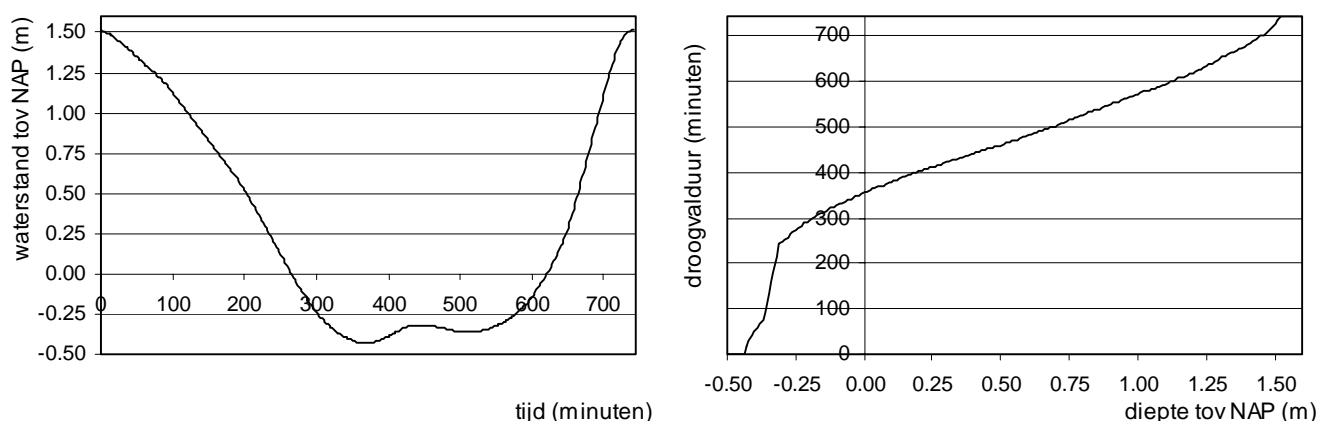
De bodemschuifspanningen van de situatie zonder 'Slufter' zijn niet beschikbaar. Hierdoor is het niet mogelijk op basis van vergelijking tussen de verschillende jaren te constateren wat het effect van de 'Slufter' op de bodemschuifspanning is geweest.

Wel is het mogelijk de bijdrage van de verschillende golfcondities met elkaar te vergelijken. Wanneer een hoge golf (H_s circa 2,5 m) uit noordelijke en zuidwestelijke richting met elkaar worden vergeleken valt op dat de bodemschuifspanning in het Brielse Gat voor de noordelijke conditie ongeveer nul is, terwijl voor de zuidelijke conditie wel bodemschuifspanningen worden berekend. Er moet wel rekening worden gehouden met het feit dat de Maasvlakte (sinds 1973) en het zanddepot zuidelijk daarvan (sinds 1976) de

bijdrage van de noordelijke condities aanzienlijke hebben gereduceerd. Door de aanleg van de 'Slufter' wordt vooral het noordwestelijke segment van het golfklimaat afgeschermd voor de kust van Voorne. Dit segment heeft een zeer kleine jaarlijkse bijdrage aan het golfklimaat (zie golfrozen in figuur 2.2 en 2.3).

Droogvalduur

De droogvalduur van een locatie in het intergetijdegebied hangt samen met de hoogteligging in relatie tot het verloop van de waterstand. In figuur 4.34a is de berekende waterstand (Steijn e.a. 2001) in het Brielse Gat uitgezet tegen de tijd. In de opzet van de berekening was sprake van een 'windopzet' van circa 20 centimeter. Door de werking van het estuarium zijn de waterstanden ongeveer 10 tot 15 centimeter hoger dan op zee. De getijkromme varieert door het hele gebied. Bij de bepaling van de droogvaltijd is voor het gemak aangenomen dat onderstaande getijkromme voor het hele gebied geldt.



Figuur 4.34 a) Verloop waterstanden in het Brielse Gat, b) bijbehorende overschrijdingskromme uitgedrukt in de droogvalduur

In het verloop van de waterstanden wordt langs de Nederlandse kust een zogenaamde 'aggr' waargenomen. Dit is een verschijnsel waarbij de waterstand gedurende laagwater even toeneemt en daarna weer afneemt. Hierdoor is de laagwaterperiode vrij lang. In figuur 4.34b is een overschrijdingskromme waargegeven voor de waterstand ten opzichte van NAP. Voor iedere waterstand uit figuur 4.34a is aangegeven hoeveel minuten gedurende het getij deze waterstand wordt overschreden. Bijvoorbeeld, de NAP-lijn wordt gedurende circa 360 minuten overschreden. Dat wil zeggen dat een gebied met een hoogte rond NAP per getij circa 6 uur droog is.

Met behulp van de figuur 4.34b kunnen bodemkaarten worden vertaald naar droogvalduurkaarten. In figuur 4.35 en 4.36 is voor de bodem van 1986 en 2000 de droogvalduur van verschillende gebieden in de monding van het Haringvliet gevisualiseerd. De figuur laat bijvoorbeeld zien dat anno 2000 de hoogste delen van de Hinderplaat circa zeven uur lang droogvallen en dat met hoogwater de hele Westplaat onderwater staat.

Aangezien de veranderingen in droogvaltijd analoog zijn aan de bodemveranderingen wordt hierop in deze paragraaf verder niet in gaan.

5 Vergelijking van in 1984 voorspelde ontwikkelingen met waargenomen veranderingen

5.1 Evaluatie van de voorspellingen uit MER

In de Projectnota/MER (1984) komen de volgende aspecten aan de orde:

- De morfologische ontwikkeling van de Slufterkust
- Ontwikkeling dwarsprofiel Slufterdam
- Stabiliteit ligging Hindergat
- Morfologie van het studiegebied na een periode van 20 jaar
- Verwachte aanslibbing
- Effecten op de kust van Voorne
- Invloed van de aanleg op het Slikgat en kust van Goeree

Morfologische ontwikkeling van de Slufterkust

De erosie van de Slufterkust wordt in de Projectnota/MER (1984) geschat op $500.000 \text{ m}^3/\text{j}$ à $1.000.000 \text{ m}^3/\text{j}$ ($750.000 \text{ m}^3/\text{j}$) op basis van een korreldiameter van circa $130 \mu\text{m}$. Wanneer de dam zal worden onderhouden met grover zand reduceert het verwachte onderhoud tot $340.000 \text{ m}^3/\text{j}$ à $740.000 \text{ m}^3/\text{j}$ ($500.000 \text{ m}^3/\text{j}$, Werkgroeprapport 1985). In de studie 'Morfologisch onderzoek GLBB, optimalisering en onderhoudsbepaling alternatief III' van Boer e.a. (1986) wordt de verwachte erosie van de Slufterkust gereduceerd tot $210.000 \text{ m}^3/\text{j}$ à $350.000 \text{ m}^3/\text{j}$ ($270.000 \text{ m}^3/\text{j}$).

In Boer e.a. (1986) worden de volgende voorstellen gedaan voor de reductie van het onderhoud:

- een verschuiving van de aansluiting tussen verbindingdam en Maasvlakte van 750 m in zuidelijke richting,
- een aanpassing van de oriëntatie van de kustlijn, waarbij de normaal op de kust 303°N bedraagt, en
- een grovere korreldiameter ($D_{50} = 250 \mu\text{m}$) voor de zeezijde van de Slufterdam.

De verwachting is dat het onderhoud verder zal afnemen wanneer het dwarsprofiel en de kustlijn zich hebben aangepast aan de lokale omstandigheden. Ondanks de verbeterde aansluiting wordt een erosie aan de noordzijde van de Slufterdam verwacht.

Langs de Slufterkust zijn in de negentiger jaren meerdere (strand-)suppleties uitgevoerd om ondermijning van de Slufterdam te voorkomen (zie figuur 4.1). Tot halverwege de jaren negentig werd nog uitgegaan van een suppletie-behoefte van ongeveer $200.000 \text{ m}^3/\text{j}$ (zie bijvoorbeeld Boer, 1992). Vanaf ongeveer 1996 werd duidelijk dat er meer zand diende te worden gesuppleerd. In de jaren 1996 en 1997 waren de onderhoudssuppleties aan de Slufterdam groter dan in de jaren daarna. Door Van Heuvel e.a. (1999) wordt dit toegeschreven aan een inhaalslag op het achterstallige onderhoud aan de Slufterdam.

In totaal is er in de periode 1991 tot en met 2001 9,9 miljoen m^3 gesuppleerd. Dit is over deze periode gemiddeld ruim 900.000 m^3 per jaar. Ter vergelijking: het totale sedimentvolume van het hele mondingsgebied (*Ondiep Zuid* en

Ondiep Noord, zie figuur 4.4) is in de periode 1991 tot en met 2000 met circa 10 miljoen m³ toegenomen. Aan deze toename heeft niet alleen de Slufterkust bijgedragen, aangezien ook sediment van de Slufterkust in noordelijke en zeewaartse richting verdwijnt.

Van de Heuvel e.a. (1999) laten zien dat het gesuppleerde volume vrijwel gelijk is aan het zandverlies van de Slufterkust in zowel noordelijke als zuidelijke richting. In de periode 1990 tot 1998 is een afname berekend van de zandhoeveelheid van ongeveer 44.000 m³/j. In diezelfde periode is gemiddeld 728.000 m³/j gesuppleerd. Hieruit volgt dat de totale structurele erosie een omvang heeft van circa 770.000 m³/j. Dit is ruim twee keer zoveel als in de projectnota/MER is verwacht. Dit wordt deels veroorzaakt doordat een kleinere korreldiameter is gebruikt dan in de Projectnota/MER is toegepast.

De verwachte erosie ter plaatse van de aansluiting van de verbindingdam op de Zuiderdam is uitgebleven. In plaats daarvan vond in de periode 1990 – 1998 een sedimentatie plaats van circa 60.000 m³/j (Van de Heuvel e.a. 1999).

Ontwikkeling dwarsprofiel Slufterdam

De ontworpen dwarsprofielen voor de zeezijde van de Slufterdam zijn gebaseerd op de gemeten evenwichtsprofielen langs de Hollandse kust. In plaats van het evenwichtsprofiel is een profiel aangelegd dat na verloop van tijd zou moeten vervormen tot een evenwichtsprofiel. Er wordt gezorgd dat er voldoende zand (door middel van een buffer) aanwezig is voor een dergelijk evenwichtsprofiel.

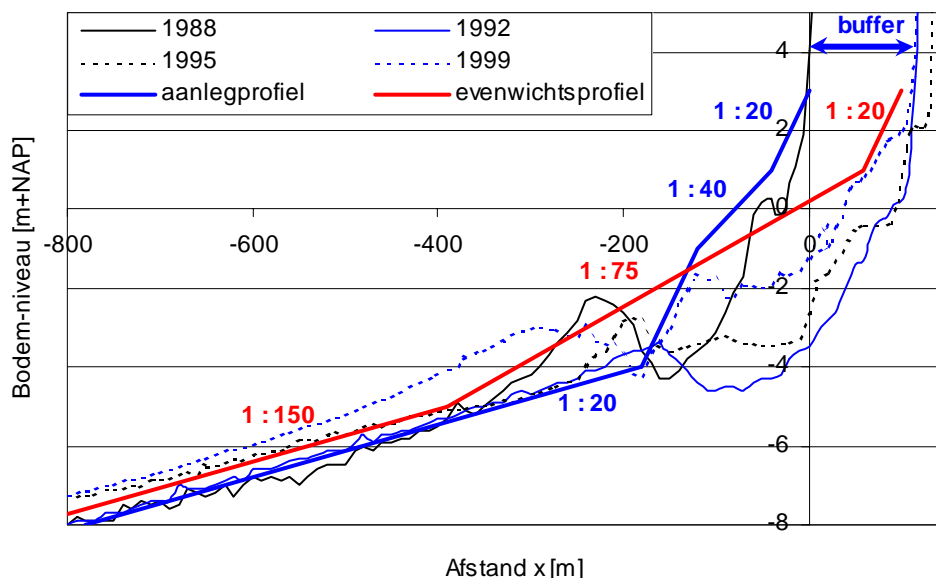
De Slufterdam is opgespoten met materiaal afkomstig uit het depot zelf. Uit het uitgevoerde grondonderzoek bleek dat dit materiaal een mediane korreldiameter had van circa 130 µm. Voor de buffer wordt uiteindelijk echter zeer grof zand (300 à 400 µm) toegepast (De Looff 1991).

De beide profielen hebben het volgende verloop:

	evenwichtsprofiel	aanlegprofiel
boven NAP +15	1:3	1:3
NAP +15 tot +3	1:5	1:5
NAP +3 tot +1	1:25	1:20
NAP +1 tot -1	1:75	1:40
NAP -1 tot teen	1:75	1:20

Tabel 5.1 Hellingen evenwichtsprofiel en aanlegprofiel

In onderstaande figuur 5.1 is het verloop van het dwarsprofiel van de Hinderplaat voor een aantal kenmerkende jaren uitgezet. Het dwarsprofiel direct na aanleg is niet gepeild. De precieze locatie ten opzichte van de kustlijn van zowel het aanlegprofiel als het evenwichtsprofiel is niet bekend. In dikke lijnen zijn het ontworpen aanlegprofiel en het beoogde evenwichtsprofiel in de figuur geschetst.



Figuur 5.1 Dwarsprofielen van de Slufterdam JARKUS-raai 976

Uit het verschil tussen 1988 en 1992 blijkt dat de buffer volledig is geërodeerd maar dat dit niet heeft geleid tot de instelling van het beoogde evenwichtsprofiel. Zand uit de buffer is kennelijk in langsrichting afgevoerd en daarmee niet of slechts zeer gedeeltelijk beschikbaar gekomen voor het laten ontstaan van een evenwichtsprofiel. Vanaf 1992 zijn aanhoudend suppleties nodig geweest om de Slufterdam tegen verdere erosie te beschermen. Anno 1999 lijkt het profiel dankzij deze suppleties richting het beoogde evenwicht te bewegen.

Stabiliteit ligging Hindergat

Ten zuiden van de 'Slufter' wordt ter vervanging van het Gat van de Hawk een geul gebaggerd. Deze geul, het Hindergat, is gedimensioneerd naar de afmetingen van het Gat van de Hawk voor 1985:

- oppervlakte geul : circa 1000 m² beneden NAP -2m.
- richting geul as : 290°N tot 305°N
- hart van de geul : 300 m uit NAP-lijn omkading 'Slufter'
- diepte geul : maximaal NAP -7m
- profiel geul : overeenkomstig Gat van de Hawk (anno 1984)

Er wordt verwacht dat het Hindergat volgens bovenstaande dimensies dichtbij een dynamische evenwichtssituatie zou zijn. Er werd tevens rekening gehouden met erosie van de westelijke oever van de Slufterdam, waardoor de westelijke monding van het Hindergat door sedimentatie in zuidwestelijke richting zou migreren.

De afstand van het Hindergat tot de omkading van de 'Slufter' is gebaseerd op de afstand van het Gat van de Hawk tot de Maasvlakte. Er werd geen verplaatsing van het centrale deel van het Hindergat verwacht.

Uit de ontwikkeling van het Hindergat blijkt echter dat deze bij de gekozen dimensies niet in evenwicht was. Het Hindergat blijkt na aanleg (ondanks de geringe overdiepte) de eerste jaren sterk in diepte toe te nemen tot circa NAP

–10 m. Een dynamische evenwichtsdiepte van circa NAP –9 m wordt enkele jaren later bereikt. De oppervlakte van de doorsnede van de geul beneden NAP –2 m schommelt rond circa 800 m² (Roelvink e.a. 1998).

De initiële rechte vorm van het Hindergat blijft evenmin gehandhaafd. De zuidwestelijke verplaatsing van de westelijke uitgang van het Hindergat was juist voorspeld. Maar de noordelijke migratie van het centrale deel was niet voorzien. Door het krommen van de geul treden secundaire stromingsverschijnselen in werking, waardoor de buitenbocht verder uitschuurt. Dit effect was niet voorzien.

Morfologie studiegebied na een periode van circa 20 jaar

In de Projectnota/MER wordt het gebied voor de Brielse Gatdam, zeewaarts begrensd door de lijn Groene Punt Voorne – zuidzijde 'Slufter', omschreven als het Sluftergebied. Hoofdzakelijk in dit Sluftergebied wordt naar de veranderingen van de morfologie gekeken en in mindere mate naar het overige deel van het mondingsgebied. In de Projectnota/MER wordt een voorspelling afgegeven voor een periode van 20 jaar. In deze evaluatie wordt op basis van de waarnemingen na 15 jaar onderzocht of het waarschijnlijk is dat de voorspelde veranderingen zich binnen de gestelde periode van 20 jaar zullen voltrekken.

De Projectnota/MER geeft aan dat door het Hindergat naar verwachting een hoeveelheid van enkele miljoenen m³ zand naar het gebied achter de Hinderplaat (het binnengebied) zou worden getransporteerd. Circa 75% hiervan zou dan in het sluftergebied worden afgezet waardoor na een periode van 20 jaar circa 50 – 300 ha nieuw plaatareaal (boven G.L.W.) zou ontstaan. De plaat in de mond van het sluftergebied zou samengesteld zijn uit zand met een gering percentage slib aan de zeezijde en hoge percentages slib aan de slufterzijde (>10%). De sedimentatie van het sluftergebied zou in het eerste jaar circa 350.000 m³ bedragen.

Er werd over enkele eeuwen een afname van het natte volume van het sluftergebied onder NAP van circa 24 miljoen m³ verwacht. De oppervlakte geulen zou circa 10 - 15% bedragen tegen een oppervlakte van circa 90 - 85% platen boven gemiddeld laagwater. In het binnengebied werd een sedimentatie van enkele centimeters per jaar voorspeld. De verwachting was dat de ontwikkeling tot een evenwichtssituatie enkele eeuwen zou duren.

In de periode 1986 tot 2000 is het areaal intergetijdegebied met ruim 200 ha toegenomen (zie paragraaf 4.3.3). Voor een groot deel is dit veroorzaakt door het uitbreiden van de Kwade Hoek, die ook in het balansvak aanwezig is. De verwachte uitbreiding van het areaal intergetijdegebied tussen de 'Slufter' en het strand van Voorne is de eerste jaren na de aanleg gering.

Vanaf 1991 groeit ten zuidoosten van de 'Slufter' een strandhaak. Deze plaat groeit in de periode tot 2000 uit tot een oppervlakte van circa 50 ha boven gemiddeld laagwater wat reeds overeen komt met de ondergrens van de voorspelling. In 1994 is op deze strandhaak de Kleine Slufter aangelegd. De bodemsamenstelling kan door de beperkte resolutie van het bemonsteringsrooster ter plaatse niet worden geëvalueerd.

Uit de ontwikkeling van de bodemligging blijkt dat een evenwichtssituatie eerder in decennia wordt bereikt dan in eeuwen. Volgens de berekeningen van Tönis (2001) en Steijn e.a. (2001) en de analyses in paragraaf 4.3.2 bevindt

het gebied zich ten opzichte van 1970 reeds op ruim 90% van het evenwicht. De verondieping treedt met name op in het gebied achter de Hinderplaat en in het Rak van Scheelhoek. In het Sluftergebied wordt nauwelijks verondieping waargenomen.

De grote veranderingen van de Hinderplaat waren niet in de projectnota/MER voorzien. In hoofdstuk 6 zal worden toegelicht waarom dit vermoedelijk wel een effect van de aanleg van de 'Slufter' is.

Verwachting aanslibbing

Omdat verwacht werd dat de afscherming door de 'Slufter' gering zou zijn (alleen voor golven uit noordwestelijke richting) en het effect op de stroomsnelheden niet significant werd geacht, werden in de Projectnota/MER geen afwijkende ontwikkelingen in de slibhuishouding verwacht in het hele gebied (inclusief Brielse Gat). Het betreft hier de aanslibbing van de diepere delen en de geulen en de aanslibbing van het strand.

In de studie naar de optimalisering van de Slufterdam (Boer e.a. 1986) werd opgemerkt dat de toename van de mediane korreldiameter in het gebied, als gevolg van de suppleties met grof zand, wellicht een reducerende werking op de onderhoudsbehoefte zou hebben. Noch de reductie noch de toename van de mediane korreldiameter werd verder uitgewerkt.

Gedurende de periode van 1986 tot 2000 verandert de slibhuishouding van de monding van het Haringvliet. In het hele gebied zeewaarts van de Hinderplaat wordt op de bodem een verhoging van het slibgehalte aangetroffen die vermoedelijk is veroorzaakt door het slibhoudende retourwater dat tijdens de aanleg is geloosd. Na circa 5 jaar is dit effect echter niet meer zichtbaar. In 2000 worden op de bodem onverwacht hoge slibgehalten gemeten. Omdat geen metingen beschikbaar zijn in de tussenliggende periode is het niet bekend of hier sprake is van een trend of van een (toevallig) bijzonder geval. Mogelijk is er een verband met de suppleties uit 1996, 1998 en 1999 waarbij sediment uit de Amazonehaven is gebruikt. Er bestaat een vermoeden dat dit suppletiemateriaal een zeer grote fijne fractie bevatte.

Aan de landzijde van de Hinderplaat neemt het slibgehalte geleidelijk af. Dit duidt erop dat de bodemligging in het gebied nabij evenwicht is. Door de hoge bodemligging nemen de stroomsnelheden toe waardoor minder aanslibbing optreedt. Er worden geen wijzigingen in de slibhuishouding waargenomen die direct aan de aanleg van de 'Slufter' gerelateerd kunnen worden.

Ook de mediane korreldiameter in het gebied is veranderd. Aan de zeezijde neemt sinds 1989 de mediane korreldiameter eerst geleidelijk (van 130 µm naar 140 µm) en vanaf 1992 verder toe (van 140 µm naar 155 µm). Dit is mogelijk gerelateerd aan de erosie van de sedimentbuffer en de suppleties die vanaf 1992 op de 'Slufter' zijn aangebracht. Voor beide is sediment toegepast met een mediane korreldiameter die grover is dan het sediment dat in het gebied voorkomt.

Aan de landzijde wordt een geleidelijke toename van de korreldiameter waargenomen die in de pas loopt met het afnemende slibgehalte.

Effecten op de kust van Voorne

Er werd verwacht dat op het strand van Voorne de hoeveelheid slib langzaam zou toenemen. De groei van de duinregel zou hierdoor in de loop van de tijd afnemen. Men verwacht dat door de afscherpende werking van de 'Slufter' de erosie van de Groene Punt zal afnemen.

Uit de metingen blijkt dat ook na de aanleg van de 'Slufter' de Groene Punt nog aan erosie onderhevig is. De erosie betreft vermoedelijk vooral duinafslag tijdens stormen. Aangezien de kustlijn zeewaarts ligt van de Basis Kustlijn wordt er in dit gebied niet gesuppleerd. Halverwege tussen de Groene Punt en de Brielse Gatdam treedt sedimentatie op. Nabij de Brielse Gatdam is het strand stabiel.

Op het strand van Voorne zijn geen slibafzettingen waargenomen. In 2000 wordt in het gebied nabij de Brielse Gatdam ten opzichte van de situatie voor 1986 een geringe toename van het slibgehalte gemeten. Tegelijkertijd worden ten oosten van de Groene Punt juist lagere slibgehalten aangetroffen. Deze veranderingen zijn verwaarloosbaar, zeker als rekening gehouden wordt met de natuurlijke fluctuaties (Werkgroep Evaluatie Slufter 1997).

De veranderingen in de mediane korreldiameter zijn vermoedelijk het gevolg van de eind jaren tachtig uitgevoerde strandsuppleties die zich langs de kust van Voorne verspreiden.

Invloed van de aanleg op het Slijkgat en kust van Goeree

In de Projectnota/MER wordt verwacht dat bij het aanleggen van de 'Slufter' de stroomvoerende functie van het Gat van de Hawk wordt overgenomen door het Hindergat en dat hierdoor de 'Slufter' geen invloed op het Slijkgat heeft. Er wordt geen effect van de 'Slufter' op de kust van Goeree verwacht.

De voorspelde situatie heeft zich inderdaad voorgedaan. Het Hindergat heeft volledig de functie van het Gat van de Hawk overgenomen en hierdoor is het grootschalige stromingspatroon niet veranderd. Het Slijkgat is in de periode 1986 tot 2000 wel aan verandering onderhevig. Vooral door de uitbreiding van het zuidelijke deel van de Garnalenplaat vindt er een vernauwing plaats ter hoogte van het Flaauwe Werk. De ontwikkeling van het zuidelijk deel van de Garnalenplaat wordt gerelateerd aan de hoge afvoeren vanuit het Haringvliet. Het samenspel tussen de kust van Goeree, het Slijkgat en het zuidelijke deel van de Garnalenplaat wordt als een op zichzelfstaand systeem beschouwd.

5.2 Conclusies

Ten aanzien van de vergelijking van de waargenomen veranderingen met de voorspelde veranderingen in de Projectnota/MER worden de volgende conclusies getrokken:

Algemeen

- De voorspelling in de Projectnota/MER wijkt op verschillende aspecten in de bodemligging en de bodemsamenstelling af van de opgetreden veranderingen. Er is echter geen ander morfologisch systeem ontstaan dan er is voorspeld.

Morfologische ontwikkeling van de Slufterkust

- De voorspelde erosie- en sedimentatiegebieden komen redelijk overeen met de waargenomen erosie- en sedimentatiegebieden.
- Het uitgevoerde onderhoud is ruim twee keer zo groot als het voorspelde onderhoud. Dit wordt deels veroorzaakt doordat een kleiner korreldiameter is gebruikt dan in de Projectnota/MER is toegepast. Het onderhoud bedraagt circa 800.000 m³ per jaar.
- Bij de aansluiting op de Zuiderdam hebben de verwachte problemen zich niet voorgedaan.
- De ontwikkeling van een strandhaak aan de zeezijde van het Hindergat was niet als zodanig voorspeld.

Ontwikkeling dwarsprofiel Slufterdam

- Het beoogde evenwichtprofiel is niet op natuurlijke wijze uit het aanlegprofiel ontstaan. Door de grote kustlangse sedimentverliezen trad voornamelijk erosie van het dwarsprofiel op. Doordat in 1991 is gestart met herhaaldelijk suppleren bevindt de huidige bodemligging zich nu nabij het beoogde evenwichtprofiel.

Stabiliteit ligging Hindergat

- De ontwerpdimensies van het Hindergat waren niet voldoende. Op natuurlijke wijze heeft het Hindergat zich verruimd naar de huidige evenwichtsafmetingen.
- De noordwaartse migratie van het Hindergat was niet voorzien.

Morfologie van het studiegebied na een periode van 20 jaar

- De groei in de periode tot 2000 van het intergetijde-areaal in het gebied tussen de 'Slufter' en de kust van Voorne komt nu reeds overeen met de ondergrens van de aanwas die voorspeld was na 20 jaar.
- De evenwichtsbodem van het gebied achter de Hinderplaat wordt binnen enkele decennia bereikt en niet zoals voorspeld na enkele eeuwen.
- De ontwikkeling van de Hinderplaat was niet in de projectnota/MER voorzien.

Verwachte aanslibbing

- In de Projectnota/MER worden geen veranderingen van de zand- en slibhuishouding verwacht, echter:

-
- Na aanleg is in het buitengebied een tijdelijke toename van het slibgehalte waargenomen.
 - In het buitengebied wordt een toename van de mediane korreldiameter geconstateerd die gerelateerd kan worden aan het eroderen van de buffer en de uitgevoerde suppleties. Beide zijn uitgevoerd met sediment dat grover is dan het gebiedseigen sediment.
 - De wijzigingen van het slibgehalte en de mediane korrelgrootte in het gebied achter de Hinderplaat hebben geen directe relatie met de aanleg van de 'Slufter'.
 - De afname van het slibgehalte en de toename van de korreldiameter in het gebied achter de Hinderplaat duidt erop dat de evenwichtsbodemligging bijna bereikt is.

