

rijkswaterstaat
dienst getijdewateren
bibliotheek
grenadiersweg 31 -
4338 PG middelburg

TROEBELHEIDSPATRONEN
IN DE DELTAWATEREN VAN
ZW NEDERLAND OP TM EN MSS
SATELLIETBEELDEN.

J. Stronkhorst,
Middelburg, augustus 1986.
GWWS nota.405

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD

1. INLEIDING

2. BEELDVERWERKING

2.1. Algemeen

2.2. Landmasker

2.3. Algoritmen

2.4. Resultaten

3. TROEBELHEIDSPATRONEN IN DE VOORDELTA, OOSTERSCHELDE EN WESTER-
SCHELDE

3.1. Algemeen

3.2. Voordelta

3.3. Oosterschelde

3.4. Westerschelde

4. CONCLUSIES

5. LITERATUUR

Bijlage I: Overige LANDSAT beelden uit de periode 1975-1984

Bijlage II: Kaart van het Deltagebied.

Bijlage III: Diaserie.

VOORWOORD

In het kader van de operationaliseringsactiviteiten van de voormalige werkgroep Zichtbaar Licht Open Water zijn in het verleden optische satellietbeelden van de Landsat 5 van de Noordzee en het IJsselmeer verwerkt (lit 4,7). De Deltawateren verschillen qua fysisch/chemische samenstelling duidelijk van de Noordzee en het IJsselmeer. Om de toepassingsmogelijkheden van satelliet remote sensing voor de Zeeuwse wateren te onderzoeken is een projektgroep 'Stromingsbeelden Deltagebied'opgericht. De samenstelling van de projektgroep is als volgt:

dr. J.H. van den Berg, Deltadienst, Zierikzee

ir. H.C. Peters, Directie Noordzee, Rijswijk

ir. H.T.C. van Stokkum, Meetkundige Dienst, Delft

ing. J. Stronkhorst, Dienst Getijde Wateren, Middelburg.

1. INLEIDING

Bij het waterkwaliteitsonderzoek in het Deltagebied dat door Rijkswaterstaat wordt uitgevoerd, bestaat behoefte aan synoptische beelden van ondermeer patronen in troebelheid ivm de verspreiding van gesuspendeerd materiaal en fytoplankton.

Remote sensing kan het inzicht in ruimtelijke en temporele variaties verdiepen hetgeen van belang is voor het onderzoek naar bijvoorbeeld de koolstofbalans in de Oosterschelde, de invloed van verdiepingswerken in de Westerschelde etc.

Voor waterkwaliteitsonderzoek van grote wateren komen multispectrale opnamen vanuit een satelliet in aanmerking.

De satelliet die tot 1990 het meest in aanmerking komt voor waterkwaliteitsonderzoek is de LANDSAT 5 satelliet (lit. 4); deze bevat zowel een TM (Thematic Mapper) als een MSS (Multi Spectral Scanner).

Voor deze studie zijn 4 TM en 4 MSS beelden verwerkt. De keuze van de beelden wordt in de eerste plaats bepaald-en beperkt-door de bewolgingsgraad: op slechts enkele dagen per jaar valt de overkomst van de LANDSAT 5 (om de 16 dagen) samen met een (nagenoeg) geheel wolkenloos Deltagebied. Daarnaast zijn de opnamen geselecteerd op verschillen in getijfase.

De beeldbewerking en beeldinterpretatie draagt een kwalitatief karakter aangezien grondwaarnemingen ontbreken van zowel water (referentiepunten) als atmosfeer (voor atmosferische correcties). Tevens moet worden opgemerkt dat de theorie achter de relaties tussen de waargenomen reflectie uit het water en de fysisch/chemische samenstelling van het water voor m.n. troebele kustwateren en estuarine gebieden nog zeer gebrekkig is.

De parameter waarmee in kustwater in principe redelijke resultaten te verwachten zijn is zwevende stof (lit 1). Het feit dat andere stoffen de herkenning van het zwevende stof echter kunnen

beïnvloeden is de reden dat in dit rapport gesproken wordt van troebelheid i.p.v. zwevende stof; troebelheid kan fysisch gedefinieerd worden als de reciproke van de doorzicht (secchi-diepte). In kustwater is deze parameter sterk gecorreleerd met het zwevende stofgehalte.

2. BEELDVERWERKING

2.1. Algemeen

De beelden zijn verwerkt op het remote sensing dataverwerkings-systeem (RESEDA) bij het Nationaal Laboratorium voor de Ruimtevaart (NLR).

Enkele karakteristieken van de Landsat TM en MSS zijn te vinden in tabel 1.

In tabel 2 zijn de basisgegevens van de geselecteerde opnamen vermeld.

De spectrale banden in het zichtbare venster, ongeveer tussen 400-700 nm, bevat informatie over de optisch actieve stoffen in het water. De belangrijkste stoffen zijn: fotosynthetische pigmenten (chlorofyl, feofytine), yellow substance en zwevende stof. In tegenstelling tot bijvoorbeeld oceanen waar de fotosynthetische pigmenten als optisch actieve stof domineren komen in kustwateren en estuaria voorgenoemde stoffen vaak in hoge concentraties gecombineerd voor. Dit leidt tot problemen bij de herkenning van de afzonderlijke stoffen, temeer daar de banden van de LANDSAT-sensoren spectraal gezien nogal breed zijn.

De pixelwaarden (d.i. de radiantiewaarden in een pixel (= beeld-element)) van de banden kan in grijsnivo's worden verdeeld (zoals klassen in een histogram) tot een maximum van 256 nivo's. Uit een eerste inspectie blijkt reeds dat de dynamiek in het signaal van de wateroppervlakten in vele gevallen beperkt is tot 15-30 nivo's. Hieruit blijkt dat radiometrische bereik van de sensoren is afgestemd op het land en niet op wateroppervlakten. Deze beperkte dynamische range kan wel (rekenkundig) worden uitgerekt tot het genoemde maximum van 256 nivo's (het zg. toepassen van een stretch).

Tabel 1. Enkele karakteristieken van de TM en MSS in de LANDSAT 5.

Overkomsttijd LANDSAT 5 : 11.12 M.E.T.

TM	MSS
resolutie: 30 m.	resolutie: 80 m.
band 1: 450-520 nm.	band 1: 500-600 nm.
band 2: 520-600 nm.	band 2: 600-700 nm.
band 3: 630-690 nm.	band 3: 700-800 nm.
band 4: 760-900 nm.	band 4: 800-1100 nm.
band 5: 1550-1750 nm.	
band 6: 10400-12500 nm.	

Tabel 2. Basisgegevens van de geselecteerde satellietopnamen.

beelnr.	type	datum	getijfase		
			X=t.o.v. Zierikzee,	+t.o.v. Vlissingen	
			Laagwater	Hoogwater	Laagwater
1	TM	30-04-84	X+		
2	TM	10-06-84		X+	
3	TM	26-06-84	X+		
4	MSS	13-10-83			X+
5	MSS	22-10-83		X+	
6	MSS	14-11-83		X+	
7	MSS	18-02-84	X+		
8	TM	04-11-85			X+

Bij een eerste inspectie van de afzonderlijke banden van zowel de TM als de MSS beelden valt verder op dat:

- het wateroppervlak in band 1 sterk versluierd is door atmosferische invloeden
- de banden 1,2 en 3 gecorreleerd zijn
- de banden 4 en 5 nagenoeg geen signaal uit het water bevatten.

2.2. Landmasker