Effecten op de kust van Voorne

- Tegen de verwachting in treedt er nog steeds erosie van de Groene Punt op. Ten oosten van de Groen Punt treedt sedimentatie op en is duinvorming mogelijk.
- Op het strand van Voorne zijn geen noemenswaardige slibafzettingen waargenomen.

Invloed van de aanleg op het Slijkgat en de kust van Goeree

- Overeenkomstig de voorspelling gedragen de kust van Goeree, het Slijkgat en het zuidelijke deel van de Garnalenplaat zich als een opzichzelfstaand systeem.

6 Evaluatie: oorzaken van veranderingen en de rol van de 'Slufter' daarin

6.1 Tijd- en ruimteschalen

Een tijdschaal wordt in het algemeen gezien als een tijdsduur waarop karakteristieke ontwikkelingen zich voordoen. De ruimteschaal wordt meestal gekoppeld aan de afmetingen van een bepaald morfologisch element. Uit onderzoek naar de morfologische veranderingen van verschillende kustsystemen blijkt dat bij abrupte verstoringen van een morfologisch evenwicht er een eenduidig verband bestaat tussen de tijdschaal en de ruimtelijke afmetingen van het gebied. De tijdschaal is gerelateerd aan de totale duur die een morfologisch (deel)systeem nodig heeft om – eenmaal uit evenwicht gebracht – weer naar een nieuw evenwicht terug te keren (Steijn 2002, in voorbereiding).

De ontwikkelingen op een kleine ruimtelijke schaal kunnen het gevolg zijn van eigen gedrag of een respons zijn op ontwikkelingen afkomstig uit een groter schaalniveau. Steijn betoogt dat de ontwikkelingen van het grote systeem los staan van dat van het kleinere systeem, en dat daarom de ontwikkelingen van het kleinere systeem apart kunnen worden onderzocht, zolang maar de randvoorwaarden of de trend die vanuit het grotere systeem wordt opgelegd in de beschouwing wordt meegenomen. De conclusies die dan voor het kleine deelsysteem uit het onderzoek volgen, zijn alleen geldig binnen de tijd- en ruimteschalen van dat kleinere deelsysteem.

In de morfologie van de monding van het Haringvliet zijn verschillende ruimtelijke (deel)systemen te herkennen:

- De grootschalige morfologie van de monding (paragraaf 6.2). Dit gebied beslaat de grote geulen en platen binnen het gebied van de Zuiderdam tot de kop van Goeree. Lengte geulen: 5 – 10 km. Tijdschaal waarop veranderingen zich op deze schaal voordoen: decennia – eeuw.
- De kleinere geulen en platen, buitendelta's, binnendelta's en strandhaken (paragraaf 6.3). Lengte: 1 – enkele kilometers. Tijdschaal: 1 – 10 jaar.

Deze systemen zijn geanalyseerd binnen de daaraan gerelateerde tijd- en ruimteschalen. In de volgende paragrafen wordt een denkmodel gepresenteerd waarmee een helder beeld wordt verkregen van de manier waarop de verschillende processen met elkaar samenhangen en hoe de waargenomen veranderingen kunnen worden gerelateerd aan (de aanleg van) de 'Slufter'. Het denkmodel biedt géén fysische verklaring, maar is een conceptuele analyse gebaseerd op de waarnemingen zoals die zijn beschreven in hoofdstuk 4.

6.2 Grootschalige morfologie

Het grootschalige morfologisch systeem van de Monding van het Haringvliet bestaat uit een aantal hoofdgeulen (het Slijkgat, het Rak van Scheelhoek en het Gat van de Hawk / Hindergat) en een platensysteem (Hinderplaat en Garnalenplaat). Randvoorwaarden voor het systeem bestaan uit de drijvende

krachten zoals het getij (de verhangen in het gebied) en de golven en de beschikbaarheid van sediment. Eventuele vaste punten (zoals de 'Slufter' of de Zuiderdam) beperken de vrijheidsgraden van de morfologische veranderingen.

Na de afsluiting van het Haringvliet in 1970 is door de sterke reductie van de getijstromingen een verstoring in het morfologisch systeem aangebracht. De relatieve invloed van golven is toegenomen. Doordat de randvoorwaarden van het systeem zijn veranderd, is ook het morfologische evenwicht veranderend. Uit de analyses van Tönis (2001) en Steijn e.a. (2001) blijkt dat de monding na de afsluiting van het Haringvliet aan grote veranderingen onderhevig was. Ook blijkt uit deze analyses dat de morfologie bij de aanleg van de 'Slufter' in 1986 nog niet in evenwicht was (zie paragraaf 4.3.2).

De morfologie wordt na de afsluiting van het Haringvliet voornamelijk bepaald door de faseverschillen (van het getij) in de hoofdgeulen en de golven. Door de relatief korte lengte van het systeem (het geringe getijvolume) lopen de waterstanden en stroomsnelheden niet in fase met de vloed- en ebstroming op zee. Hierdoor ontstaan op verschillende momenten binnen het getij rondstromingen in het gebied waardoor kortsluitgeulen zoals het Bokkegat en de Middengeul in stand worden gehouden (Steijn e.a. 2001). Deze rondstromingen en verhangen bepalen, in samenhang met de aanwezige golven en het beschikbare sediment, de lengte van de platen en de ligging van de geulen. De dimensies van de Hinderplaat hangen zeer sterk samen met de randvoorwaarden van dit systeem.

Door de aanleg van de 'Slufter' in 1986 zijn de randvoorwaarden van het gebied niet wezenlijk gewijzigd. De verhangen tussen de hoofdgeulen zijn door het graven van het Hindergat (ter vervanging van het Gat van de Hawk) ongeveer gelijk gebleven. Ook de golfrandvoorwaarden zijn (aan de zeezijde) op deze schaal bekeken niet veranderd. Hierdoor zal het gebied naar een morfologisch evenwicht streven dat (op grote schaal gezien) hetzelfde is als vóór de aanleg van de 'Slufter'. Dat wil zeggen, met twee hoofdgeulen en een plaat daartussen.

De Hinderplaat is door de aanleg van de 'Slufter' en het graven van het Hindergat sterk ingekort. Hierdoor is het systeem verstoord. Maar omdat de randvoorwaarden niet wezenlijk zijn veranderd is het mogelijk dat het systeem "er naar streeft" dat de Hinderplaat weer zijn oorspronkelijke dimensies krijgt. Om dit te bereiken bouwt de Hinderplaat in zuidelijke richting uit. Een dergelijke zuidwaartse ontwikkeling van de Hinderplaat werd voor 1986 niet waargenomen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat deze bankmigratie door aanleg van de 'Slufter' is geïnitieerd. De Hinderplaat is in 2000 weer ongeveer even lang als in 1986.

Door het ontstaan van de middengeul over de Hinderplaat vindt opnieuw een verkorting van de Hinderplaat plaats. Als deze nieuwe geul de functie van het Bokkegat en het Hindergat overneemt, zal de Hinderplaat mogelijk nog verder zuidwaarts uitbreiden. De eerste aanzet hiertoe zou de ondiepte ten zuiden van de Hinderplaat kunnen zijn die de laatste jaren in omvang toeneemt.

Uit de analyses in paragraaf 4.3.2 blijkt dat er na de aanleg van de 'Slufter' een versnelling van de verondieping van het gebied achter de Hinderplaat optreedt. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door de afscherming door de 'Slufter' van de noordelijke golfcondities. Door deze afscherming is de opwoeling in het gebied achter de Hinderplaat en in het Rak van Scheelhoek afgenomen waardoor zich meer sediment (slib) heeft kunnen afzetten.

Ook de bodemsamenstelling in het gebied achter de Hinderplaat volgt de ontwikkelingen die door de afsluiting van het Haringvliet in 1970 in gang zijn gezet. Na de afsluiting van het Haringvliet waren alle geulen veel ruimer dan hun (nieuwe) evenwichtsprofielen. De stroomsnelheden in de geulen waren hierdoor laag waardoor sedimentatie (met name aanslibbing) optreedt. Nu de geulen hun evenwichtsdiepte naderen, zullen langzaam de stroomsnelheden weer toenemen. Uiteindelijk zullen de stroomsnelheden in de geulen weer zo hoog worden dat blijvende (slib)afzettingen niet meer mogelijk zijn. Slibafzettingen in oorspronkelijk ruime geulen, zoals het Rak van Scheelhoek, worden geleidelijk met zand afgedekt.

Doordat ook de hoogte van de Hinderplaat de laatste jaren afneemt, is tevens een toename van de golfactiviteit in het gebied achter de Hinderplaat te verwachten. Dit zal het bovenstaande effect versterken waardoor er nog minder slib in het gebied zal uitzakken.

6.3 Per deelgebied

Systemen met een kleinere tijd- en ruimteschaal vinden we terug in de vijf deelgebieden. De deelsystemen reageren op de grootschalige veranderingen van het omvattende systeem.

Deelsysteem rond het Hindergat

Het eerste deelsysteem wordt gevormd door het Hindergat, de Strandhaak, de buitendelta van het Hindergat en de noordzijde van de Hinderplaat. Direct na de aanleg van de 'Slufter' was er nog geen sprake van een strandhaak en het Hindergat was nog recht.

In de daaropvolgende jaren bouwt de Strandhaak uit, waardoor de westelijke monding van het Hindergat naar het zuiden beweegt. Het centrale deel van het Hindergat migreert naar het noorden. Enerzijds wordt dit veroorzaakt door de zanddruk vanaf de noordzijde van de Hinderplaat en anderzijds doordat er een bochtstroming ontstaat waardoor de buitenbocht erodeert en de kromming in de geul verder toeneemt. Kortom de situatie is verre van stabiel.

De laatste jaren is er sprake van een stabielere situatie. De buitendelta van het Hindergat is uitgegroeid tot een volwaardige delta. Via twee circulatiecellen treedt er een rondstroming van sediment op. Langs de buitenrand van de delta lopen zandbankjes van noord naar zuid waardoor er een voeding naar de Hinderplaat plaatsvindt. Waar deze op de Hinderplaat landen, juist boven de nieuwe middengeul door de Hinderplaat, neemt de bodemhoogte van de Hinderplaat toe.

Door het uitbouwen van de strandhaak neemt de lengte van het Hindergat toe, en daarmee de hydraulische weerstand. Omdat ook de weerstand door het Bokkegat toeneemt, zoekt het water zich een nieuwe weg door de Hinderplaat. Halverwege de Hinderplaat ontstaat in 1998 een geul. De geul ontstaat in een laag punt van de Hinderplaat. De hoogte van de Hinderplaat is hier afgenomen doordat de golven die verantwoordelijk zijn voor de opbouw van dit deel van de plaat door de aanwezigheid van de buitendelta van het Hindergat worden geblokkeerd. Ook is voor de opbouw van de buitendelta van het Hindergat zand gebruikt dat voor een deel afkomstig is van het noordelijke deel van de Hinderplaat. Doordat de transporten over de plaat vloeddominant zijn verdwijnt het sediment in het gebied achter de Hinderplaat, of komt daar weer in het

Hindergat terecht. Verlaging van de plaat treedt ook op bij hoge afvoeren door de Haringvlietsluizen.

Omgeving Slufterdam

Het deelsysteem wordt gevormd door de Slufterkust en de Strandhaak. Het zuidelijk deel van de 'Slufter' is door zijn ligging gevoelig voor erosie. De punt staat continu bloot aan golfaanval en langs de kust treedt een sterke contractie op van de getijstromingen.

Door het zuidgaand transport van de Slufterdam is op de zuidwestpunt van de 'Slufter' een strandhaak ontstaan. De oriëntatie van de Strandhaak wijkt in eerste instantie af van de oriëntatie van de Slufterkust, maar is langzamerhand bijgedraaid. Ook de onderwateroever zeewaarts van de Strandhaak past zich aan de oriëntatie van de Slufterkust aan.

Door de uitbouw van de Strandhaak en de onderwateroever van de 'Slufter' neemt de kwetsbaarheid van de zuidwestpunt van de 'Slufter' af. De onderwateroever van de 'Slufter' heeft een natuurlijke kromtestraal gekregen waardoor de zandverliezen in zuidelijke richting zullen afnemen (afname van het bruto zuidwaarts gerichte brandingtransport). Omdat het zandverlies in zuidelijke richting circa 40% van het totale zandverlies beslaat is het mogelijk dat het kustonderhoud van de Slufterdam in de komende jaren met maximaal een kwart zal afnemen.

De noordwaartse zandverliezen zullen niet afnemen. Door de oriëntatie van de Slufterkust treden tijdens zuidwestelijke en westelijke golfcondities grote noordwaartse transporten op, waarbij het zand in de Euromaas-Geul verdwijnt. Uit het noorden treedt geen voeding van de Slufterdam op.

Omgeving Bokkegat

Het deelsysteem wordt gevormd door het Bokkegat, de Hinderplaat en de Garnalenplaat. Uit de grootschalige morfologie volgt dat door de aanleg van de 'Slufter' de Hinderplaat in zuidelijke richting uitbreidde (paragraaf 6.2). Op de ruimtelijke schaal van het deelsysteem betekent dit een toename van het zuidgaande brandingtransport langs de Hinderplaat.

Behalve dat door het brandingtransport langs de Hinderplaat de zuidwestpunt in zuidwaartse richting uitbreidt, worden ook andere elementen in het deelsysteem gevoed. Doordat er over het meest zuidelijke deel van de Hinderplaat geen getijstroom heen gaat, bouwt de plaat op. Via het Bokkegat vindt ook voeding van de Garnalenplaat plaats (noordzijde) die daardoor in omvang toeneemt. De westflank van de Garnalenplaat verandert nauwelijks van ligging. Ook de ondiepte ten zuiden van de Hinderplaat neemt in omvang en hoogte toe.

Het Bokkegat wordt door deze ontwikkeling beknelde tussen de Hinderplaat en de Garnalenplaat. Na de aanleg van de 'Slufter' vindt aanvankelijk een versmalling van de geul plaats, waarbij de diepte toeneemt. In de laatste jaren treedt naast de versmalling van de geul ook een verondieping op. Deze ontwikkeling van het Bokkegat doet vermoeden dat geul gaat verzanden.

Omgeving Brielse Gat en Voorne

Deze beide deelsystemen worden gevormd door het voormalige gat van de Hawk, het Brielse Gat, de Westplaat, en de Noordwestkust van Voorne.

Door de aanleg van de 'Slufter' verandert de beschikbaarheid van sediment in het deelsysteem. Voor de aanleg van de 'Slufter' werd sediment door het Gat van de Hawk in het Brielse Gat getransporteerd. Dit sediment kwam dan ten goede aan de Westplaat die daardoor in omvang en hoogte toenam, en aan de Noordwest kust van Voorne. Hier vond voor de aanleg van de 'Slufter' duinvorming plaats. Het is bekend dat na de afsluiting van het Gat van de Hawk geen groei van deze duinregels optrad (Vertegaal, mondeling).

In de huidige situatie wordt het zand dat door het Hindergat wordt getransporteerd afgezet in op de 'Stuifdijk' van de Kleine Slufter die hierdoor in zuidoostelijke richting uitbreidt. Ook accumuleert sediment (voornamelijk slib) in het voormalige Gat van de Hawk.

Het golfklimaat is in het Brielse Gat door de aanleg van de 'Slufter' nauwelijks veranderd. Voor de aanleg was er reeds sprake van een reductie van de noordelijke golfcondities. De Maasvlakte (vanaf 1973) en het zanddepot zuidelijk daarvan (vanaf 1976) hebben de bijdrage van de noordelijke condities aanzienlijke gereduceerd. Door de aanleg van de 'Slufter' wordt vooral het noordwestelijke segment van het golfklimaat geblokkeerd. Dit segment is zeer gering.

Doordat de golfaanval op de Westplaat gelijk is gebleven, maar de aanvoer van sediment is gestopt, erodeert de zuidwestflank van de plaat. Ook neemt de Westplaat in hoogte af.

Het vermoeden dat door de afscherming van de noordelijke golfcondities de kustafslag van de Groene Punt zou afnemen bleek ongegrond. Ondanks het feit dat deze golven in de situatie met de 'Slufter' niet meer tot de Groene Punt kunnen doordringen, is de erosie langs de noordwestkust van Voorne hier waarschijnlijk het grootst. Juist doordat op de Groene Punt geen natuurlijke opbouw van het strand plaats vind, is dit uitstekende punt extra kwetsbaar voor extreme gebeurtenissen. Vermoedelijk treedt de waargenomen duinafslag vooral op tijdens (zuid)westerstorm.

Omdat de golfrandvoorwaarden in het Brielse Gat nauwelijks zijn veranderd verandert ook de slibhuishouding van het gebied niet noemenswaardig. De belangrijkste wijzigingen in de mediane korreldiameter zijn veroorzaakt door de suppleties in de periode 1984 – 1987 die met grover sediment zijn uitgevoerd dan in het gebied aanwezig was.

6.4 Conclusies

Ten aanzien van de aanleg van de 'Slufter' in relatie tot de waargenomen veranderingen in het gebied worden de volgende conclusies getrokken:

Algemeen

- Grootschalig gezien is de monding van het Haringvliet dicht bij een evenwichtssituatie. Grootschalige veranderingen worden er niet meer verwacht. Op kleinere schaal zijn nog wel veranderingen te verwachten in de bodemligging en bodemsamenstelling.
- De huidige morfologische ontwikkelingen in de monding van het Haringvliet wijken niet af van de autonome ontwikkeling. De opgetreden grootschalige veranderingen zijn terug te voeren tot de afsluiting van het Haringvliet in 1970. Door de aanleg van de 'Slufter' in 1986 is dit proces versneld. De 'Slufter' heeft verder vooral op kleinere schaal effect gehad.

Grootschalige morfologie

- Door de afsluiting van het Haringvliet in 1970 is de evenwichtssituatie van de grootschalige morfologie veranderd.
- Deze nieuwe evenwichtssituatie wordt gekenmerkt door twee hoofdgeulen met daar tussen een plaat met een zekere afmeting.
- Ten tijde van de aanleg van de 'Slufter' in 1986 was de grootschalige morfologie nog niet in evenwicht.
- De 'Slufter' heeft de evenwichtssituatie waar de grootschalige morfologie naar streeft niet veranderd.
- Door de 'Slufter' vindt er een versnelde aanpassing richting deze evenwichtssituatie op. Dit uit zich in een versnelde verondieping van het gebied achter de Hinderplaat.
- De zuidwaartse bankmigratie van de Hinderplaat wordt door de aanleg van de 'Slufter' geïnitieerd. De Hinderplaat streeft naar afmetingen die aansluiten bij de verhangen tussen de hoofdgeulen.

Deelsystemen

- De buitendelta van het Hindergat en de uitbouw van de strandhaak veroorzaken een meer natuurlijke kromtestraal van de onderwateroever van de Slufterkust, waardoor de kwetsbaarheid van de Slufterkust afneemt.
- Door de uitbouw van de buitendelta van het Hindergat vindt (vooralsnog) geen opbouw van het noordelijke deel van de Hinderplaat meer plaats.
- Door een toename van de hydraulische weerstand van het Hindergat en het Bokkegat ontstaat er een kortsluitgeul in het midden van de Hinderplaat.
- Door de heroriëntering van de Strandhaak is het mogelijk dat het kustonderhoud van de Slufterdam in de komende jaren met maximaal een kwart afneemt.
- Door de 'Slufter' is het zuidgaande brandingtransport langs de Hinderplaat toegenomen. Hierdoor vindt er extra voeding plaats van de zuidpunt van de

Hinderplaat, de Garnalenplaat en de ondiepte ten zuiden van de Hinderplaat.

- Het Bokkegat raakt beknelde tussen de Hinderplaat en de Garnalenplaat, en is vermoedelijk aan het verzanden.
- Door de afsluiting van het Gat van de Hawk is de voeding van de Westplaat en de Noordwestkust van Voorne sterk verminderd.
- De 'Slufter' heeft de erosie van de Groene Punt niet verminderd.
- In het Brielse Gat treden geen significante veranderingen in de bodemligging en de bodemsamenstelling op.

7 Evaluatie monitoringprogramma

Ten aanzien van het monitoringprogramma worden de volgende conclusies getrokken:

Algemeen

- Ten aanzien van de bodemligging was er voldoende informatie om de veranderingen sinds de aanleg van de 'Slufter' te evalueren. De informatie met betrekking tot het slibgehalte schoot in de periode 1996 – 2000 tekort om de veranderingen goed te kunnen verklaren.
- In het gebied ontbreekt een gedegen meetcampagne waarbij voor een aantal karakteristieke situaties het stroombeeld en de zandtransporten in het gebied in kaart worden gebracht.

In het kader van het 'Kier' programma zijn er plannen voor een uitgebreide meetcampagne. Deze campagne zal onder andere informatie opleveren over stroomsnelheden, golven, waterstanden en sedimentconcentraties.

Bodemligging van zeebodem en strand

- De peiling van de bodemligging van 1987, direct ná de aanleg van de 'Slufter', ontbreekt. Hierdoor ontbreekt feitelijk het beginpunt van de morfologische veranderingen.
- In de jaren 1997 tot 2000 zijn de hogere regionen in het Brielse Gat niet bemeten.
- Er zijn weinig bodemkaarten van de jaren vóór 1986 beschikbaar. Om de effecten van een ingreep goed te kunnen bestuderen is het niet voldoende alleen de beginsituatie als referentie te nemen. Het is essentieel ook een beeld te krijgen van de voorgaande jaren zodat daaruit de autonome ontwikkeling kan worden afgeleid.

Slibfractie en mediane korreldiameter

- De meetresultaten van 1998 en 2000 zijn zeer afwijkend ten opzichte van de metingen in 1994. Omdat in de tussenliggende periode geen metingen beschikbaar zijn kan niet goed ingeschat worden wat hiervan de oorzaak is.
- Vermoedelijk is er een relatie tussen de start van de jaarlijkse suppleties (in 1996) en de toename van slibgehalte en korreldiameter. Er heeft naar aanleiding van de uitgevoerde suppleties geen intensievere bemonstering van het slibgehalte en de korreldiameter in het gebied plaats gevonden.
- Er ontbraken simultane meetgegevens van bodemsamenstelling en bodemligging op met name de Westplaat en de kust van Voorne. Om de metingen van het slibgehalte en de mediane korreldiameter in verband te

kunnen brengen met de (veranderingen in de) bodemligging in dat gebied is het wenselijk deze metingen simultaan uit te voeren.

- Voor de bemonstering van zand en slib is een willekeurig bemonsteringsrooster toegepast. Omdat de ligging van geulen en platen aan verandering onderhevig is, is het niet mogelijk met een dergelijk vast bemonsteringsrooster bijvoorbeeld de korreldiameter in de geul te volgen, of het slibgehalte in het Rak van Scheelhoek. Hierdoor ontbreekt vaak cruciale informatie in geulen, op platen of langs de kust.

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

Algemeen

In deze paragraaf zullen de algemene conclusies worden herhaald die zijn getrokken in hoofdstuk 5, 6 en 7. Voor de overige conclusies wordt verwezen naar de betreffende paragrafen.

- De voorspelling in de Projectnota/MER wijkt op verschillende aspecten in de bodemligging en de bodemsamenstelling af van de opgetreden veranderingen. Er is echter geen ander morfologisch systeem ontstaan dan er is voorspeld.
- Grootschalig gezien is de monding van het Haringvliet dicht bij een evenwichtssituatie. Grootschalige veranderingen worden er niet meer verwacht. Op kleinere schaal zijn nog wel veranderingen te verwachten in de bodemligging en bodemsamenstelling.
- De huidige morfologische ontwikkelingen in de monding van het Haringvliet wijken niet af van de autonome ontwikkeling. De opgetreden grootschalige veranderingen zijn terug te voeren tot de afsluiting van het Haringvliet in 1970. Door de aanleg van de 'Slufter' in 1986 is dit proces versneld. De 'Slufter' heeft verder vooral op kleinere schaal effect gehad.
- Ten aanzien van de bodemligging was er voldoende informatie om de veranderingen sinds de aanleg van de 'Slufter' te evalueren. De informatie met betrekking tot het slibgehalte schoot in de periode 1996 – 2000 tekort om de veranderingen goed te kunnen verklaren.
- In het gebied ontbreekt een gedegen meetcampagne waarbij voor een aantal karakteristieke situaties het stroombeeld en de zandtransporten in het gebied in kaart zijn gebracht.

De onderzoeksvragen zoals die door de opdrachtgever zijn gesteld (zie hoofdstuk 1) zijn leidend geweest in dit onderzoek. In deze paragraaf zullen de bevindingen ten aanzien van deze onderzoeksvragen in het kort worden samengevat.

Morfologie

Zijn er veranderingen in de kustlijnligging waardoor het kustonderhoud toeneemt (bijvoorbeeld Groene Punt van Voorne)?

- Door de vorm van de Slufterdam vindt er veel erosie plaats. Het uitgevoerde onderhoud is ruim twee keer zo groot als het voorspelde onderhoud. Doordat de heroriëntering van de Strandhaak tot gevolg heeft dat een meer natuurlijke voeding van de Slufterdam plaatsvindt, is het

mogelijk dat het kustonderhoud van de Slufterdam in de komende jaren met maximaal een kwart zal afnemen.

- De erosie van de Groene Punt is door de aanleg van de 'Slufter' niet afgenomen.

Zijn er nieuwe morfologische ontwikkelingen opgetreden waardoor de landschappelijke waarde van het gebied is gewijzigd (bijvoorbeeld strandhaak en natuurbouwproject de Kleine Slufter)?

- Door de aanleg van de 'Slufter' is er een versnelde ontwikkeling van de Hinderplaat en de Garnalenplaat opgetreden. Ook neemt de ondiepte ten zuiden van Hinderplaat de laatste jaren in omvang toe.
- Langs de zuidrand van de 'Slufter' zijn diverse nieuwe morfologische elementen ontstaan. Op de zuidwestpunt van de 'Slufter' is de Strandhaak ontstaan. Vanaf de Strandhaak migreren banken langs de zuidrand van de 'Slufter' naar het oosten. Hierdoor is een natuurlijke slufter ontstaan die zich, ondanks de noordelijke migratie van het Hindergat, weet te handhaven. De Kleine Slufter is anticiperend op de ontwikkeling van het Hindergat op de binnendelta van het Hindergat aangelegd. Hierdoor vindt er een natuurlijke voeding van dit gebied plaats waardoor dit gebied uitgroeit.

Wat is de verandering van de oppervlakte van specifieke diepte- en hoogtezones (bijvoorbeeld de oppervlakte van slikken en schorren)? (Ecologie en landschap komen hier niet aan de orde).

- In het rapport wordt hieraan uitgebreid aandacht besteed (paragraaf 4.3.3). De belangrijkste ontwikkelingen in het mondingsgebied betreffen de toename van de arealen *Intergetijde - strand* (NAP +1m tot -1m) en *Ondiep* (NAP -1m tot -3m) en de afname van het areaal *Half Diep* (NAP -3m tot -10m). Deze veranderingen hangen vooral samen met de verondieping van het gebied achter de Hinderplaat (vooral areaal *Half Diep*) ten gunste van de hoger gelegen arealen (*Intergetijde - strand* en *Ondiep*).

Bodemsamenstelling

Is het slibgehalte veranderd (bijvoorbeeld op het Strand van Voorne) en wat is hiervan het gevolg? Zijn er veranderingen in de verhouding zand / slib? Is de korrelgrootteverdeling in de monding van het Haringvliet veranderd en zo ja hoe?

- In het gebied achter de Hinderplaat wordt een toename van het slibgehalte en een afname van de korreldiameter waargenomen. Aangezien het gebied achter de Hinderplaat zijn evenwichtsdiepte nadert, zal op een gegeven moment het slibgehalte geleidelijk afnemen, terwijl de mediane korreldiameter toeneemt. Dit wordt veroorzaakt door de stroomsnelheden in het gebied die toenemen als gevolg van de afnemende waterdiepte. Vooralsnog is dit effect niet zichtbaar.
- Zeewaarts van de Hinderplaat is tijdens de aanleg een toename van het slibgehalte waargenomen. In de daaropvolgende jaren nam het slibgehalte weer langzaam af naar de oorspronkelijke waarde. In de meting van 2000 is opnieuw een toename van het slibgehalte (ten opzichte van 1996)

waargenomen. Mogelijk hangt dit samen met de intensivering van de uitgevoerde suppleties op het Slufterstrand die vermoedelijk een grote fractie fijn materiaal bevatten.

- Ook de korreldiameter is sinds de aanleg van de 'Slufter' in het gebied zeewaarts van de Hinderplaat toegenomen. Ook dit hangt vermoedelijk samen met de uitgevoerde suppleties die over het algemeen een grote mediane korreldiameter bevatten.
- Op het strand van Voorne zijn geen noemenswaardige slibafzettingen waargenomen.

8.2 Aanbevelingen

Ten aanzien van de evaluatie van de 'Slufter'

- De toekomstige morfologische ontwikkeling van het Brielse Gat zijn onzeker. Het mondingsgebied nadert weliswaar zijn evenwichtsligging, maar het is niet ondenkbaar dat er sediment beschikbaar komt waardoor het Brielse Gat plotseling zou kunnen verzanden of verslibben. Uit de huidige ontwikkelingen kan dit niet worden afgeleid. Gezien het belang van het gebied wordt daarom aanbevolen te blijven monitoren. Omdat de veranderingen in dit gebied niet op zich staan, is monitoring echter alleen zinvol wanneer het in samenhang met het hele mondingsgebied wordt uitgevoerd.
- Het lijkt ons echter raadzaam het meetprogramma te integreren met meetprogramma's van andere activiteiten die in dit gebied lopen of gaan lopen (o.a. het 'Kier' programma)

Ten aanzien van monitoren in het algemeen

- Om metingen van het slibgehalte en de mediane korreldiameter in verband te kunnen brengen met de (veranderingen in de) bodemligging is het wenselijk deze typen metingen simultaan uit te voeren.
- Suppleties hebben een effect op de bodemsamenstelling in het omliggende kustsysteem. Wanneer dit effect voor het systeem relevant is, is tegelijkertijd met het starten van de suppleties tevens een bemonstering van het slibgehalte en de korreldiameter in het gebied wenselijk.
- Om de effecten van een ingreep goed te kunnen bestuderen is het niet voldoende alleen de beginsituatie als referentie te nemen. Het is essentieel om ook een beeld te krijgen van de ontwikkeling in de voorgaande jaren, zodat daaruit de autonome ontwikkeling kan worden afgeleid.

Literatuur

.....

Arends, A., Morfologische effecten van het doorsteken van de Brielse Gatdam, Afstudeerscriptie, RIKZ, maart 1997

Boer, S. en Reinalda, R., Morfologisch Onderzoek Grootchalige Locatie Berging Baggerspecie, Optimalisering en onderhoudsbepaling alternatief III, WL-rapport R2292/H297, maart 1986

Craeymeersch, J.A. en Maas, Y., Veranderingen in de bodemsamenstelling van de Westplaat, Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek, december 1996

De Loeff, A.P., Werkgroep Evaluatie Slufter, Veranderingen in bodemligging Mond Haringvliet en Slufter, 1986 – 1990, Notitie, november 1991

De Loeff, A.P., Werkgroep Evaluatie Slufter, Veranderingen in bodemsamenstelling Monding Haringvliet en Slufter, 1986 – 1990, Notitie, november 1991

De Loeff, A.P., Werkgroep Evaluatie Slufter, Veranderingen in bodemsamenstelling Noordweststrand van Voorne, 1986 – 1990, Notitie, november 1991

Eysink, W.D., Buitendelta van het Haringvliet, morfologische ontwikkeling en zoutgehalten bij het huidige en een gewijzigd spuieregime, WL-rapport H1104, maart 1990

Heuvel, Tj. van en Uit den Bogaard, L.A., Beheer en onderhoud Slufterdamstrand 1990-1999, Werkdocument RWS/RIKZ, augustus 1999 (origineel)

Projectnota/MER, Grootchalige Locatie voor de Berging van Baggerspecie uit het benedenrivierengebied, Samenvatting, Gemeentewerken Rotterdam, Rijkswaterstaat, Openbaar Lichaam Rijnmond, oktober 1985

Projectnota/MER, Grootchalige Locatie voor de Berging van Baggerspecie uit het benedenrivierengebied, Rapportage, Gemeentewerken Rotterdam, Rijkswaterstaat, Openbaar Lichaam Rijnmond, oktober 1984

Roelvink, J.A., Van Holland, G., en Bosboom, J., Kleinschalig Morfologisch Onderzoek, fase 1: Validatie morfologische modellering Haringvlietmonding, WL-rapport Z2428, Samenwerkingsverband Maasvlakte 2 Varianten, december 1998

Sistmans, W.C.H., Hummel, H., Van Hoesel, O., Markusse, M.M., Rietveld, M. en Verschuure, J.M., Het Macrobenthos in de Haringvlietbuitendelta in het najaar 2000, Monitoring in het kader van het evaluatieonderzoek naar de effecten van de aanleg van de grootchalige locatie voor de berging van baggerspecie, NIOO-CEMO, oktober 2001

Steijn, R.C. et al, Morfologisch onderzoek Maasvlakte 2, Onderhoud zachte zeewering, grootschalige ontgronding en aanzanding Maasgeul, EC-PMR, A579/Z2861, juni 2000

Steijn, R.C., Eysink, W.D., Van Holland, G., Van de Graaff, J., et al, Bandbreedte Morfologische Effectvoorspelling – MV2, Een onderzoek ten behoeve van natuurtypering, EC-PMR, A792/Z3127, september 2001

Steijn, R.C., Geul – Plaat gedrag nabij de Eilandkoppen van de Nederlandse Waddenzee, Verslag van fase 1, RWS RIKZ / Alkyon, A888/A627, 2002 (in voorbereiding)

Tönis, I., Haringvlietmonding: op zoek naar evenwicht, afstudeerwerk TU Delft, juni 2000

Vertegaal, C.T.M., Werkgroep Evaluatie Slufter, Evaluatie milieu effect rapportage 'Slufter' over de periode 1986 tot en met 1996, Juni 1997

Vertegaal, mondeling overleg maar 2002

Vessem, P. van, Morfologische ontwikkeling NW-kust en strand van Voorne (a), RWS/RIKZ, april 1996a

Vessem, P. van, Uitbouwalternatieven Kleine Slufter (b), RWS/RIKZ, december 1996b

Vessem, P. van, Morfologie monding Haringvliet, Veranderingen van een dynamisch onderwaterlandschap, MER beheer Haringvlietstuinen, Rapport RIKZ-98.016, RWS/RIKZ, juli 1998

Werkgroeperapport in het kader van projectnota/MER, Grootschalige locatie voor de berging van baggerspecie uit het benedenrivierengebied, Kustmorfologie, Gemeentewerken Rotterdam, Rijkswaterstaat, Openbaar lichaam Rijnmond, november 1984

Werkgroeperapport in het kader van projectnota/MER, Grootschalige locatie voor de berging van baggerspecie uit het benedenrivierengebied, deel "Alternatief III: optimalisering, veiligheid en stabiliteit", Gemeentewerken Rotterdam, Rijkswaterstaat, Openbaar lichaam Rijnmond, november 1985

Bijlage A Overzicht van menselijke ingrepen in en rond de Haringvlietmond

Overzicht grote werken in het gebied

Tabel A.1 Overzicht grote werken in het gebied

Afsluitwerken

1950	Afdamming Brielse Maas, waardoor het Brielse Meer is ontstaan
1957-1970	Aanleg Haringvlietsluizen
1957	Bouw ringdijk bouwput spuisluizen Haringvliet
1959	Bouw ringdijk bouwput schutsluis Haringvliet
1967-1968	Verwijderen ringdijk spuisluizen, openen spuisluizen (30-9-68), afsluiten sluitgat Noord Pampus. Stort van 3,6 miljoen m ³ specie in het Rak van Scheelhoek (afbraak van de ringdijk om de bouwput).
1969	Afsluiting Volkerak
1968-1970	Aanbrengen bodembescherming en aanleg dam in noordelijk sluitgat Rak van Scheelhoek
1970	Ingebruikname van de Haringvlietsluizen (2-11-70).
1965-1966	Afdamming Brielsche Gat, waardoor Oostvoornse Meer is ontstaan
1971	Afsluiting Brouwersdam (voorjaar)
1979-1980	Versterking Brielse Gatdam

Uitbreiding haven Rotterdam

1964	Afsluiting resterende deel van het Sluisse Gat
1967-1976	Aanleg van de Maasvlakte
1967-1969	Opspuiten westelijke zanddam
1970-1971	Verlenging Zuiderdam
1973-1976	Opspuiten zuidwestelijke zanddam, inclusief zanddepot
1986-1987	Aanleg Grootschalige Locatie voor Baggerspecie
1986-1987	Aanleg Slufterdam
1987	Baggeren van het Hindergat (NAP -7, lokaal -8 m.) en voltooiing van de Slufterdam (september) waardoor het Gat van de Hawk werd afgesloten.

Overige

1985	Aanleg Natuurontwikkelingsproject Vogeleiland
1987, 1994	Natuurontwikkelingsproject Kleine Slufter
	1987: aanleg
	1994: aanpassing

Vaargeulonderhoud

In de vaargeul naar Stellendam (Slijkgat) wordt regelmatig onderhoudsbaggerwerk uitgevoerd. Het Rijk moet tenminste een vaardiepte van NAP –4 m onderhouden. De gemeente heeft in 1992 ter plaatse van de drempel (tussen de vaarboeien SG 9/10 km en SG 11/12 km, ofwel ongeveer ten noorden van Goeree RSP 8,5 km) de bodem in de vaargeul verdiept tot NAP –5 m. Het meeste zand wordt gebaggerd uit voornoemde drempel in het Slijkgat.

Een deel van het gebaggerde zand wordt gewonnen (uit het systeem gehaald), een deel wordt gebruikt voor suppletiedoeleinden op Goeree en een klein deel wordt gestort in twee stortvakken (circa 2 km ten noorden en ten

zuiden van de monding van het Slikgat op ongeveer de doorgaande NAP –5 m dieptelijn). Het zandwingebied ligt in Slikgat-West (een 4 km lang deel tussen de boeien SG 5/6 km en SG11/12 km). Onderstaande tabel A.2 geeft een overzicht van de gebaggerde hoeveelheden:

Relevantie voor de grootschalige sedimentbalans: er is ruim 2 miljoen m³ “uit het systeem” gehaald. Dit speelt zich binnen de grenzen van de diepteklasse NAP –10m tot NAP –3 m af.

Tabel A.2 Gebaggerde hoeveelheden in het Slikgat 1983 - 1998

jaar	Zandwinning (m ³)	T.b.v. suppleties (m ³)	In stortvakken (m ³)	Totaal gebaggerd (m ³)
1983	380.000			380.000
1984	50.000			50.000
1985	50.000	450.000		500.000
1986	20.000			20.000
1987	145.000			145.000
1988	108.000		358.000	466.000
1989	156.000			156.000
1990	252.000			252.000
1991	171.000			171.000
1992	331.000		73.000	404.000
1993	69.000		29.000	98.000
1994	55.000	506.000	298.000	859.000
1995	92.000		234.000	326.000
1996	78.000			78.000
1997	74.000			74.000
1998	?	745.000		745.000
totaal 16 jaar	2.031.000	1.701.000	992.000	4.724.000
gemiddeld / jaar				295.000

Instandhouding kust van Goeree

Tijdvak 1969 – 1985: 7,5 miljoen m³ gesuppleerd op de kop van Goeree (tussen RSP 14,5 km en RSP 19 km, zie tabel A.3). Zand is gewonnen uit Grevelingenmeer, Spingertdiep, Hollands Diep, Slikgat en Bollen van de Ooster; de kwaliteit van het suppletiezand is niet bekend, maar vermoedelijk betreft het “normaal” suppletiezand met een mediane korreldiameter van 0,2 mm.

Tabel A.3 Suppleties uitgevoerd op de Kop van Goeree 1969 – 1985

jaar	Hoeveelheid (m ³)	tussen raaien	m ³ per m strand	Locatie
1969/70 ^{a)}	401.000	15.0-16.0	401	Kop van Goeree
1971 ^{a)}	610.000	15.0-16.0	610	Westhoofd
1972/73	100.000	17.0		Westhoofd
1972/73	100.000	18.75		Westhoofd
1973/74 ^{a)}	3.640.000	14.5-17.5	1.213	Westhoofd
1976	500.000	18.5-19.0	1.000	Westhoofd
1977 ^{b)}	1.267.000	14.5-17.5	422	Kop van Goeree
1984 ^{c)}	330.000	14.5-17.5	110	Kop van Goeree
1985 ^{d)}	530.000	14.5-17.5	177	Kop van Goeree
totaal sinds 1969	7.478.000			

^{a)} Grevelingenmeer

^{b)} doorlaatsluis Brouwersdam en ringdijken

c) Hollands Diep, Krammersluizen

d) Slijkgat en Bollen van de Ooster

Tijdvak 1970 – 1998: 4,8 miljoen m³ gesuppleerd op de noordwestkust van Goeree (tussen RSP 4 km en RSP 15 km, zie tabel A.4). Zand is gewonnen uit de Scheelhoek, Haringvliet en het Slijkgat; de kwaliteit van het suppletiezand is niet bekend, maar vermoedelijk betreft het “normaal” suppletiezand met een mediane korreldiameter van 0,2 mm.

Tabel A.4 Suppleties uitgevoerd op de kust van Goeree 1970 – 1998

jaar	Hoeveelheid (m ³)	tussen raaien	m ³ per m strand	Locatie
1970-1971	800.000	ca. 12.5-15.0	320	
1970-1971	200.000	4.0-6.0	100	
1977-1979 ^{a)}	1.600.000	5.75-9.75	400	Duinverzwaring
1978-1979 ^{b)}	2.000.000	9.75-11.25	1.333	Duinverzwaring
1994/95 ^{c)}	500.000	9.0-12.0	167	Flaauwe Werk
1998 ^{d)}	745.000	9.0-11.0		o.a. Flaauwe Werk
totaal sinds 1970	4.845.000			

a) zandwingebied: Scheelhoek

b) zandwingebied: Haringvliet

c) zandwingebied: Vermoedelijk uit het Slijkgat

d) zandwingebied: Vaargeulonderhoud Slijkgat

In 1985, 1994, 1998: drie strandsuppleties met zand uit het Slijkgat op het strand bij het Westhoofd (0,53 miljoen m³, RSP 14-18 km), het Flaauwe Werk (0,5 miljoen m³, RSP 10-12 km) en opnieuw het Flaauwe Werk (0,745 miljoen m³, RSP 9-11 km), maar met te slibrijk zand uit het Slijkgat. Daarom was dit geen succesvolle strandsuppletie: zie tabel A.3 en A.4

Sinds 1970 bouwt het gebied tussen RSP 4 km en RSP 9 km langs de kust van Goeree (het intergetijdegebied “De Kwade Hoek”) met ongeveer 9 ha per jaar uit. De uitbouwsnelheid nam af en tevens verschoof het zwaartepunt van de kustuitbouw in westelijke richting.

Instandhouding kust van Voorne

Tussen RSP 8 km en RSP 15,4 km is in de periode 1973 tot en met 1987 totaal circa 9,6 miljoen m³ aangebracht. Het duin tussen de Groene Punt en de Brielsche Gatdam is verzaaid om aan de Deltawet te voldoen (realisatie primaire waterkering in het kader van de Deltawet).

Tabel A.5 Suppleties uitgevoerd op de kust van Voorne 1973 – 1987

jaar	hoeveelheid (m ³)	tussen raaien	m ³ per m strand	locatie
1973	250.000	10.5-12.5	125	Voorne
1974(voor april)	110.000	12.6-13.6	110	Rockanje
1974 (sept-dec)	150.000	12.6-15.2	58	Rockanje
1977 (okt-dec) ^{a)}	1.100.000	8.8-12.5	297	De Punt
1979 ^{b)}	150.000	11.5-13.4	9	Brielse Gatdam
1983(okt-dec) ^{c)}	440.000	11.6-14.4	157	De Punt
1984/85 ^{d)}	3.400.000	8.0-14.0	567	Rockanje
1986 (voor juni)	1.000.000	14.4-15.4	1.000	Rockanje
1987 (voor mei) ^{e)}	3.000.000	9.4-13.4	750	De Punt, Voorne
totaal sinds 1970	9.600.000			

- a) zandwingebied: 8e petroleumhaven Rotterdam
 b) zandwingebied: Maasvlakte
 c) zandwingebied: Hartelkanaal
 d) zandwingebied: Europahaven
 e) D₅₀ is tussen 250 en 300 µm

Instandhouding Slufterdam

De Slufterdam is gebouwd in 1986/1987. Tot 1991 werd zand met vrachtwagens verplaatst van de uitbouw aan de zuidzijde (strandhaak) terug naar het centrale deel van de Slufterdam. De eerste echte strandsuppletie werd in 1991 uitgevoerd. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de uitgevoerde suppleties langs de (westelijke) Slufterkust. Voor de sedimentbalans van het gebied betekent dit dat er tot en met 2001 ongeveer 10 miljoen m³ sediment aan het systeem is toegevoegd.

Tabel A.6 Suppleties uitgevoerd op Slufterdam 1991 – 2001

jaar	hoeveelheid (m ³)	tussen raaien	m ³ per m strand	locatie
1991 ^{a)}	100.000	9-10.4	71	Slufterdam
1992 ^{b)}	960.000	9-10.4	686	Slufterdam
1996 ^{c)}	2.045.197	7-10.15	649	Slufterdam
1997 ^{d)}	2.727.113	6.5-10.02	774	Slufterdam
1998/99 ^{c)}	1.266.254	7-8.3	974	Slufterdam
2000 ^{e)}	1.200.000			onder water
2000/01 ^{e)}	600.000			op strand
2001	1.000.000			onder water
totaal sinds 1991	9.898.564			
gemiddeld / jaar	900.000			

- a) zandwingebied: Strandhaak zuidzijde
 b) zandwingebied: Euro-Maasgeul; < 20 km
 c) zandwingebied: Amazonehaven D₅₀= 165 µm (145 µm – 190 µm)
 d) zandwingebied: Euro-Maasgeul; < 20 km
 e) Loswal Noord, D₅₀ circa 200 – 250 µm

Onderhoud Euro-Maasgeul

Voor dit onderzoek zijn baggergegevens gebruikt voor de periode 1985 tot 1999 gemeten over de eerste vijf kilometer van de Euro-Maasgeul. De oorspronkelijke baggergegevens (tonnen droge stof) zijn vertaald naar kubieke meters inclusief poriën. De baggergegevens zijn afkomstig van RWS-Directie Noordzee en overgenomen uit het rapport Steijn e.a. (2000). De gemiddelde aanzanding in de proefgeul voor de jaren 1996 – 1999 is opgeteld bij de baggerhoeveelheden. Gemiddeld is circa 1,6 miljoen m³/j uit de Euro-Maasgeul gebaggerd. In 1990 en 1995 is de hoeveelheid ongeveer dubbel zo groot als gemiddeld.

Tabel A.7 Gebaggerde hoeveelheden in de Euro-Maasgeul 1985 - 1998

jaar	hoeveelheid (m ³)	jaar	hoeveelheid (m ³)
1985	1.809.000	1993	1.087.000
1986	1.652.000	1994	2.123.000
1987	1.669.000	1995	3.255.000
1988	1.647.000	1996	1.215.000
1989	936.000	1997	1.180.000

1990	2.517.000	1998	1.152.000
1991	1.043.000	1999	1.345.000
1992	1.702.000		
		totaal 15 jaar	24.332.000
		gemiddeld / jaar	1.622.000

Hindergat

Het ontwerp is gebaseerd op dwarsdoorsneden van het voormalige Gat van de Hawk, en op komberging en getijberekeningen. De geul werd destijds aangelegd tot NAP –7 m, lokaal tot NAP –8 m.

Natuurprojecten

Aan de zuidoostzijde van de Slufter zijn verschillende natuurprojecten uitgevoerd die een effect hebben gehad op de hypsometrie van het gebied. In totaal is orde 0,5 miljoen m³ zand verplaatst bij deze kleinschalige werken.

1987: aanleg van 10 ha “primaire vallei” op de restanten van de voormalige Westplaat en opspuiten van 3,5 ha vogeleiland (boven GHW). Bron van het zand onbekend, vermoedelijk met zand uit gegraven baggerdepot.

1993: 280.000 m³ zand lokaal ontgraven (tot NAP –5 m) en op vogeleiland gestort, omdat het door stormen teveel was afgevlakt (te weinig areaal boven GHW). Het areaal boven GHW bleek spoedig alweer te klein: toen liet men het maar gaan. De kuil die ontstond door het ontgraven heeft zich wel redelijk gehandhaafd (weinig opslibbing).

1994: primaire vallei vergroot tot 20 ha. Nieuwe naam van complex: “Kleine Slufter”, dat bestaat uit een stuifdijk, een geul langs deze stuifdijk, een laagliggende slufervlakte en een paraboolduin. De stuifdijk en het gegraven geultje zijn volgens het principe van “werk-met-werk” aangelegd en hebben dus geen effect op de sedimentbalans. Wel een beetje op de arealen (enkele ha boven NAP en onder NAP –3 m ten koste van de tussenliggende dieptelaag).

Deze natuurwerken hebben geen effect op de sedimentbalans van de buitendelta als geheel. De relevantie ten aanzien van de arealen is eveneens gering: enkele ha (orde 10-20) verschoven van NAP –1 m tot NAP –3 m naar areaal boven NAP +1 m en areaal onder NAP –3 m.

Bijlage B Hydrologische randvoorwaarden

De volgende waarnemingen zijn gerelateerd aan de meteorologische omstandigheden. Het betreft de afvoer van regen- en smeltwater door de Haringvlietsluizen alsmede de golven en waterstanden door wind en getij:

Debieten door de Haringvlietsluizen

Voor deze studie hebben wij de beschikking over dagelijks gemiddelde debietgegevens voor de jaren 1986 t/m 2000. De gegevens zijn op basis van een eenvoudig model berekend uit waterstanden vóór en achter de sluisen en de grootte van de opening. In figuur B.1 zijn het gemiddeld debiet per dag (m^3/s) en de cumulatieve afvoer per jaar (van oktober tot en met september van het volgende jaar, in Mm^3) gevisualiseerd. In tabel B.1 zijn per jaar de hoogste afvoer, de datum waarop deze is opgetreden, het (jaar)gemiddelde, de laagste afvoer en het aantal dagen waarbij de etmaalgemiddelde afvoer lager was dan $75 \text{ m}^3/\text{s}$ gepresenteerd.

Tabel B.1 Hoogste, gemiddelde en laagste etmaalgemiddelde spuidebieten per jaar (oktober – september) in de periode 1986 - 2000

jaar	hoogste m^3/s	datum	gemiddelde m^3/s	laagste m^3/s	aantal dagen < $75 \text{ m}^3/\text{s}$
1985 - 1986	3.848	29 jan 1986	1.051	0	30
1986 - 1987	5.936	7 jan 1987	1.144	0	50
1987 - 1988	6.425	31 mrt 1988	1.149	34	68
1988 - 1989	3.711	11 dec 1988	579	0	165
1989 - 1990	4.744	21 feb 1990	451	0	240
1990 - 1991	5.292	7 jan 1991	416	0	214
1991 - 1992	4.204	27 dec 1991	361	0	185
1992 - 1993	4.677	17 jan 1993	523	7	212
1993 - 1994	7.893	27 dec 1993	1.223	21	87
1994 - 1995	9.015	2 feb 1995	1.254	14	83
1995 - 1996	2.496	29 dec 1995	170	0	256
1996 - 1997	4.641	3 mrt 1997	515	0	142
1997 - 1998	2.628	9 jan 1998	340	0	231
1998 - 1999	5.557	6 nov 1998	1.246	16	53
1999 - 2000	4.454	31 dec 1999	834	0	81
1986 - 2000	9.015	2 feb 1995			
gemiddeld/jr			742	0	140

Uit de gegevens blijken een aantal extremen jaren. Extreem hoge afvoeren (> $5.500 \text{ m}^3/\text{s}$ gemiddeld per dag) zijn opgetreden in 1987, 1988, 1993, 1995 en 1999. Het hoogste etmaalgemiddelde spuidebiet is opgetreden in 1995 en bedroeg circa $9.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Er zijn ook jaren met extreem lage spuidebieten. Vooral 1996 is zeer droog, gedurende 256 dagen bedroeg het gemiddelde spuidebiet minder dan $75 \text{ m}^3/\text{s}$. Ook in 1990, 1991, 1992 en 1998 is het gemiddelde spuidebiet laag.

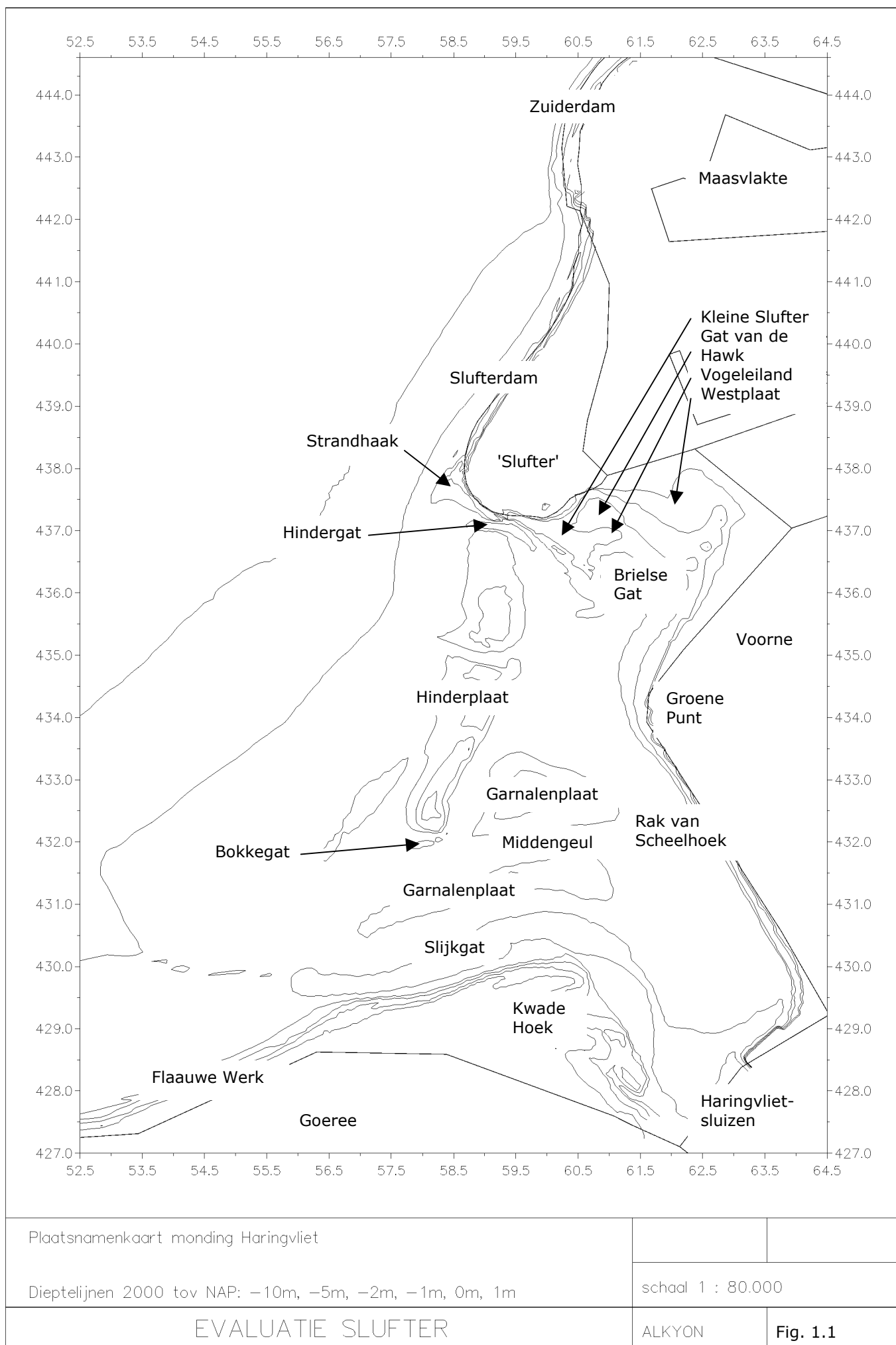
Uurlijkse golf- en windgegevens van Euro platform

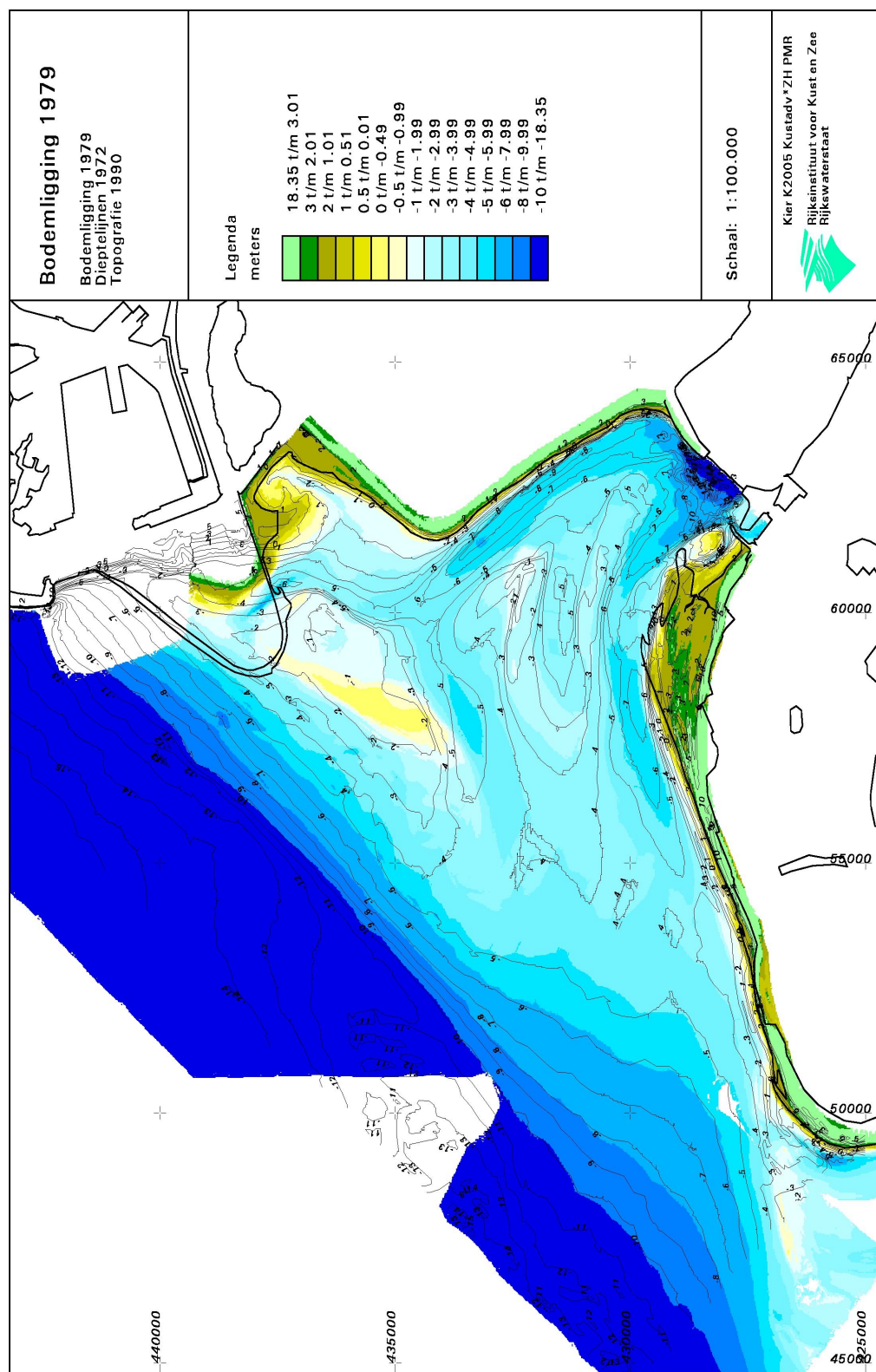
Voor de periode januari 1986 t/m december 2001 hebben we de beschikking over significante golfhoogte H_{m0} , gemiddelde golfperiode T_{m02} en de gemiddelde golfrichting gemeten bij het Euro platform. Voor de periode tot en met december 1998 hebben we tevens de beschikking over de gemiddelde windsnelheid en richting. De golfgegevens zijn gemeten met een directionele golfmeetboei (voorheen een WAVEC-boei, vanaf januari 2001 een Directional Waverider). Om technische redenen is de uitval in de jaren 1986 t/m 1990 vrij hoog (30 tot 60 procent); vanaf 1990 is de dekking volledig. In figuur B.2a, b en c is door middel van golfrozen de jaarlijkse golfstatistiek weergegeven. In tabel B.2 zijn per jaar (van juli tot en met juni van het volgende jaar) de hoogste golven en de datum waarop deze zijn opgetreden en de bijbehorende golfperiode, golfrichting en windsnelheid gepresenteerd.

Tabel B.2 Hoogste voorkomende golven per jaar (juli – juni) in de periode 1986 – 2001, met bijbehorende periode, richting en windsnelheid.

jaar	Hoogste golven		Periode (T_{m0} , s)	Richting (tov Noord)	Windsnelheid (m/s)
	(H_{m0} , m)	datum			
1986 - 1987	5,01	20 okt 1986	6,7	289	15,5
	5,09	19 dec 1986	7,1	259	19,5
	5,50	27 mrt 1987	6,6	230	19,0
1987 - 1988	5,06	6 jan 1988	7,0	235	18,5
	5,91	29 feb 1988	7,6	338	15,0
1988 - 1989	4,52	14 feb 1989	6,9	319	15,0
1989 - 1990	6,18	25 jan 1990	7,8	249	28,0
	5,37	27 feb 1990	6,6	284	19,0
1990 - 1991	6,33	12 dec 1990	8,2	339	17,0
	5,30	6 jan 1991	7,0	239	20,0
1991 - 1992	4,68	20 dec 1991	6,8	294	17,0
1992 - 1993	5,15	25 jan 1993	7,0	290	19,5
	6,05	21 feb 1993	7,7	336	15,0
1993 - 1994	6,15	14 nov 1993	7,7	316	21,5
	5,09	9 dec 1993	7,4	244	21,5
	5,41	28 jan 1994	7,1	285	20,0
	5,13	1 apr 1994	7,3	246	20,0
1994 - 1995	5,16	2 jan 1995	7,6	341	15,0
	5,25	12 jan 1995	7,2	341	19,0
	4,86	3 mrt 1995	6,9	247	20,5
1995 - 1996	5,65	19 feb 1996	7,5	353	19,0
1996 - 1997	4,60	12 sep 1996	7,0	338	16,0
1997 - 1998	4,97	3 jan 1998	7,1	245	21,0
1998 - 1999	5,14	13 sep 1998	7,2	324	22,0
	5,10	17 feb 1999	7,2	331	-
1999 - 2000	4,76	3 dec 1999	6,7	232	-
	4,85	4 apr 2000	7,6	356	-
2000 - 2001	4,84	13 dec 2000	6,7	236	-
	5,58	8 nov 2001	7,6	343	-

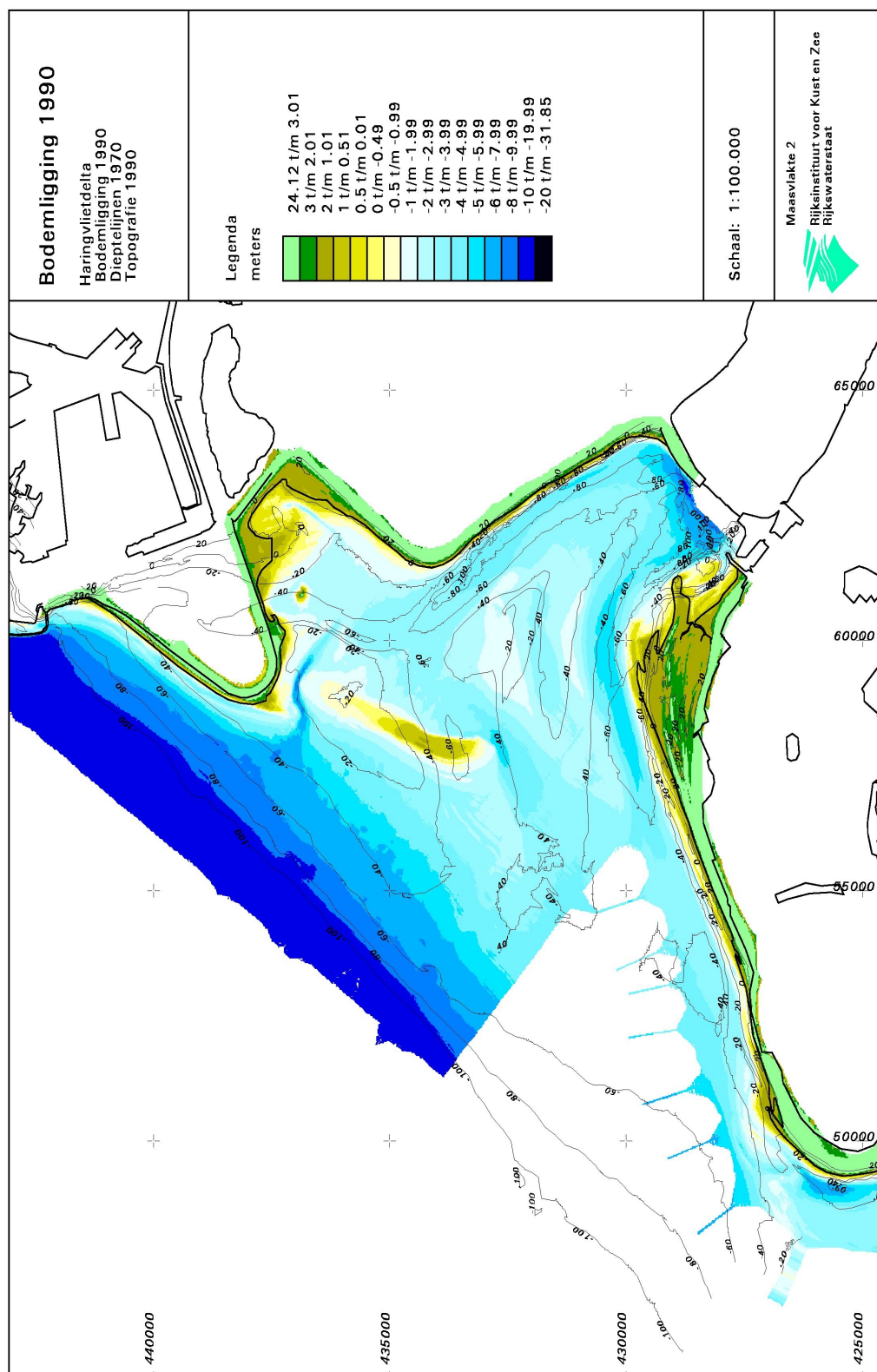
Als relatieve maat voor de hoeveelheid inkomende golfenergie kan per jaar de som van de golfhoogte in het kwadraat worden gebruikt. Dan blijkt dat in de jaren 86-87, 87-88, 90-91, 93-94, 94-95 en 98-99 de meeste golfenergie aanwezig was. De hoogste golven (H_{m0} groter dan 6 m) komen voor in de jaren 89-90, 90-91 92-93 en 93-94. De hoogste golven komen ofwel uit noordnoordwestelijke richting, of uit westzuidwestelijke richting.





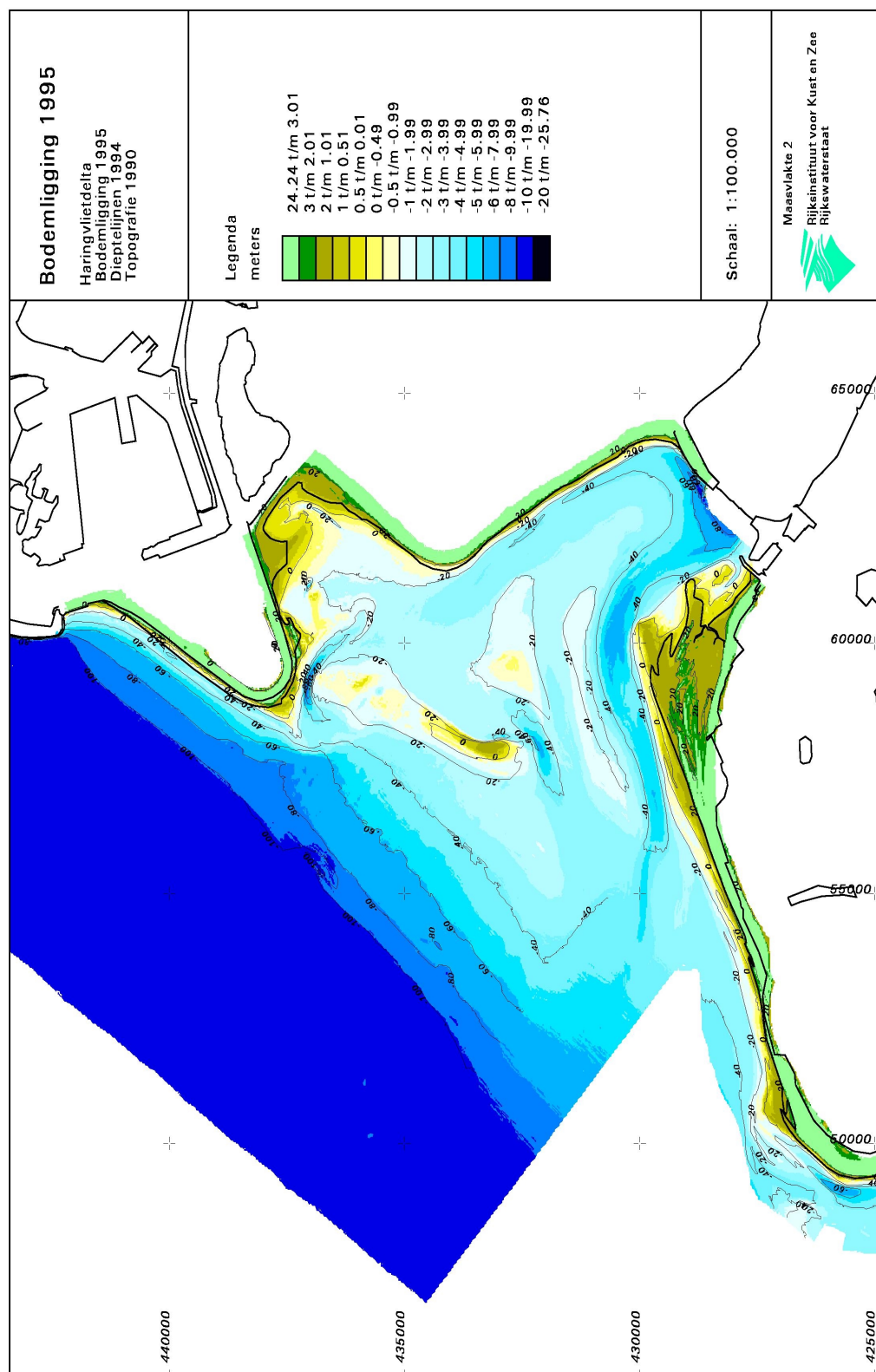
Bodem 1979, isolijnen 1972

Bron RIKZ



Bodem 1990, isolijnen 1970

Bron RIKZ



Bodem 1995, isolijnen 1994

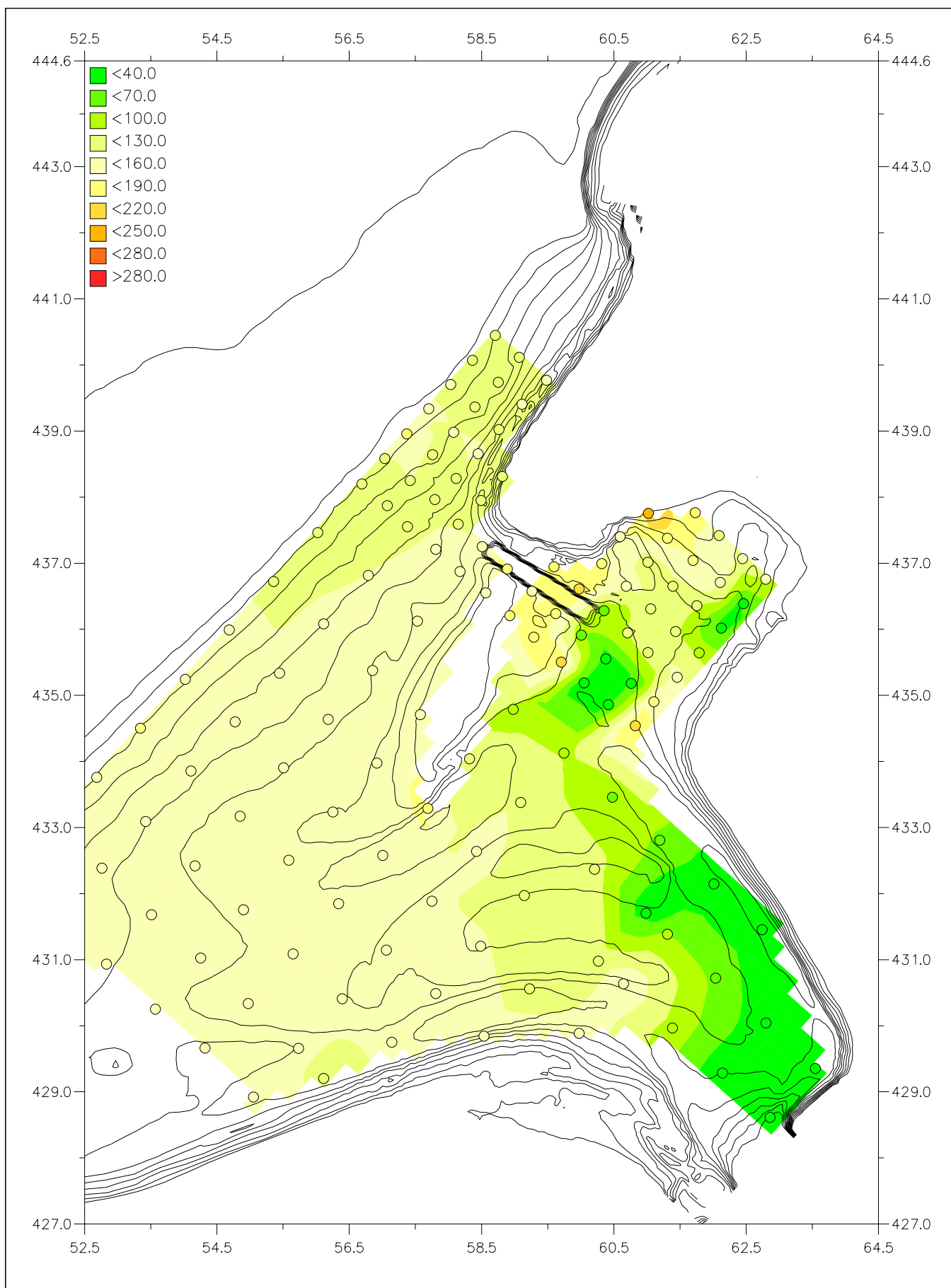
Bron RIKZ

Evaluatie Slufter

A835



Fig. 2.5



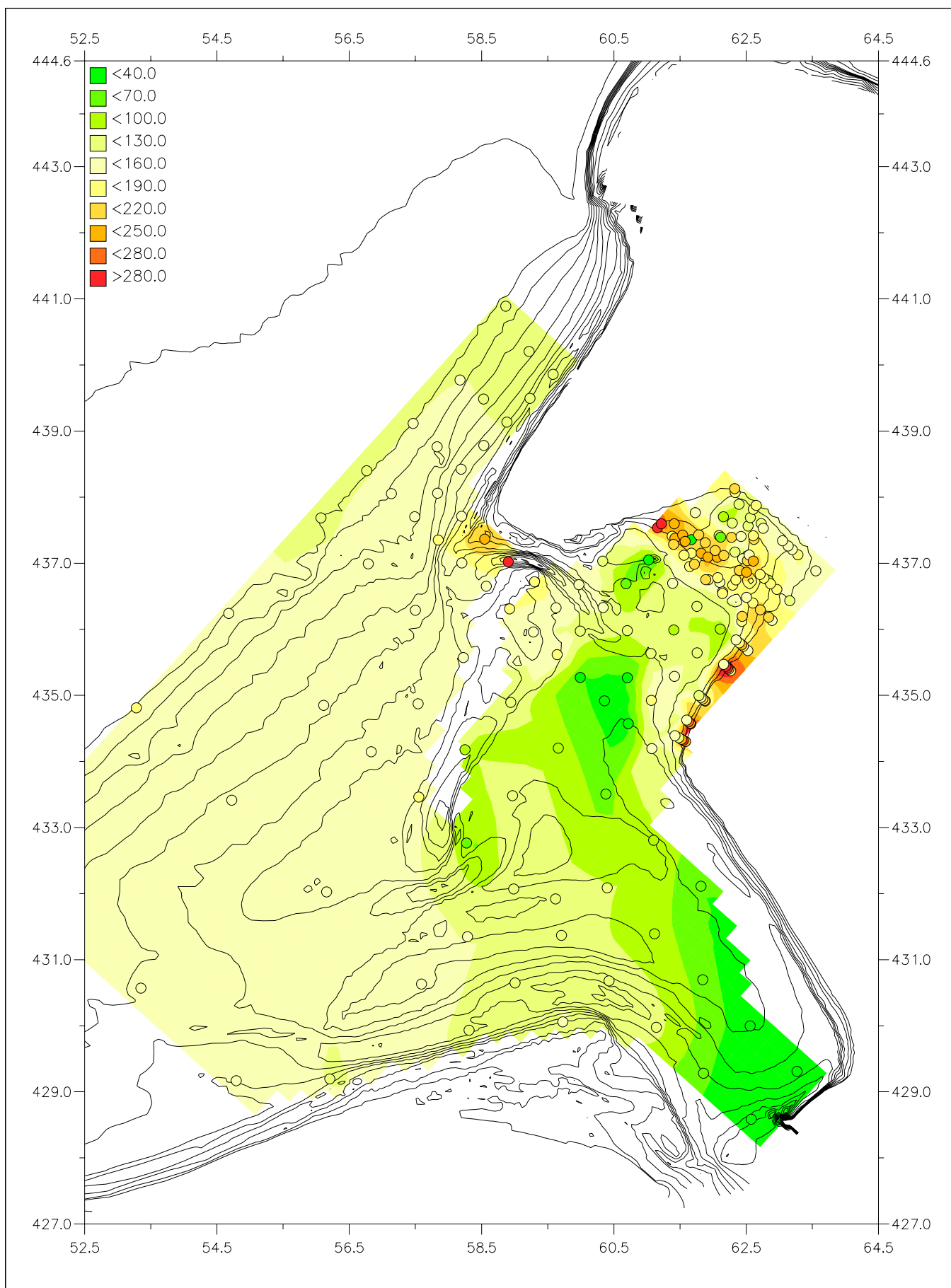
Korrelgrootte (D50, in μm) in het jaar 1985
Cirkels geven meetpunten weer
(bodem 1986)

schaal 1 : 80.000

EVALUATIE SLUFTER

ALKYON

Fig. 2.7



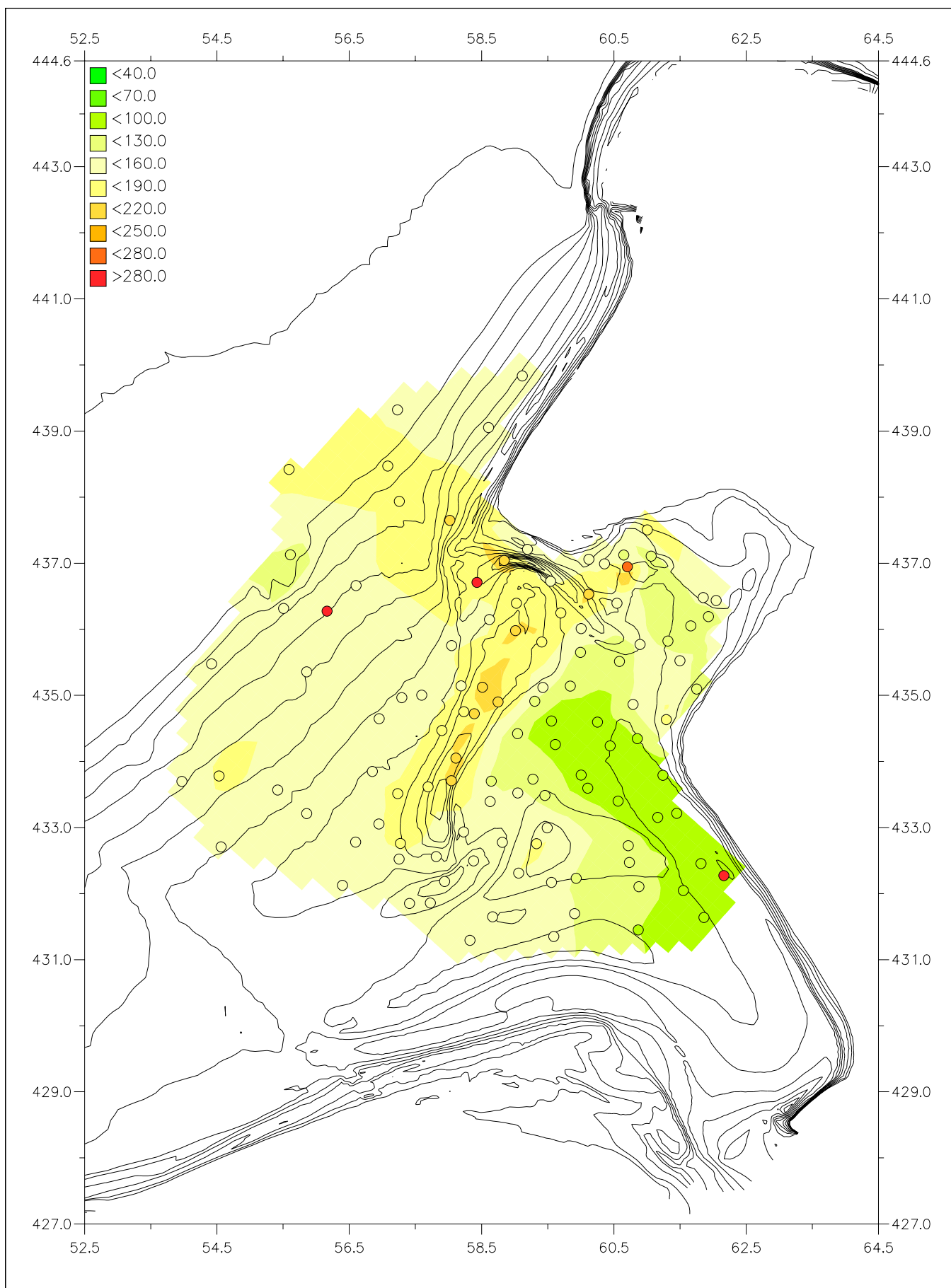
Korrelgrootte (D50, in μm) in het jaar 1989
Cirkels geven meetpunten weer
(bodem 1990)

schaal 1 : 80.000

EVALUATIE SLUFTER

ALKYON

Fig. 2.8



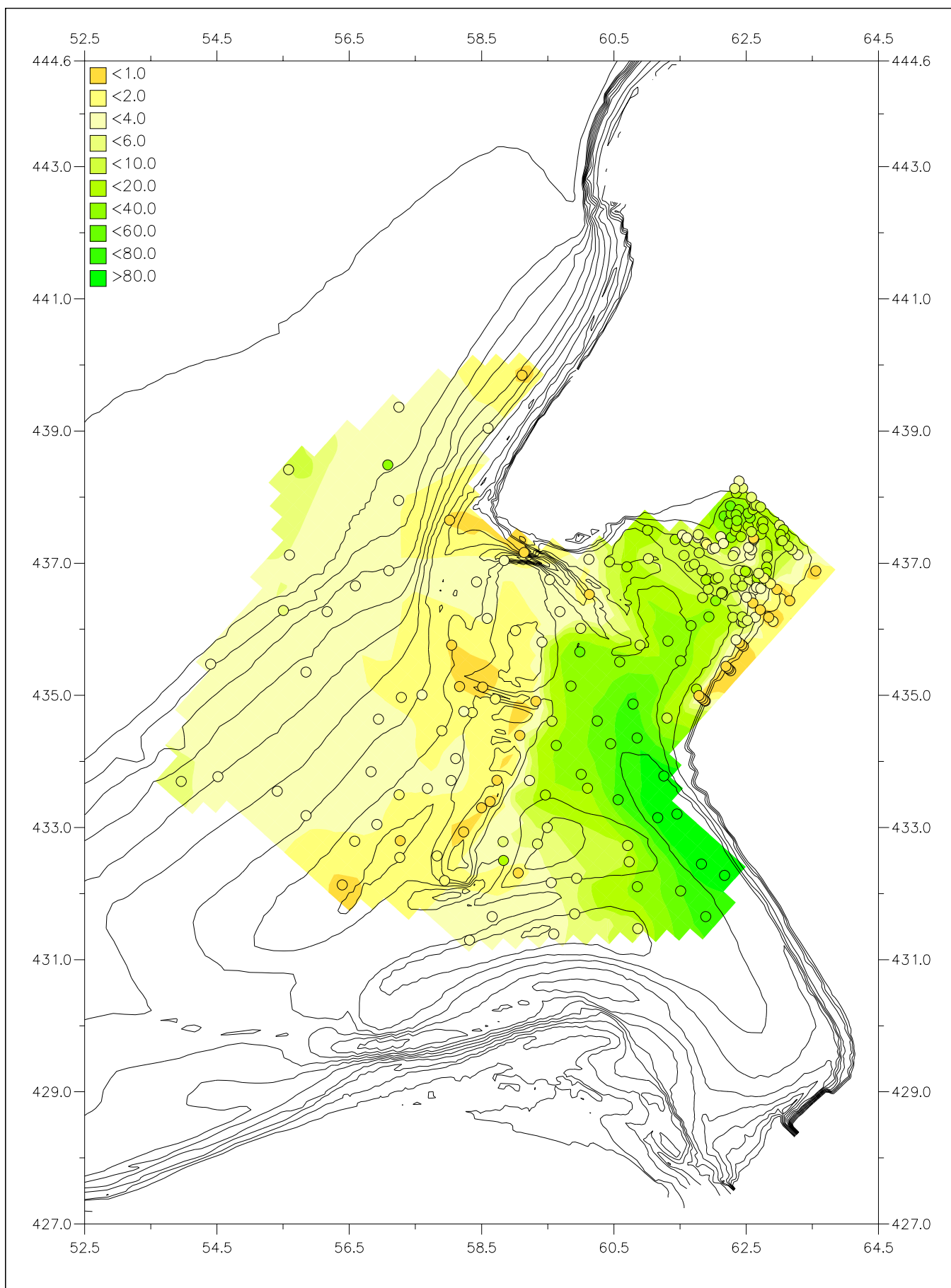
Korrelgrootte (D50, in μm) in het jaar 1994
 Cirkels geven meetpunten weer
 (bodem 1994)

schaal 1 : 80.000

EVALUATIE SLUFTER

ALKYON

Fig. 2.9



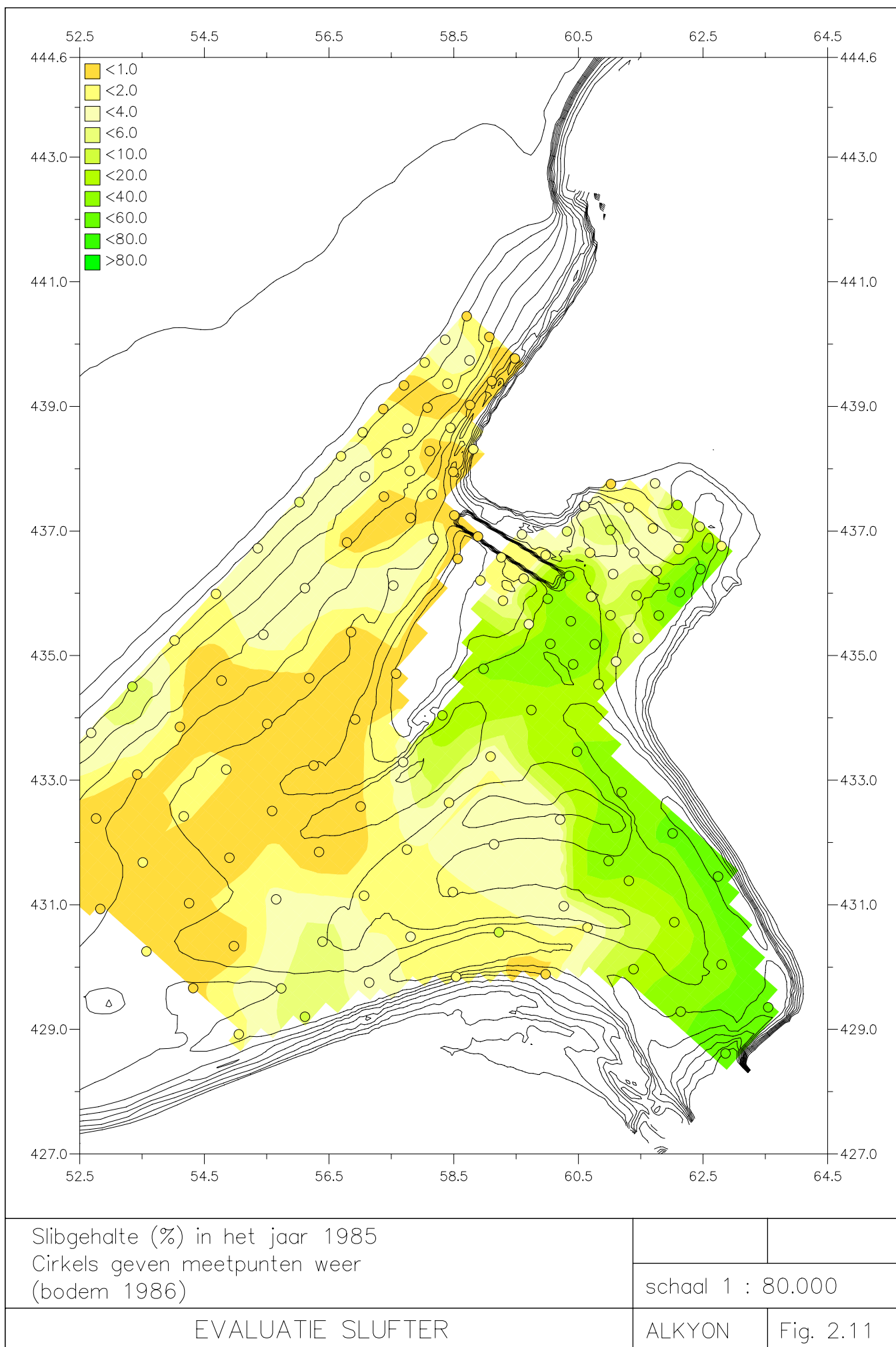
Slibgehalte (%) in het jaar 2000
Cirkels geven meetpunten weer
(bodem 2000)

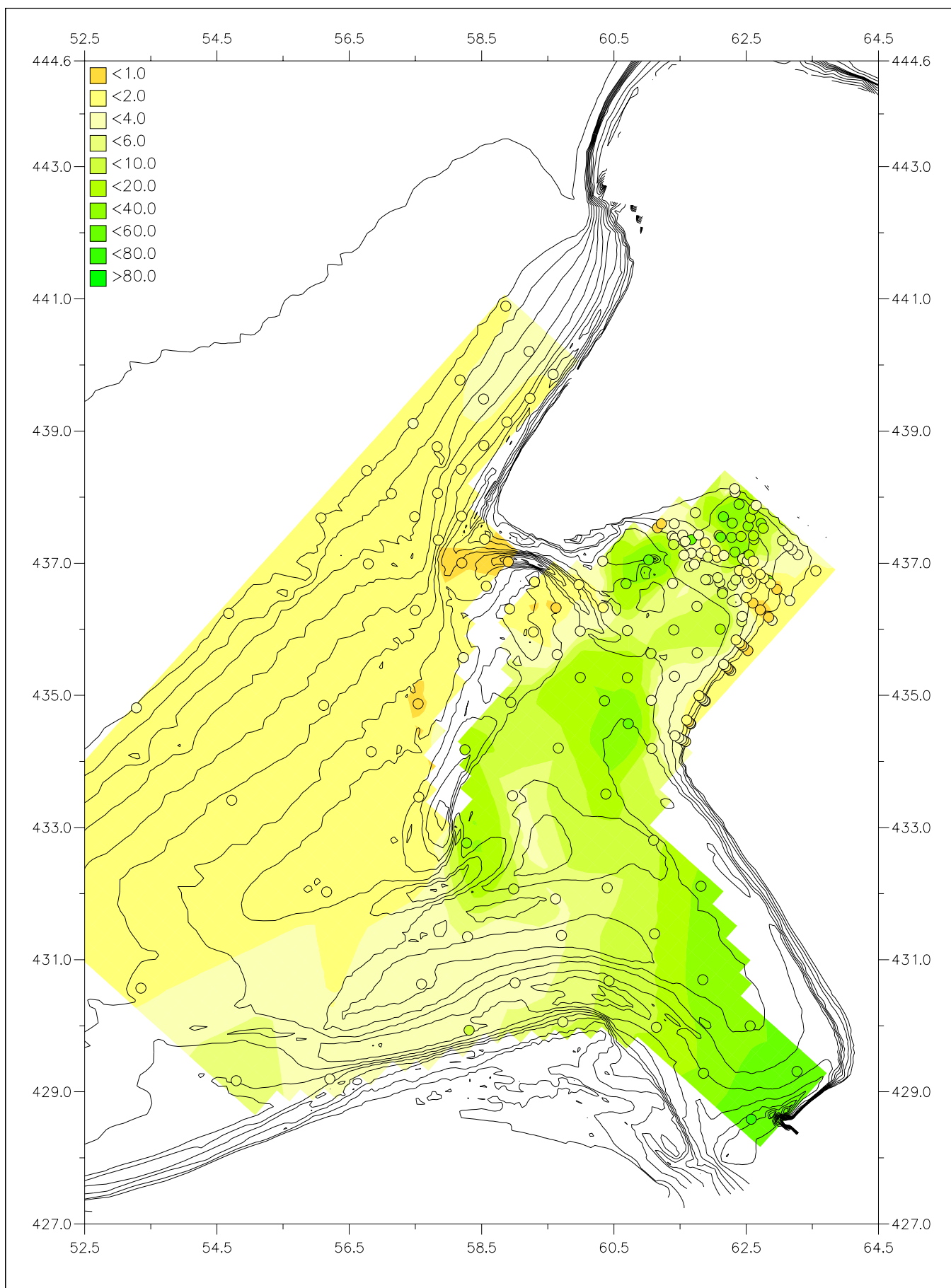
schaal 1 : 80.000

EVALUATIE SLUFTER

ALKYON

Fig. 2.10





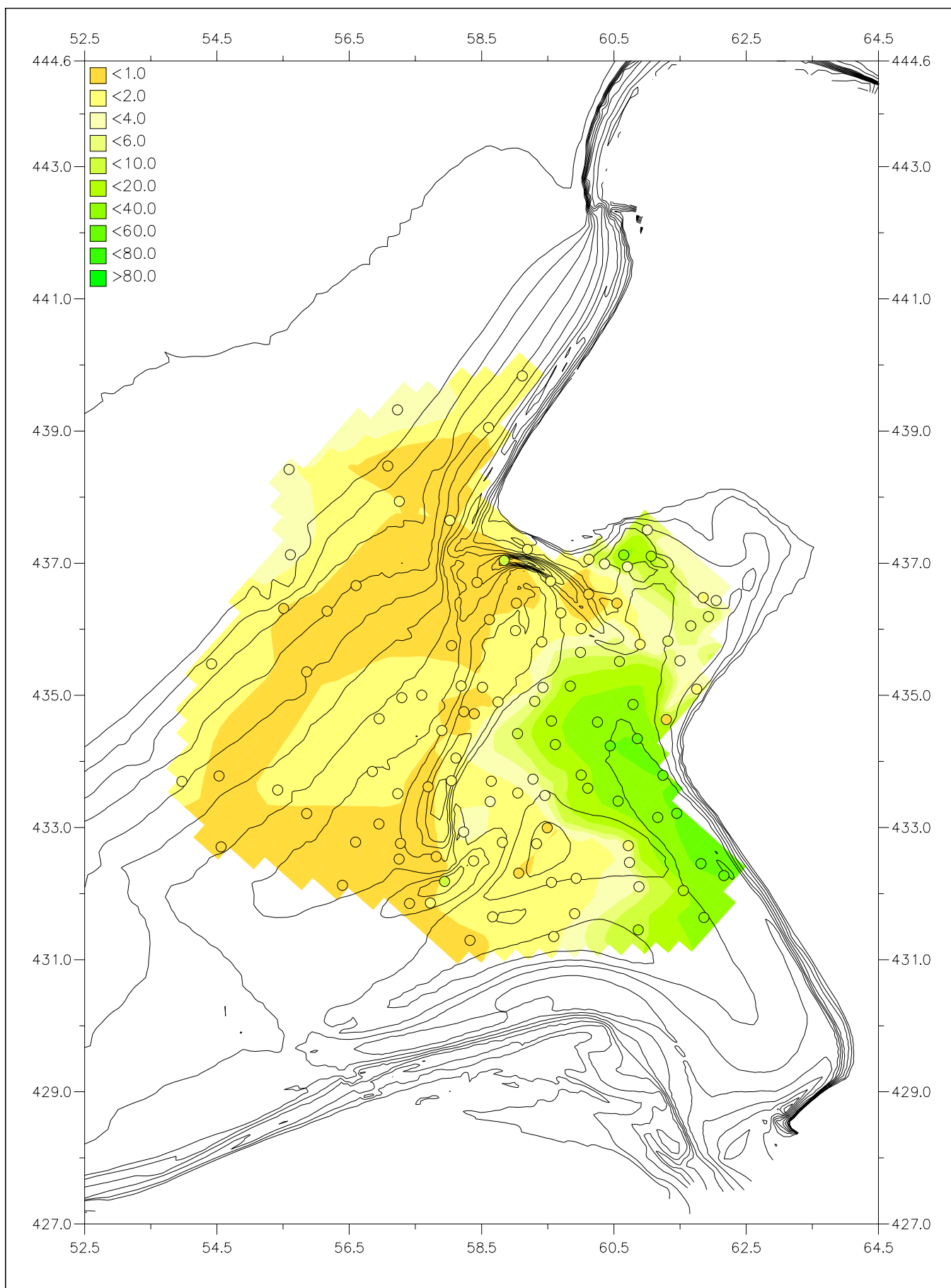
Slibgehalte (%) in het jaar 1989
Cirkels geven meetpunten weer
(bodem 1990)

schaal 1 : 80.000

EVALUATIE SLUFTER

ALKYON

Fig. 2.12



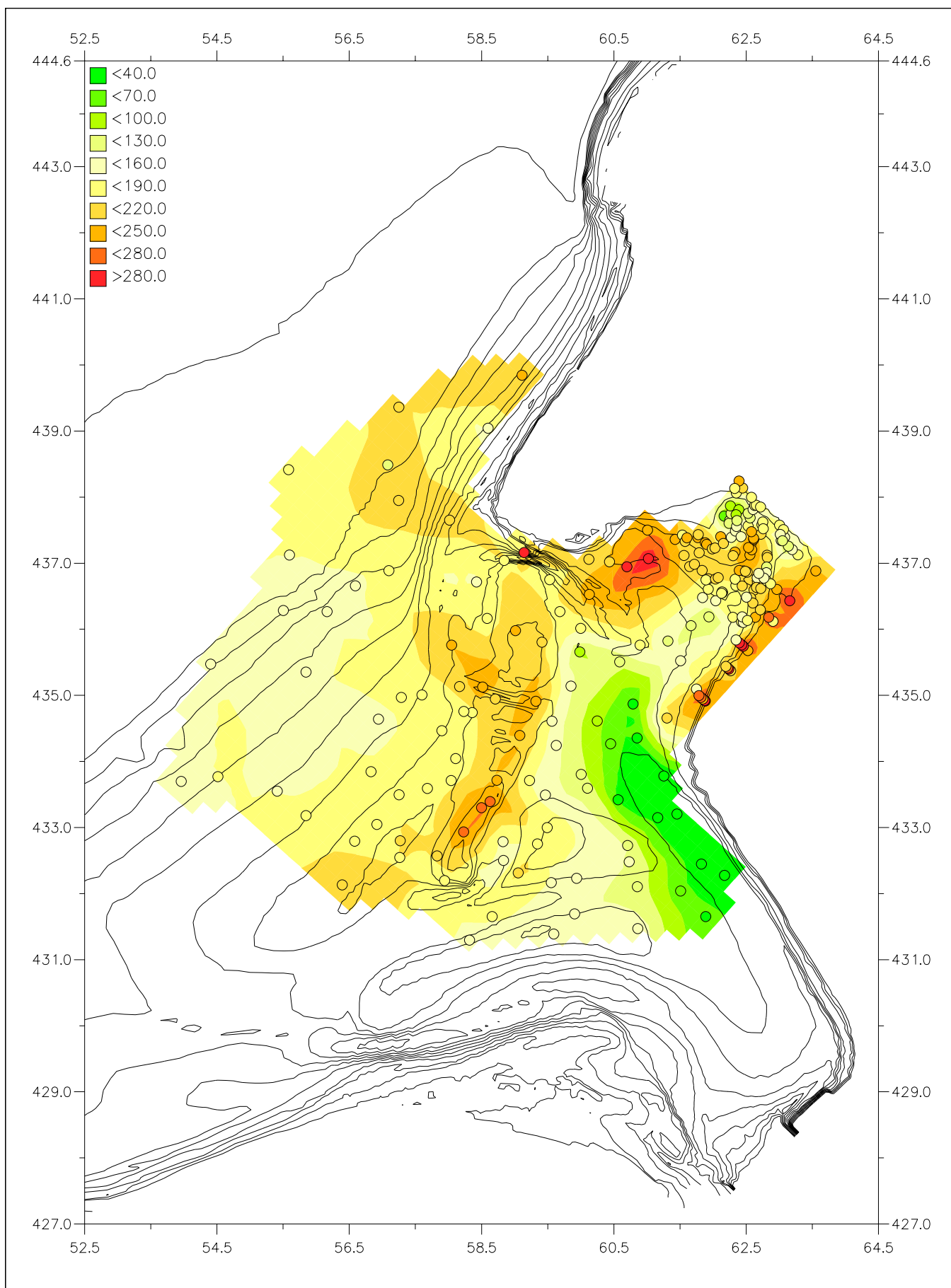
Slibgehalte (%) in het jaar 1994
Cirkels geven meetpunten weer
(bodem 1994)

schaal 1 : 80.000

EVALUATIE SLUFTER

ALKYON

Fig. 2.13



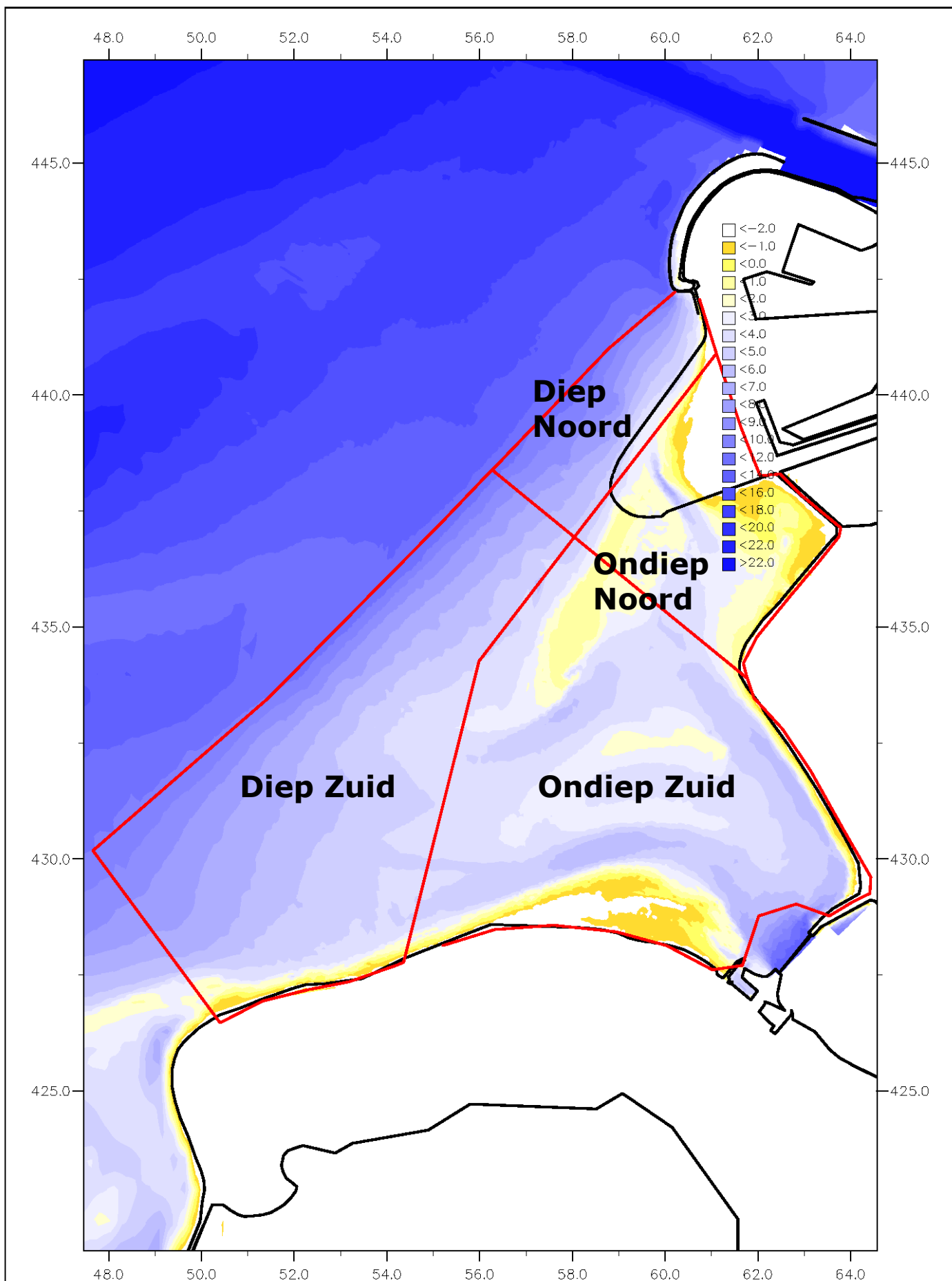
Korrelgrootte (D50, in μm) in het jaar 2000
 Cirkels geven meetpunten weer
 (bodem 2000)

schaal 1 : 80.000

EVALUATIE SLUFTER

ALKYON

Fig. 2.14

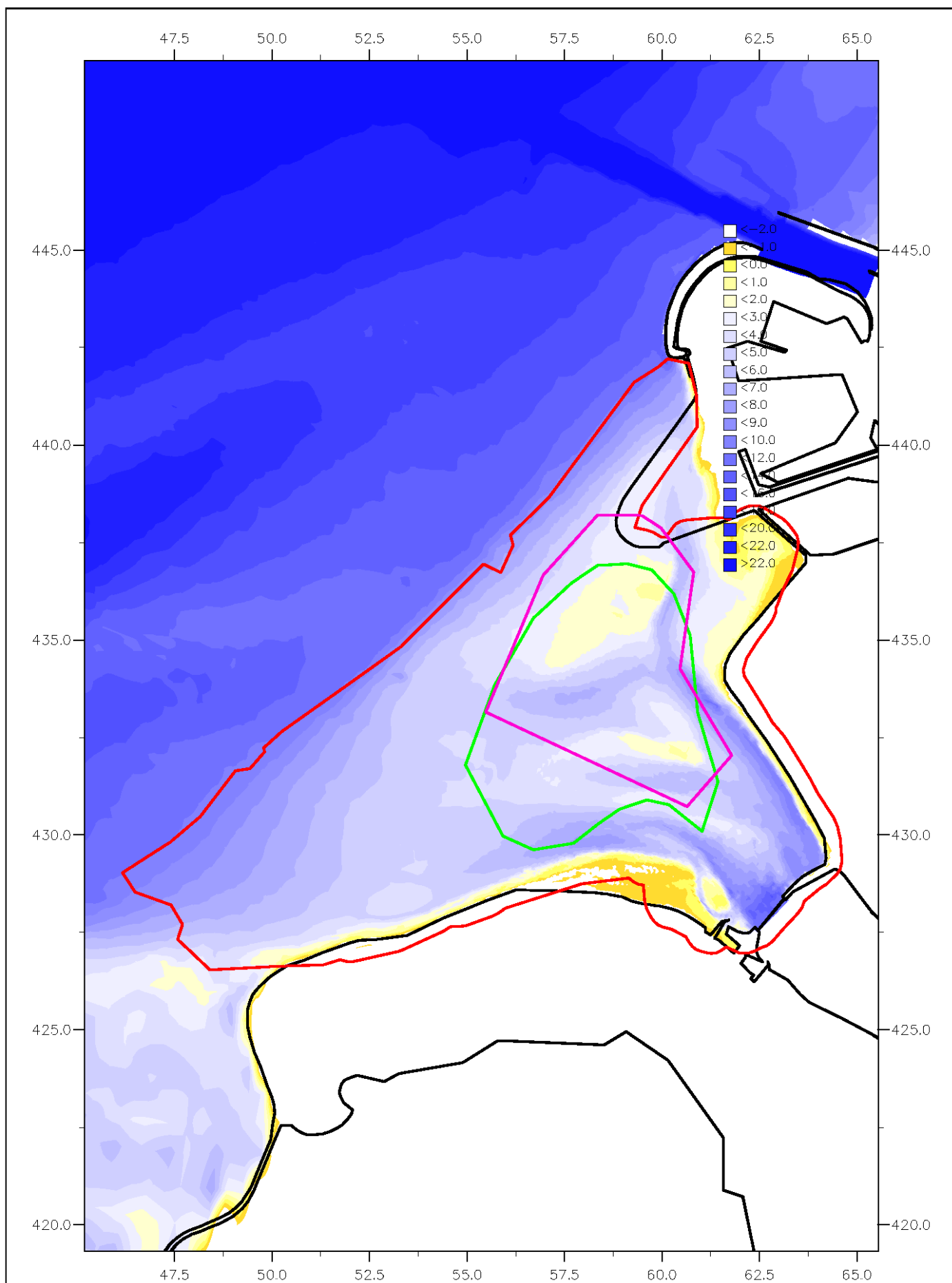


Ligging balansvakken (bodem 1986)
Bron: Steijn e.a. 2001

EVALUATIE SLUFTER

ALKYON

Fig. 3.1

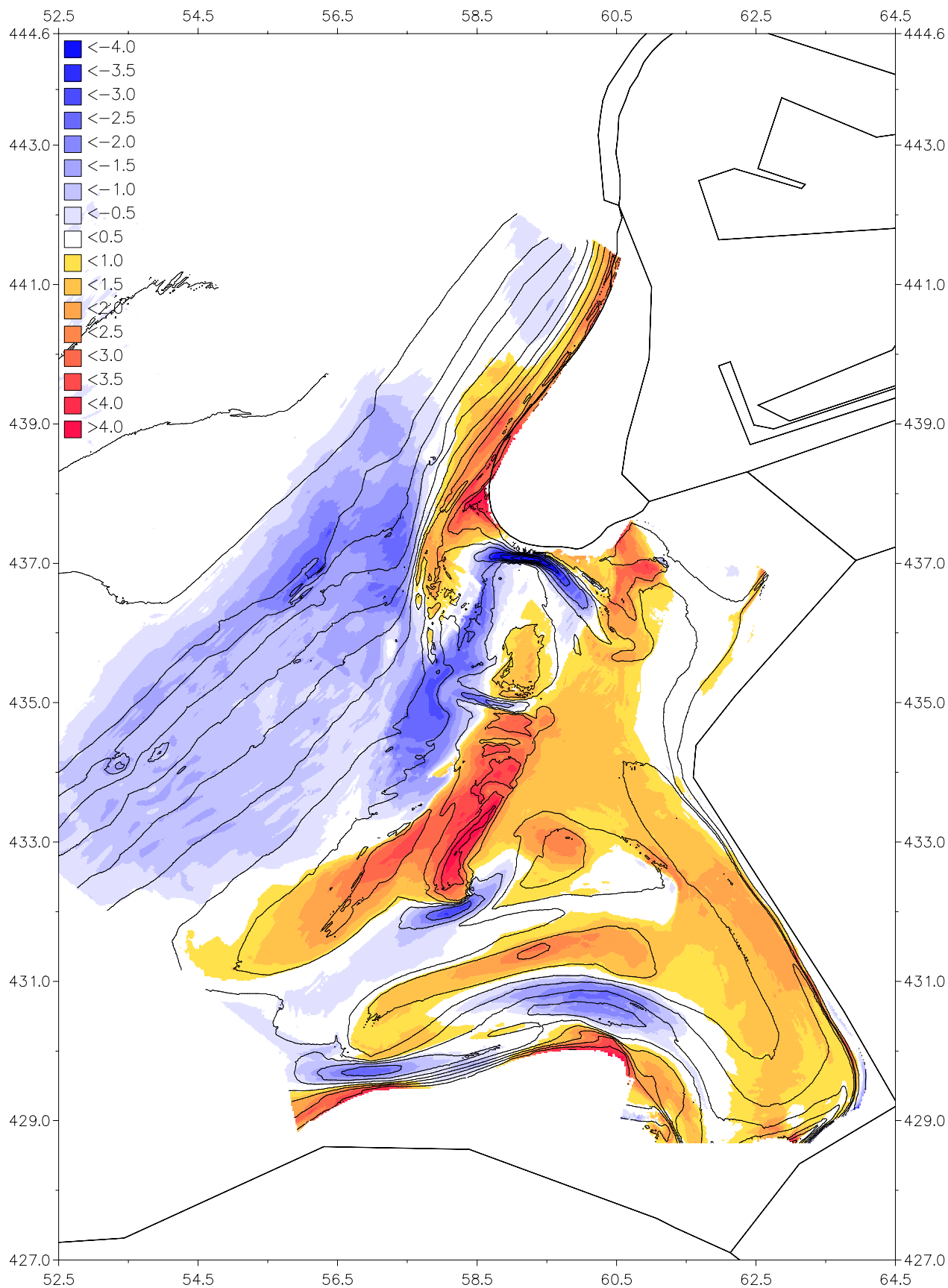


Gebiedsgrenzen voor bepaling arealen (bodem 1970)
Monding (rood), intergetijde - platen (paars/groen)
Bron: Steijn e.a. 2001

EVALUATIE SLUFTER

ALKYON

Fig. 3.2



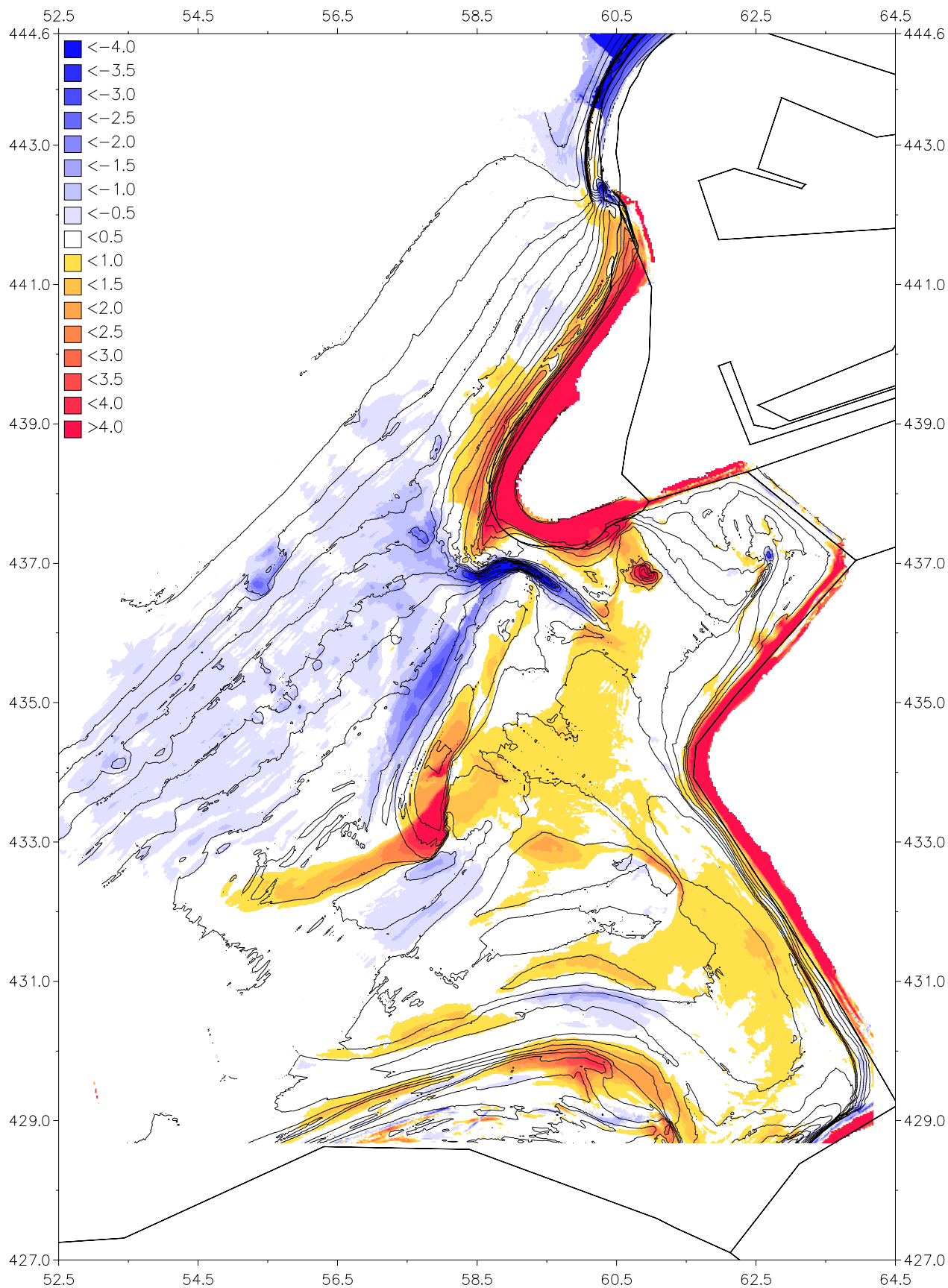
Verschilbodem (m) 2000 – 1986, isolijnen 2000

schaal 1 : 80.000

EVALUATIE SLUFTER

ALKYON

Fig. 4.13



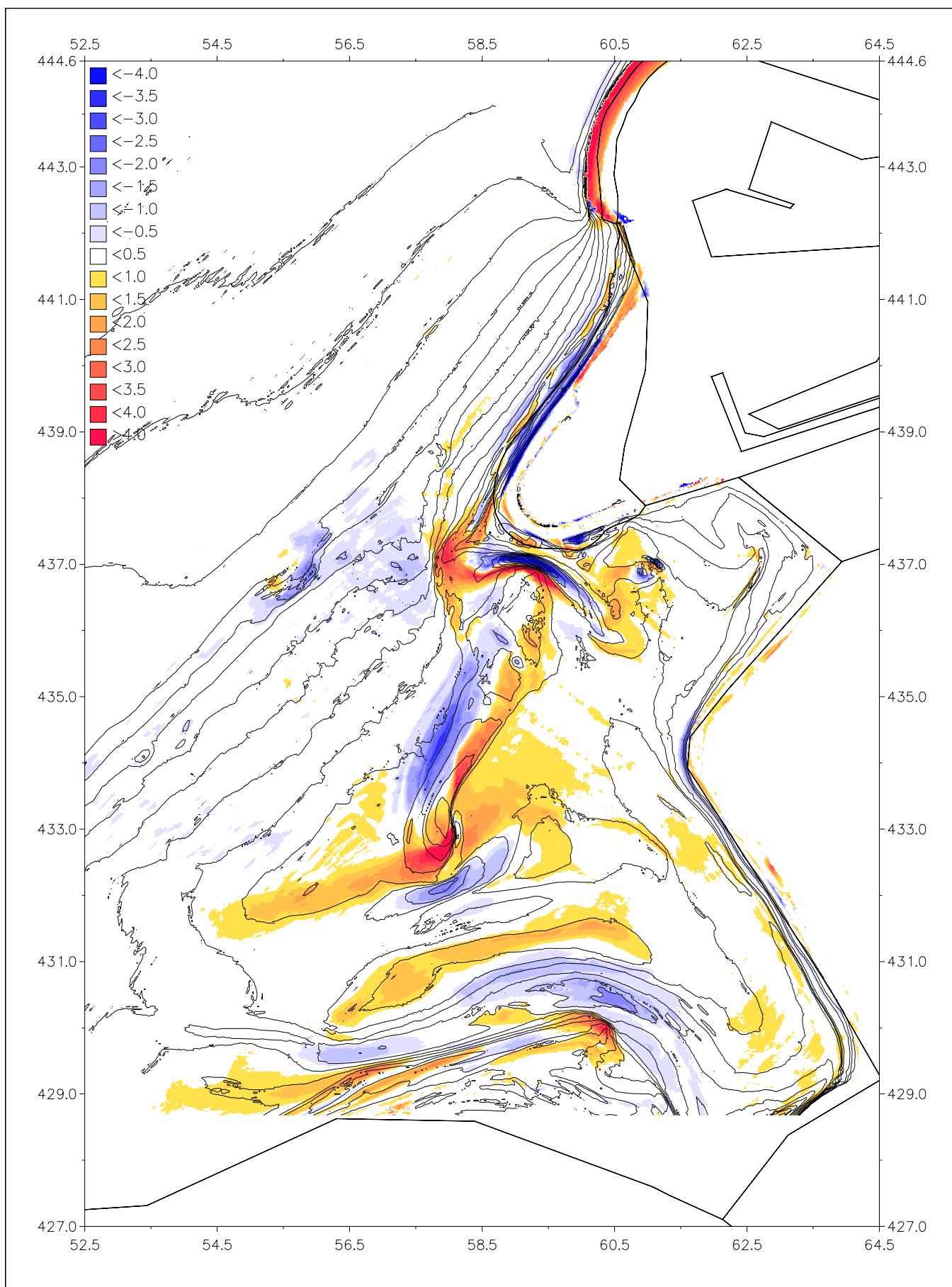
Verschilbodem (m) 1990 – 1986, isolijnen 1990

schaal 1 : 80.000

EVALUATIE SLUFTER

ALKYON

Fig. 4.14



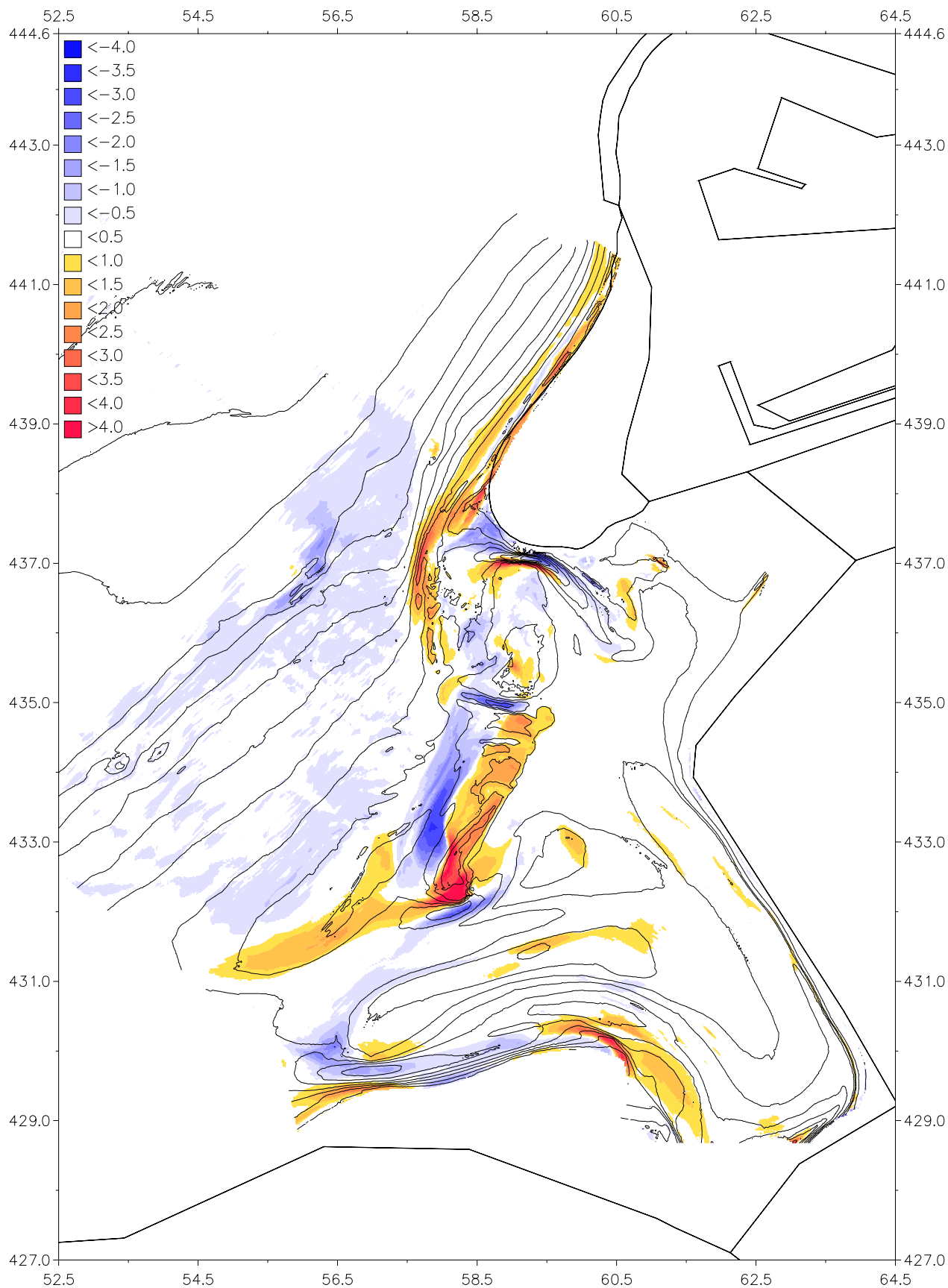
Verschilbodem (m) 1995 – 1990, isolijnen 1995

schaal 1 : 80.000

EVALUATIE SLUFTER

ALKYON

Fig. 4.15



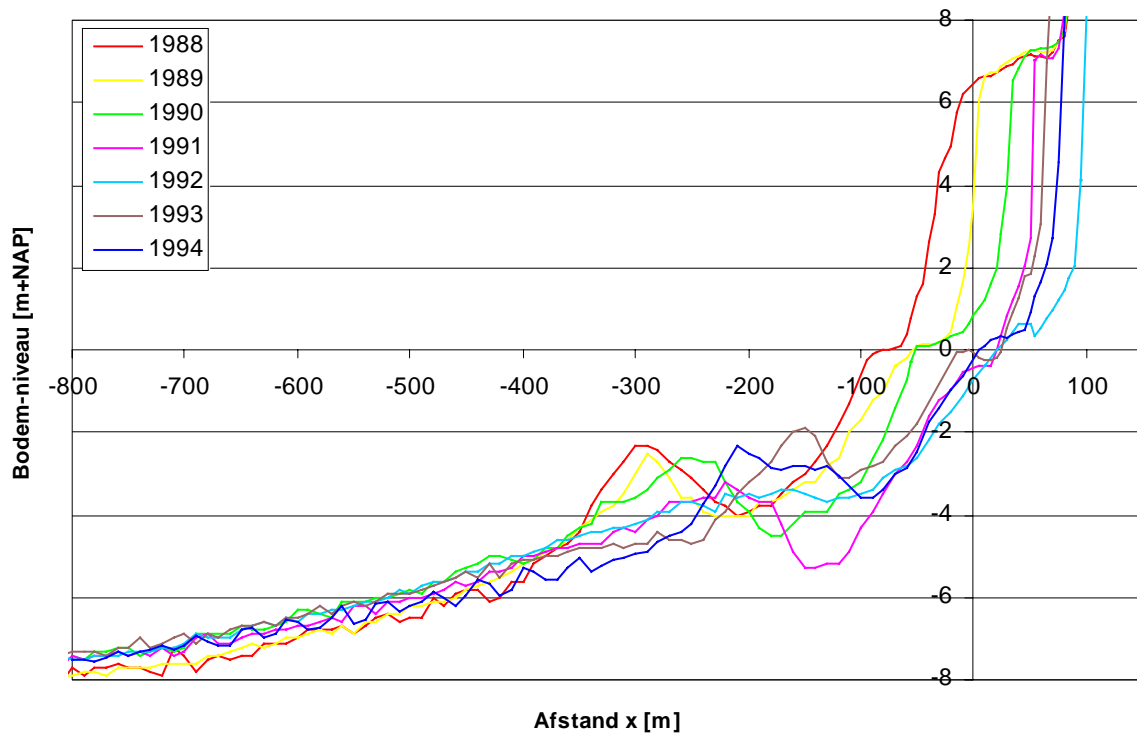
Verschilbodem (m) 2000 – 1995, isolijnen 2000

schaal 1 : 80.000

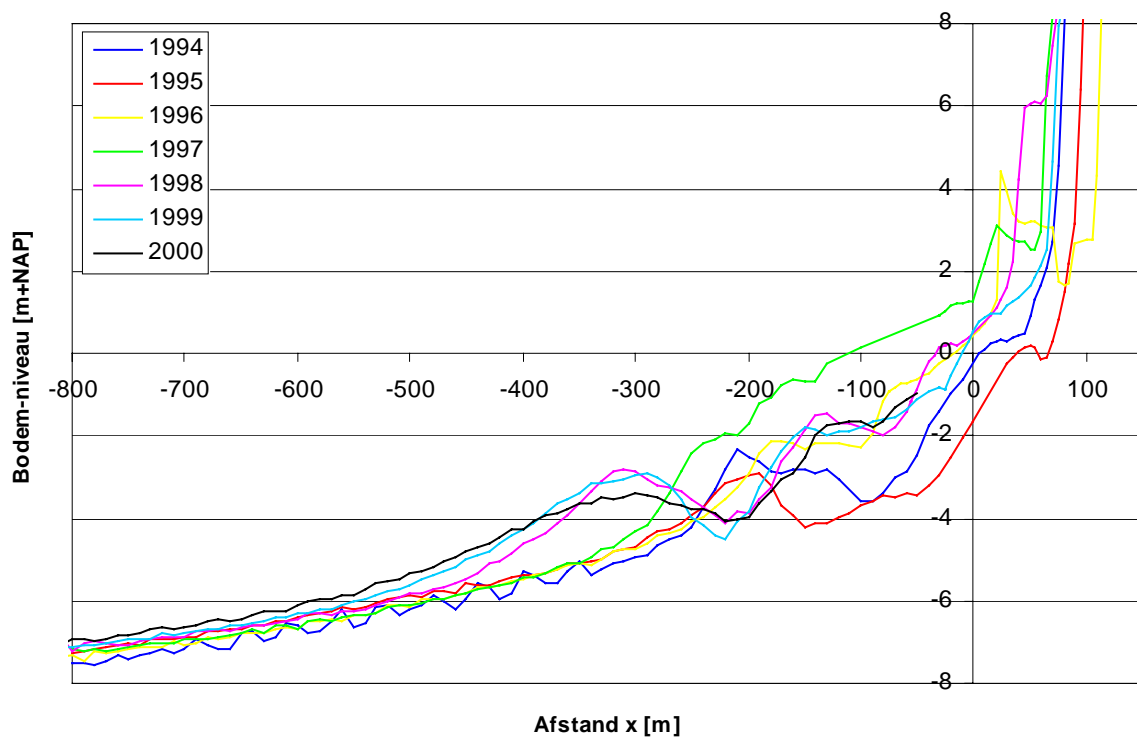
EVALUATIE SLUFTER

ALKYON

Fig. 4.16



a) Gemeten profielen JARKUS-raai 941 1988 t/m 1994



b) Gemeten profielen JARKUS-raai 941 1994 t/m 2000

Gemeten profielen JARKUS-raai 941 1988 t/m 2001

941

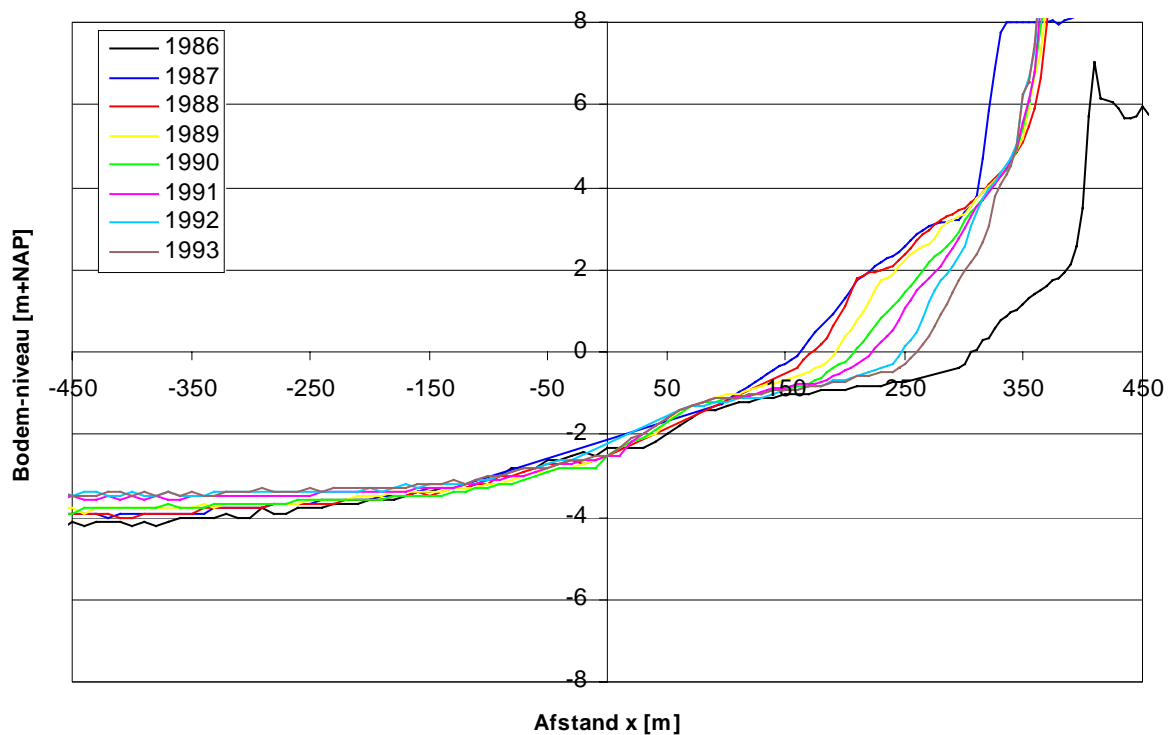
Maasvlakte

EVALUATIE SLUFTER

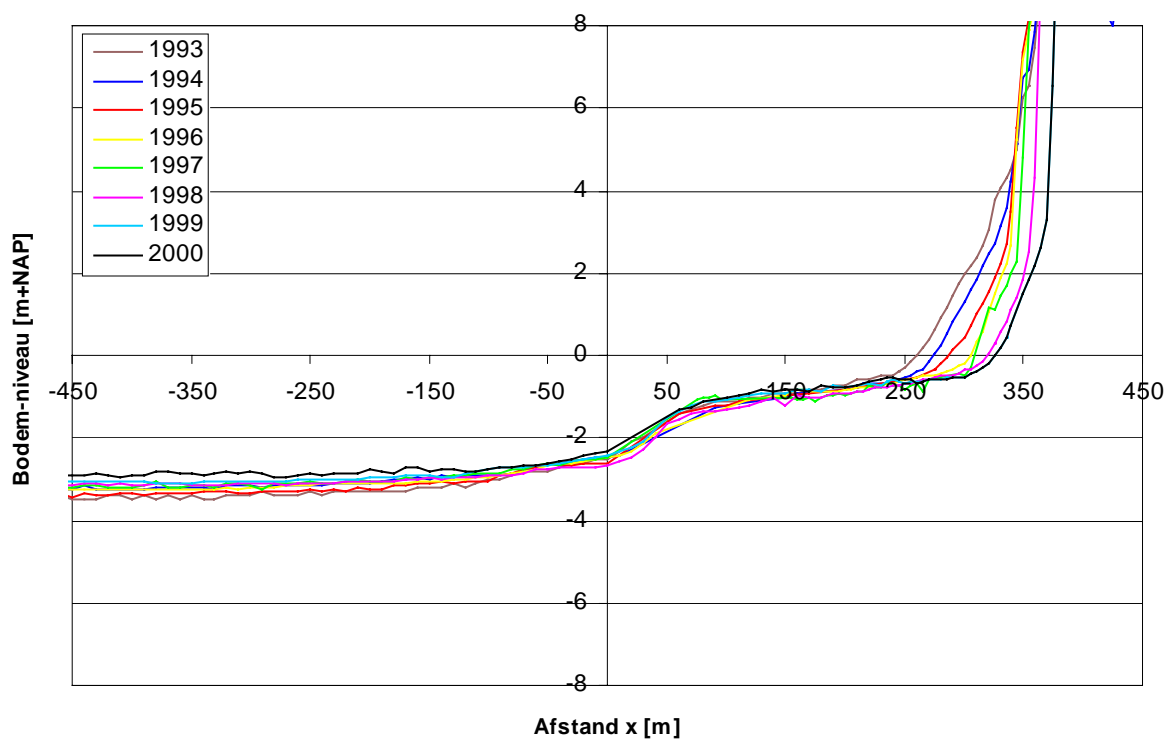
A835



Fig. 4.17



a) Gemeten profielen JARKUS-raai 1003 1988 t/m 1994



b) Gemeten profielen JARKUS-raai 1003 1994 t/m 2000

Gemeten profielen JARKUS-raai 1003 1988 t/m 2000

1003

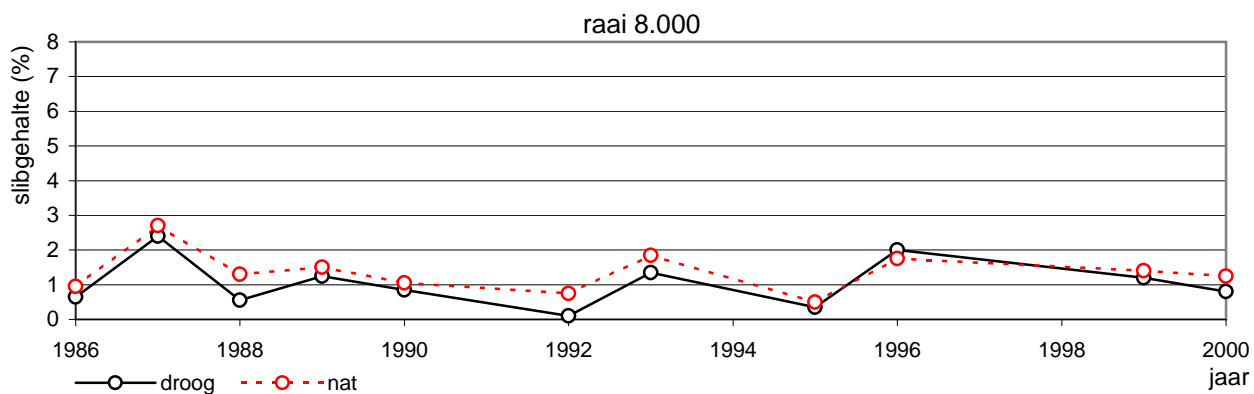
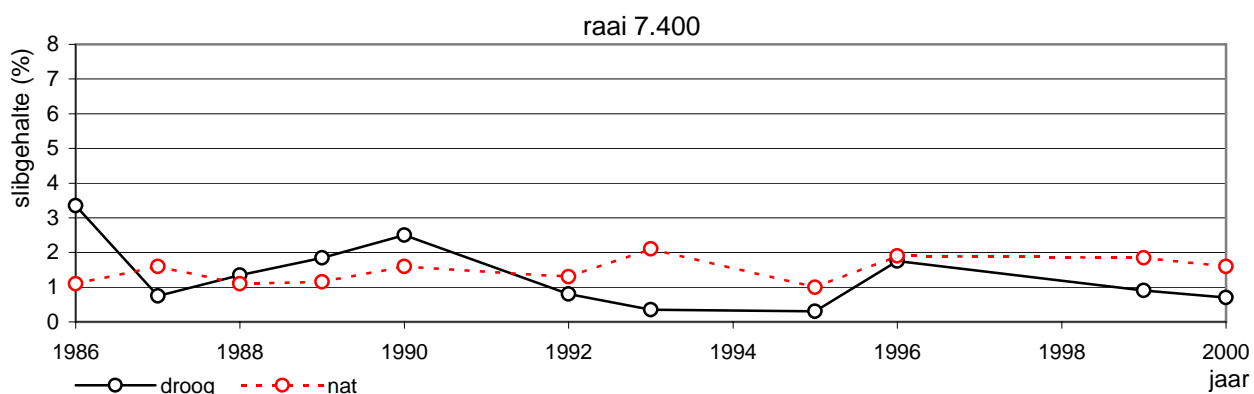
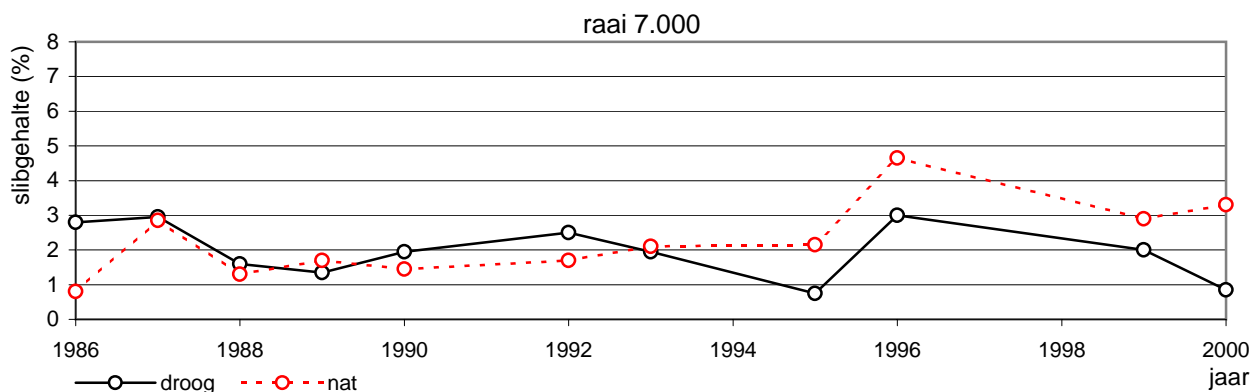
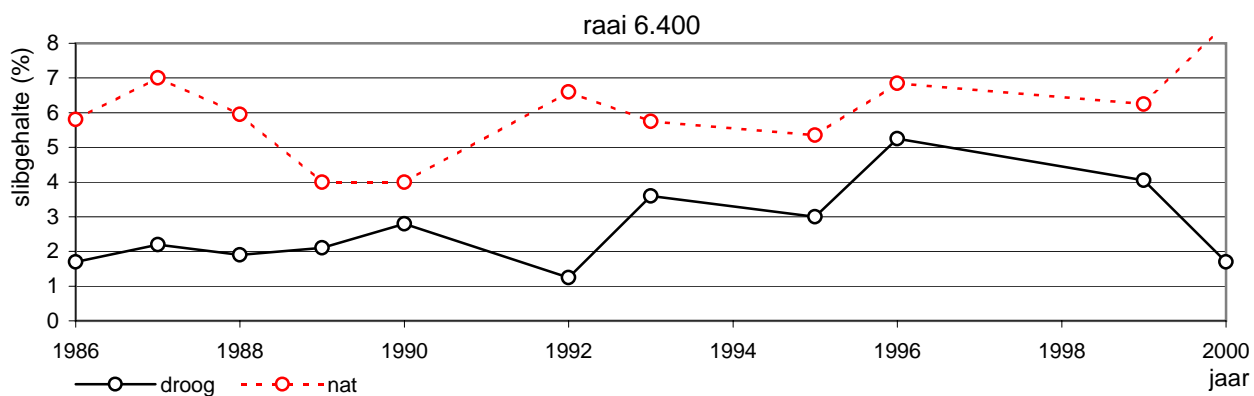
Voorne

EVALUATIE SLUFTER

A835



Fig. 4.25



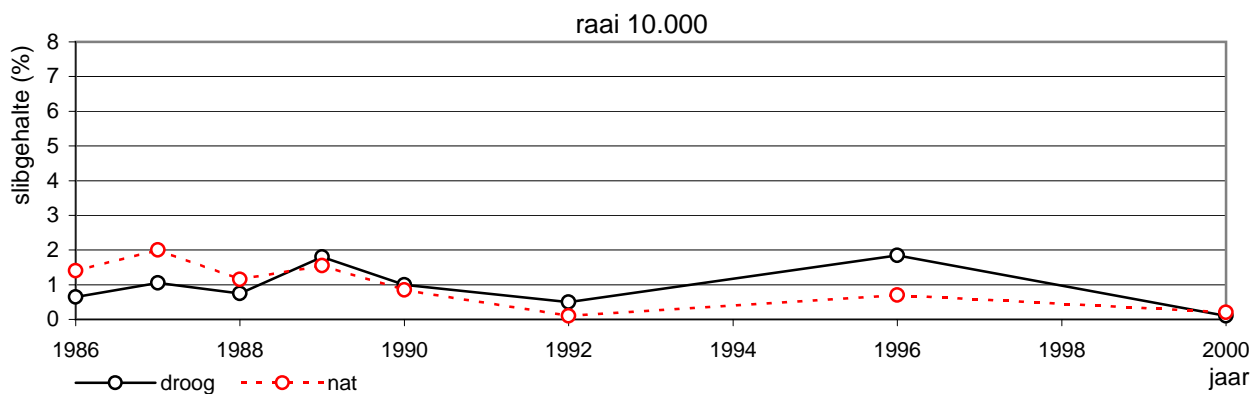
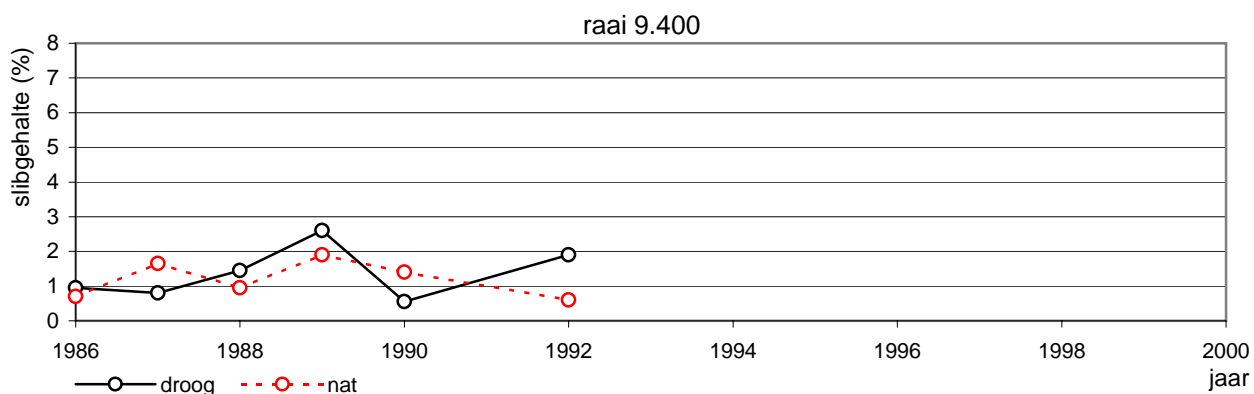
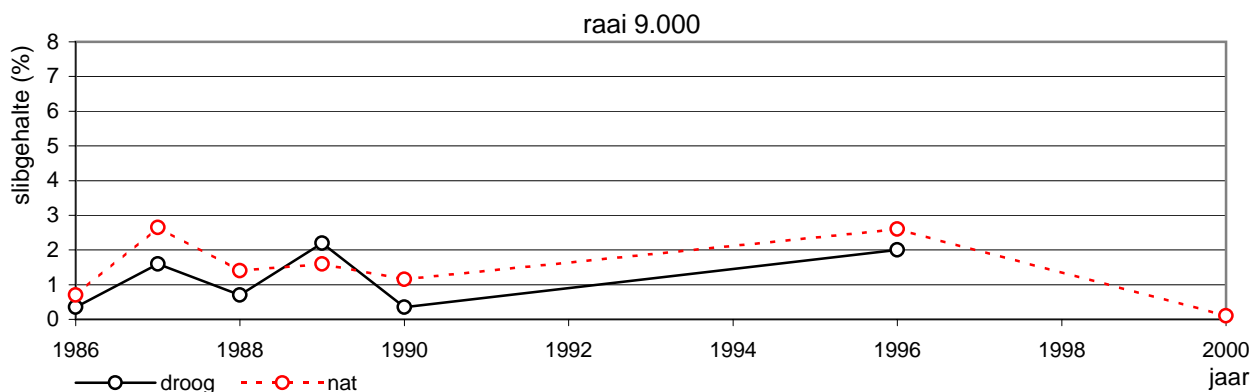
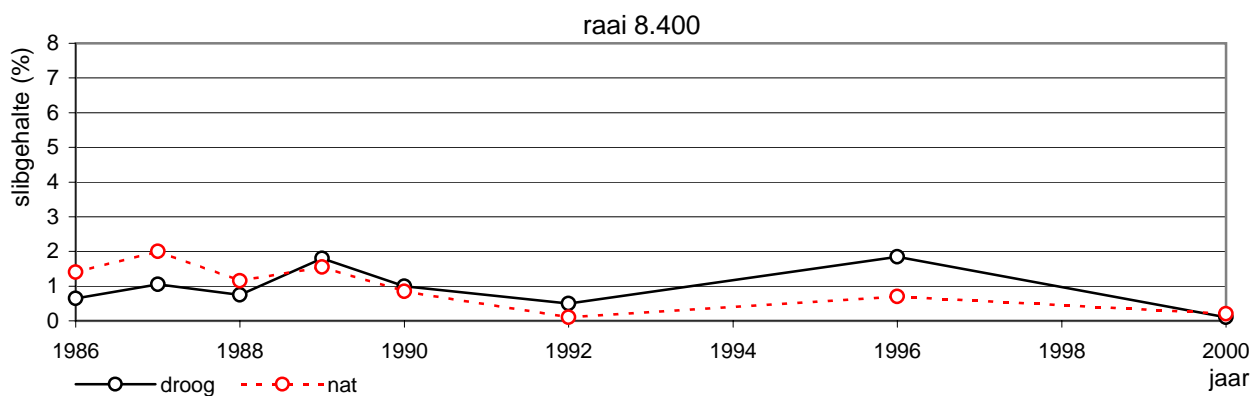
Slijbgehalte (%) voor diverse raaien
NW-kust van Voorne
raai 6.400 t/m 8.000

EVALUATIE SLUFTER

A835



Fig. 4.28



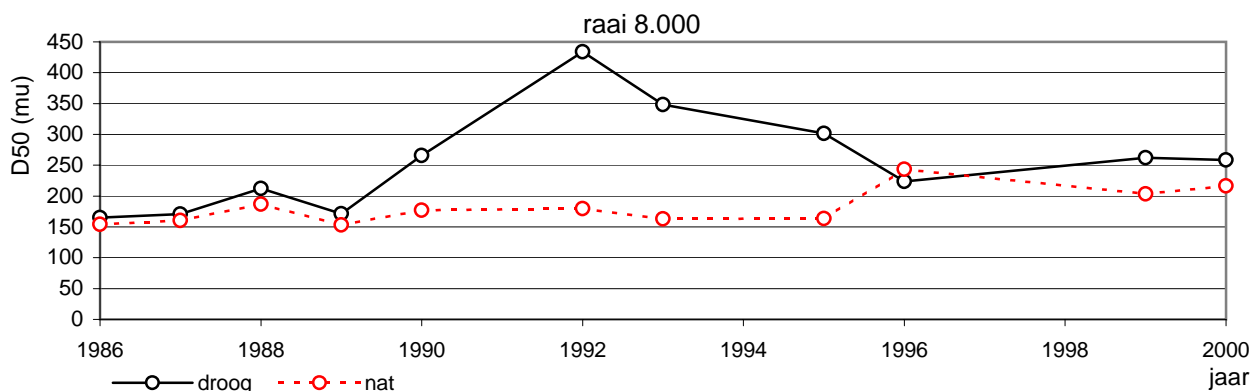
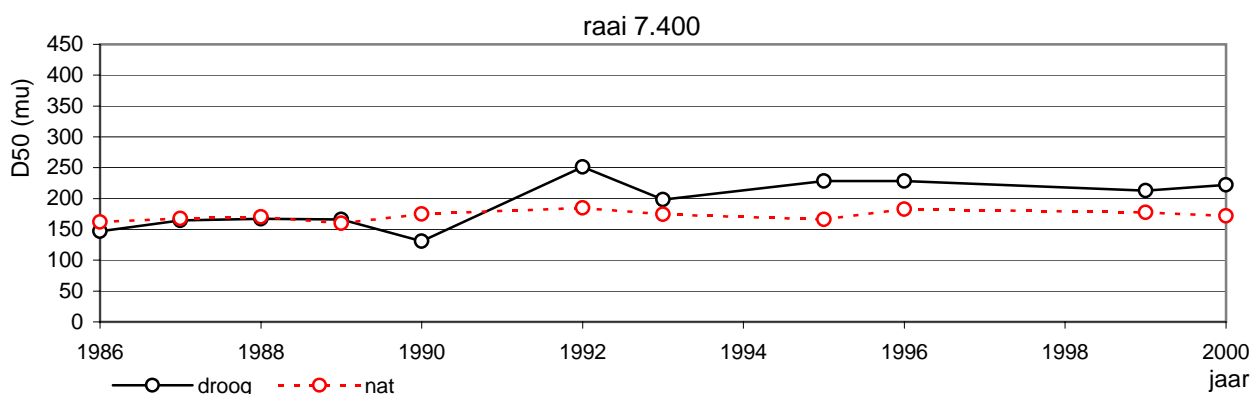
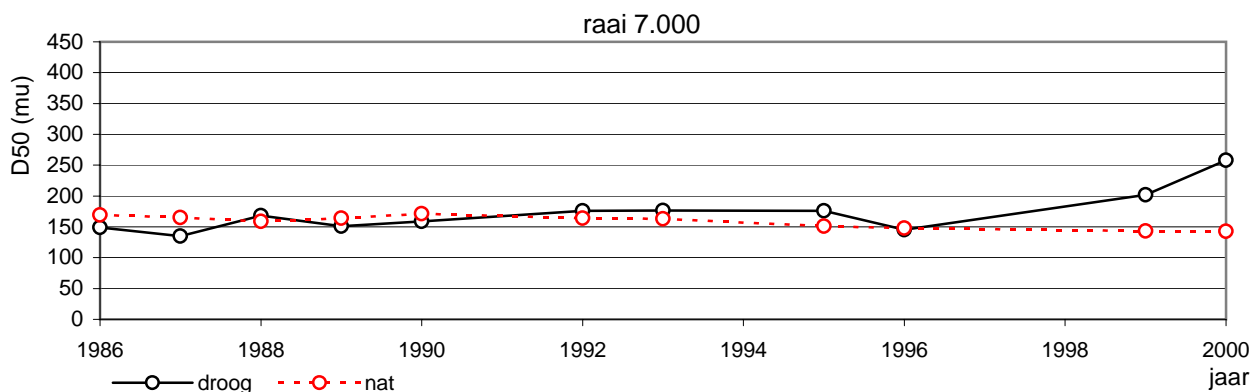
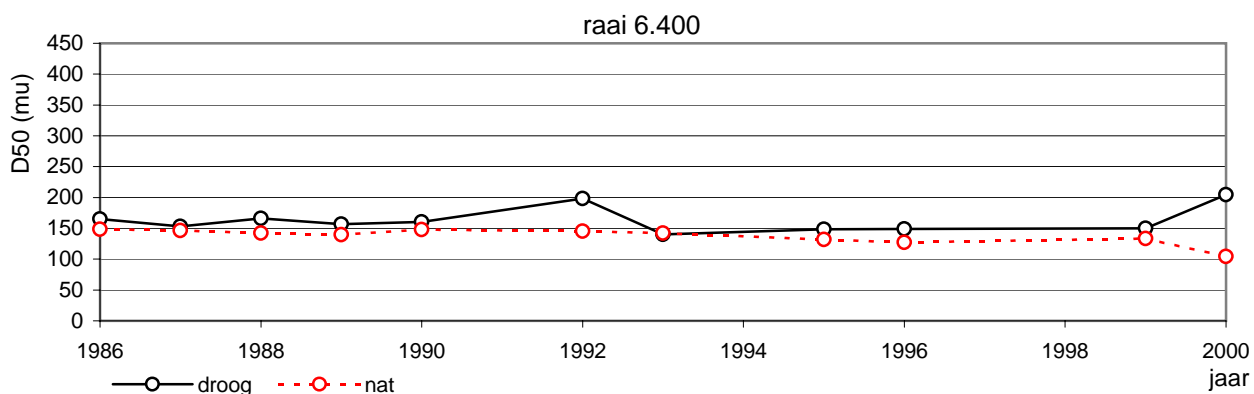
Slijbgehalte (%) voor diverse raaien
NW-kust van Voorne
raai 8.400 t/m 10.000

EVALUATIE SLUFTER

A835



Fig. 4.29



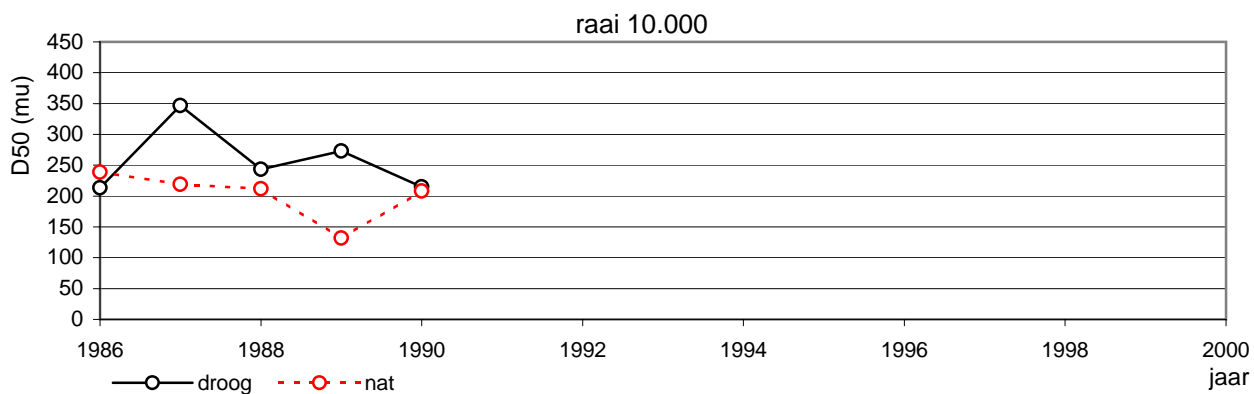
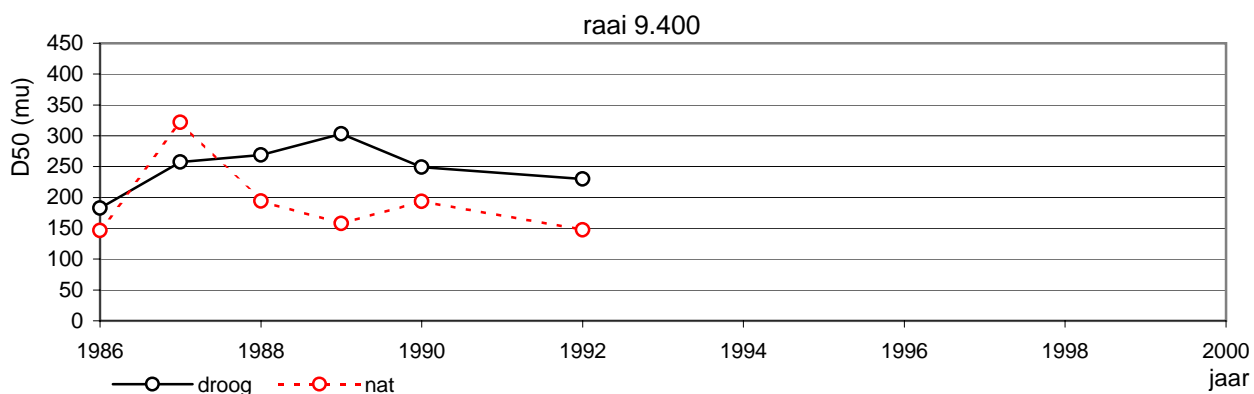
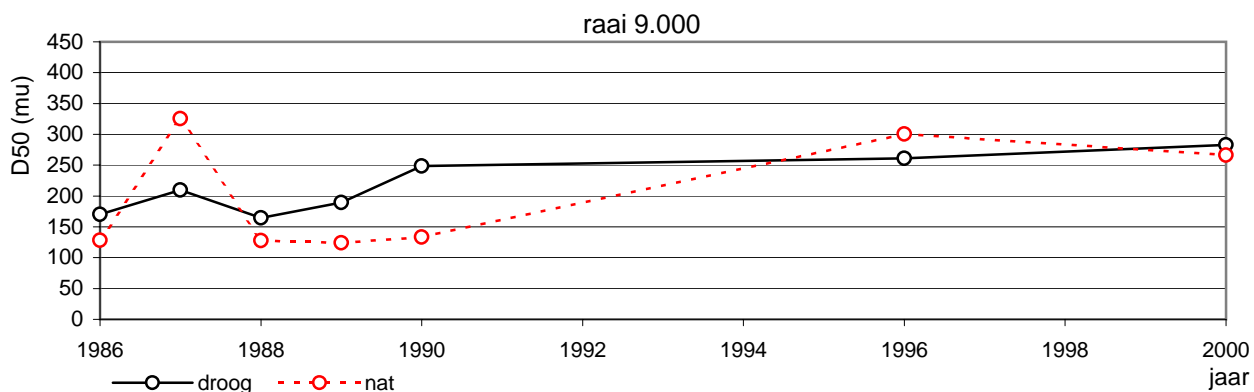
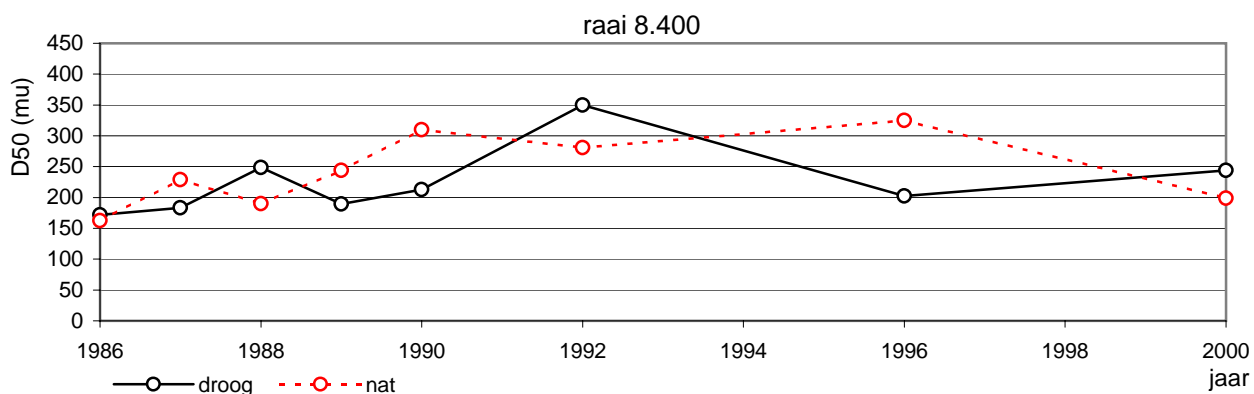
Korrelgrootteverdeling (D50) voor diverse raaien
 NW-kust van Voorne
 raai 6.400 t/m 8.000

EVALUATIE SLUFTER

A835



Fig. 4.30



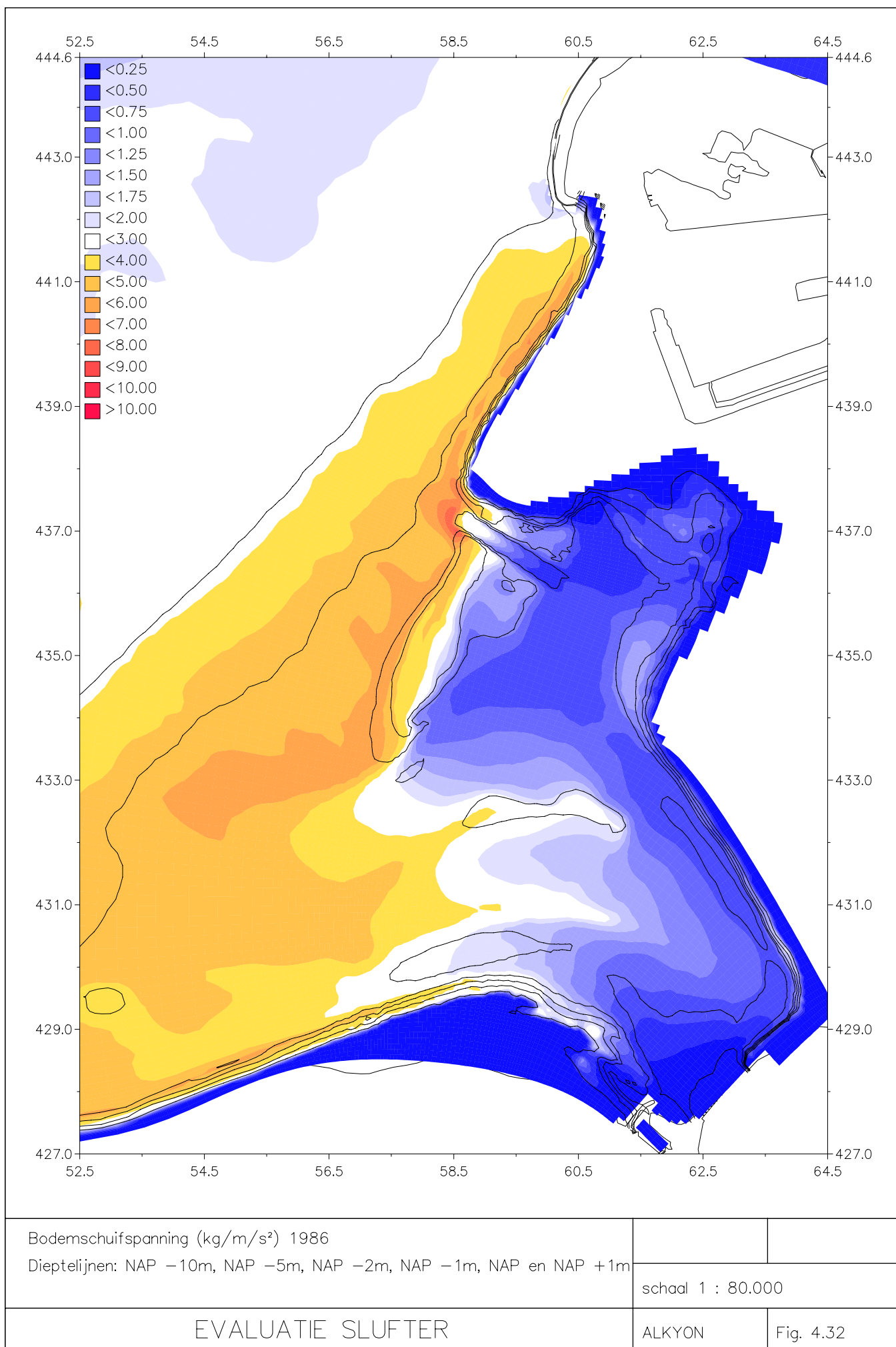
Korrelgrootteverdeling (D50) voor diverse raaien
 NW-kust van Voorne
 raai 8.400 t/m 10.000

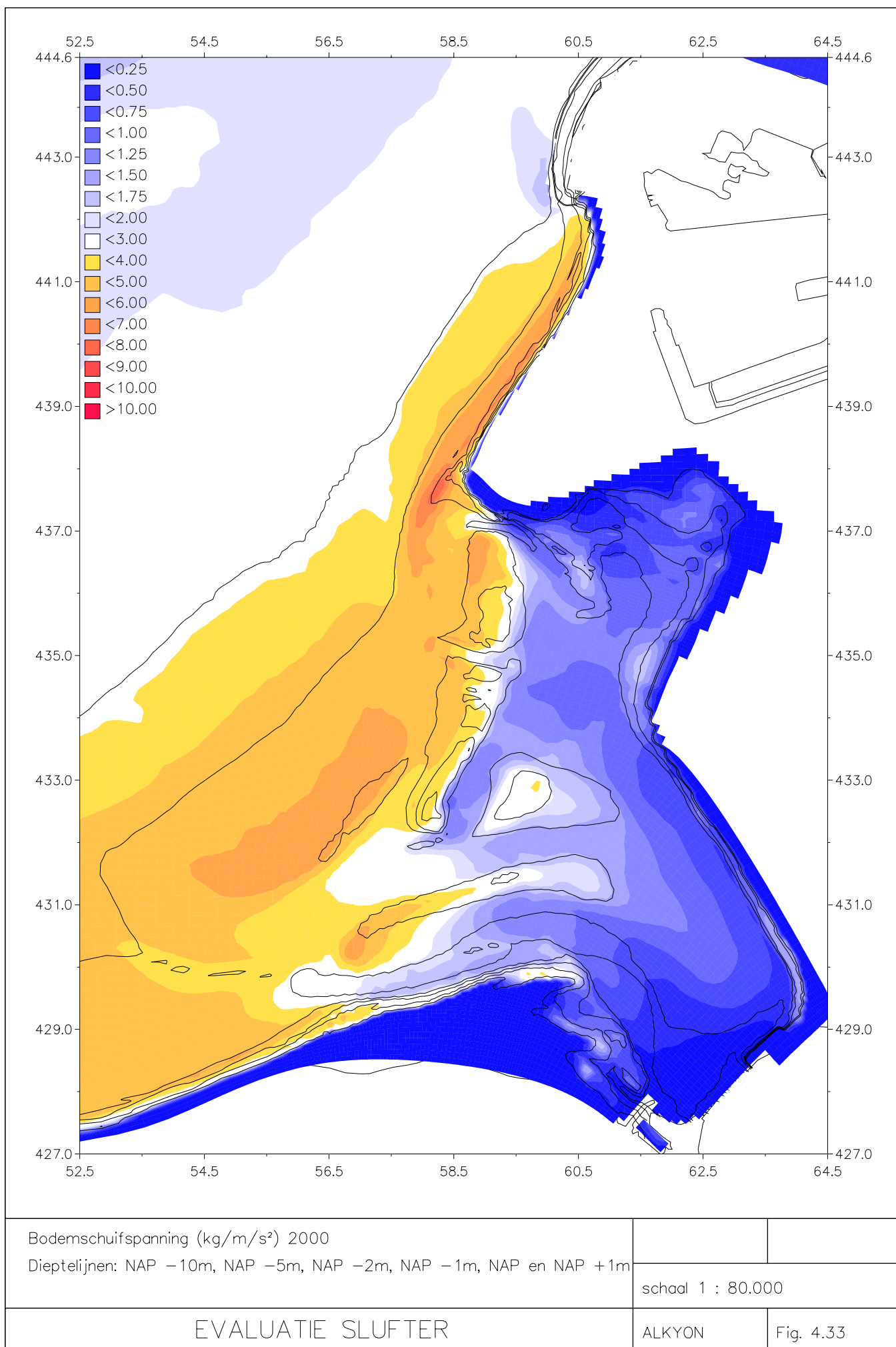
EVALUATIE SLUFTER

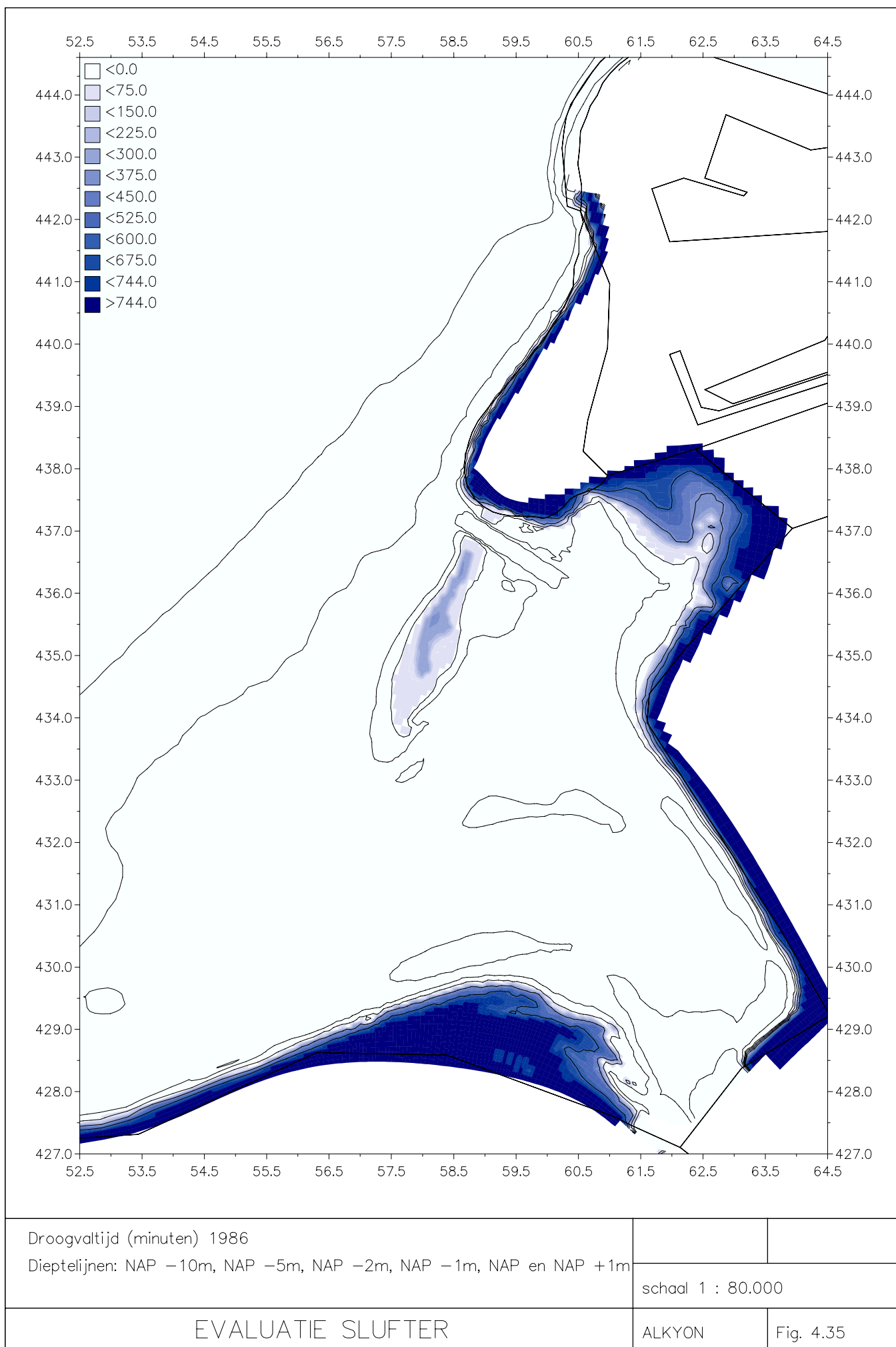
A835

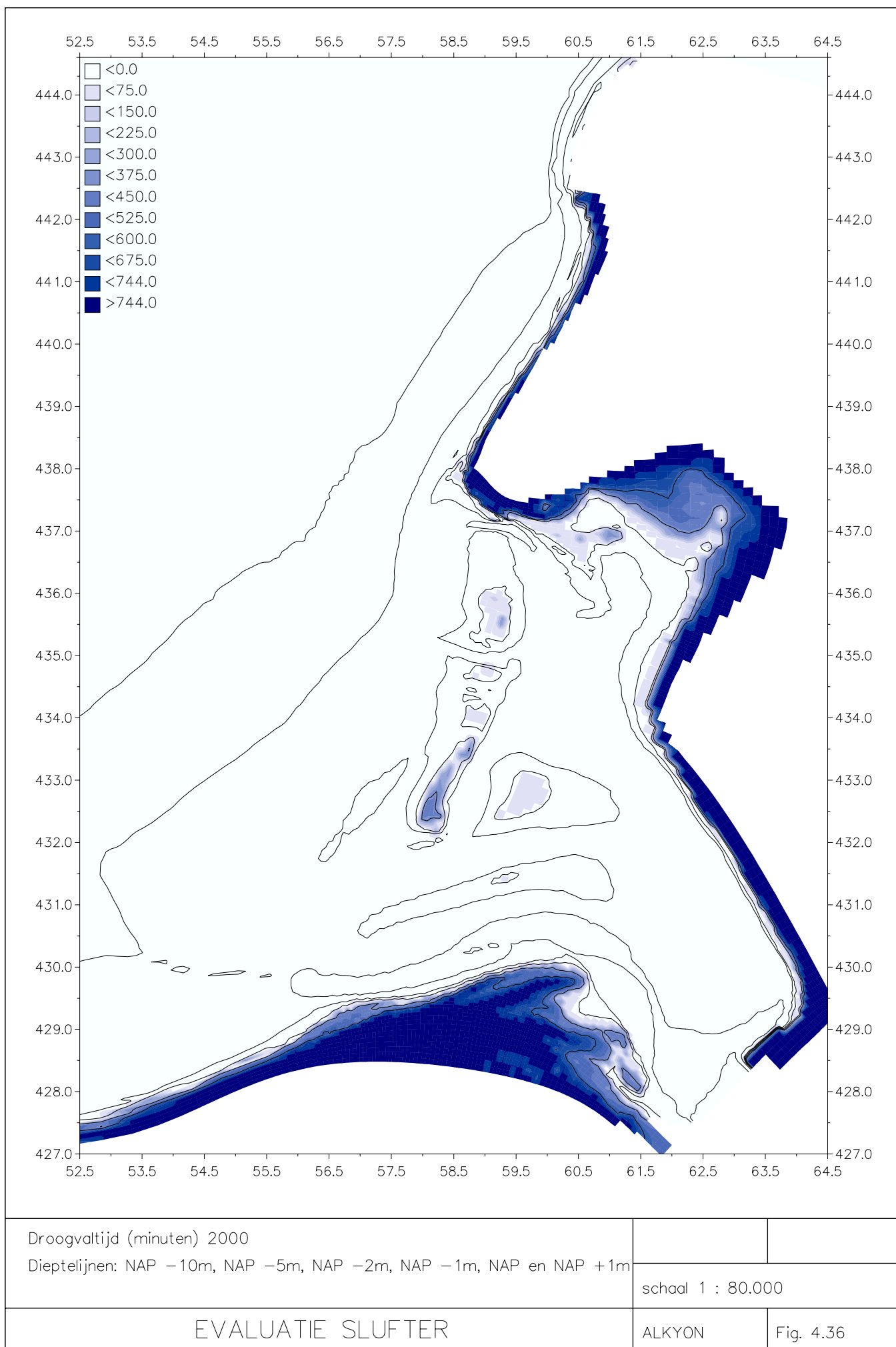


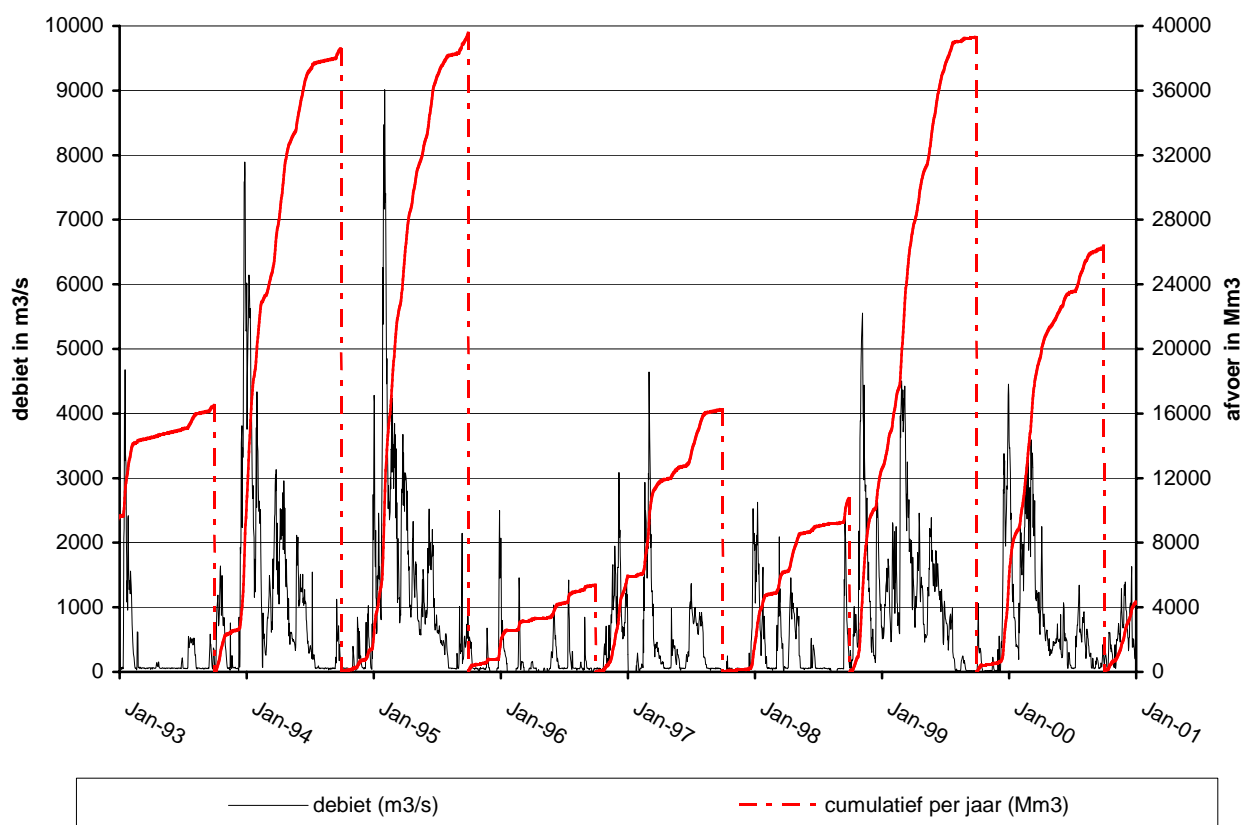
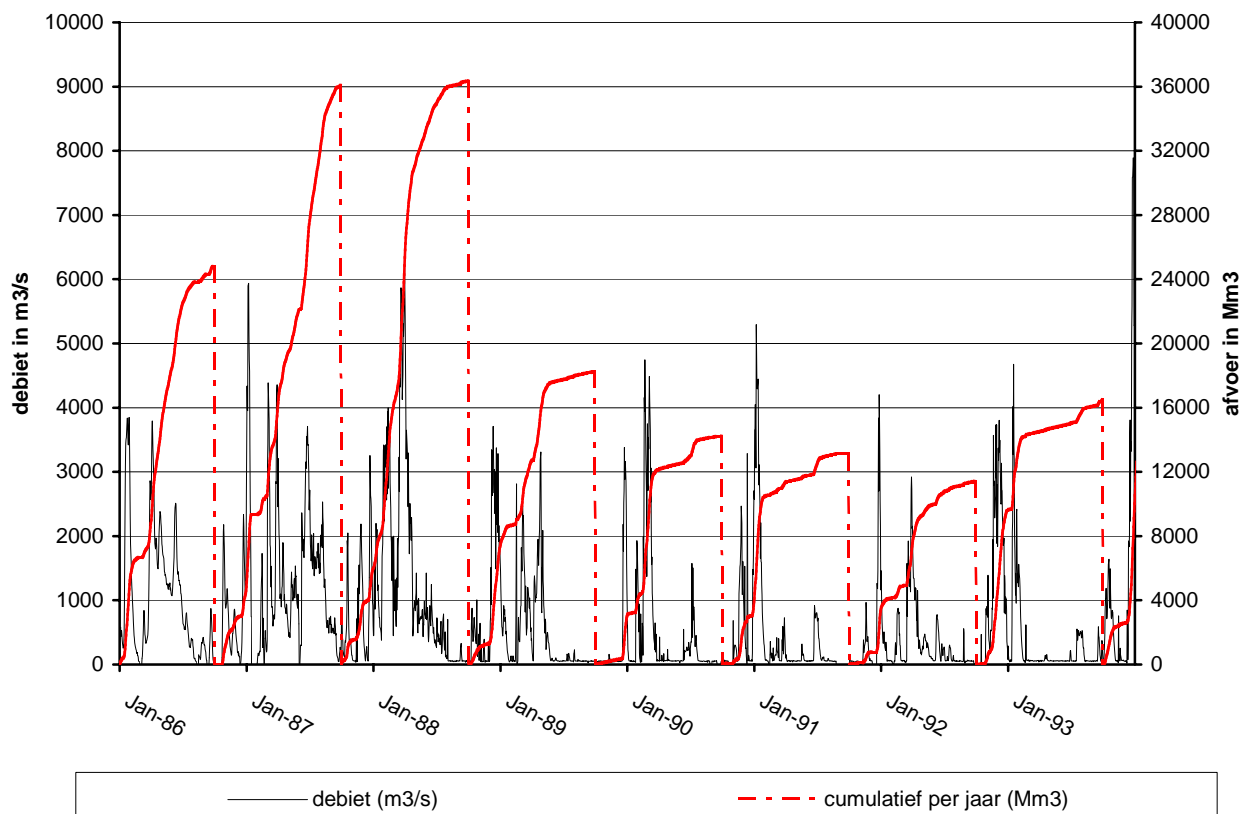
Fig. 4.31











Afvoer door Haringvlietsluizen 1986 - 2000

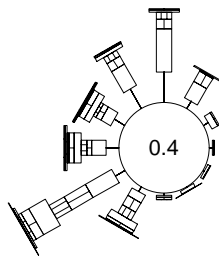
Gemiddeld per dag (m³/s) en cumulatief per jaar (Mm³, okt - sept)

EVALUATIE SLUFTER

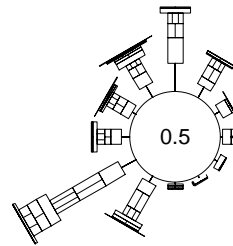
A835



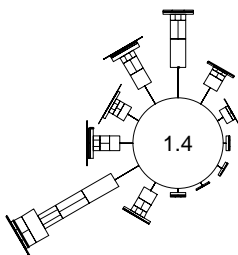
Fig. B.1



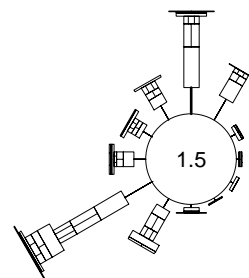
Period: 1-7-1986 - 30-6-1987



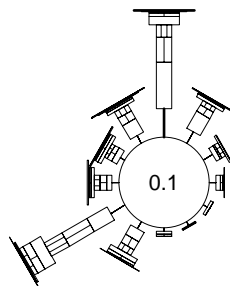
Period: 1-7-1987 - 30-6-1988



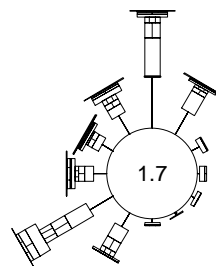
Period: 1-7-1988 - 30-6-1989



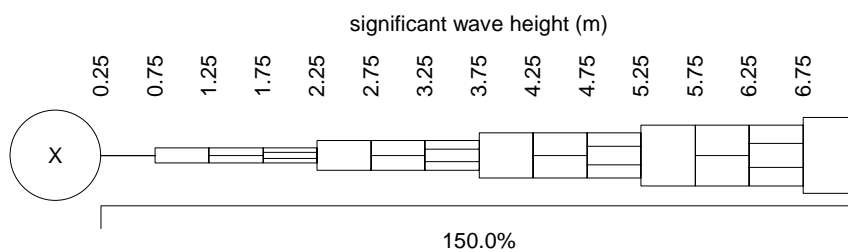
Period: 1-7-1989 - 30-6-1990



Period: 1-7-1990 - 30-6-1991



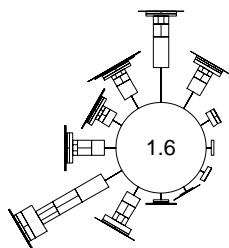
Period: 1-7-1991 - 30-6-1992



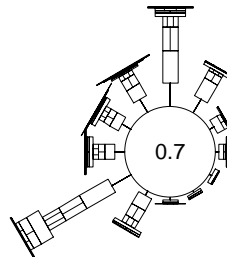
Golrozen juli 1986 t/m juni 1992

Locatie: Europlatform

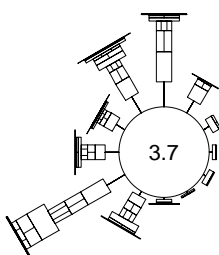
Evaluatie Slufter



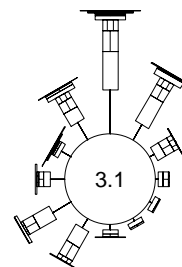
Period: 1-7-1992 - 30-6-1993



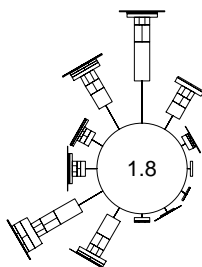
Period: 1-7-1993 - 30-6-1994



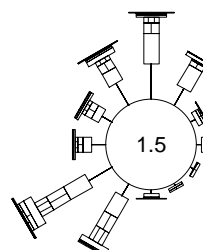
Period: 1-7-1994 - 30-6-1995



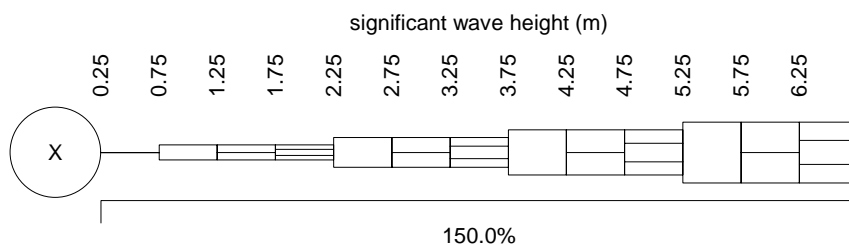
Period: 1-7-1995 - 30-6-1996



Period: 1-7-1996 - 30-6-1997



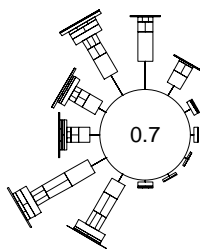
Period: 1-7-1997 - 30-6-1998



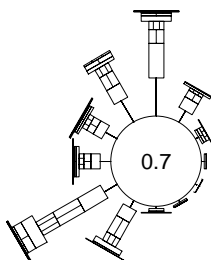
Golrozen juli 1992 t/m juni 1998

Locatie: Europlatform

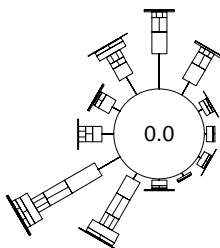
Evaluatie Slufter



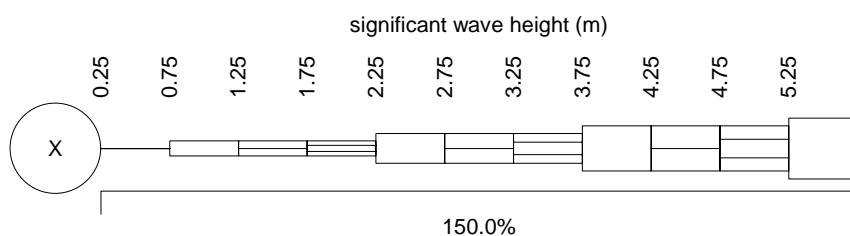
Period: 1-7-1998 - 30-6-1999



Period: 1-7-1999 - 30-6-2000



Period: 1-7-2000 - 30-6-2001



Golrozen juli 1998 t/m juni 2001

Locatie: Europlatform

Evaluatie Slufter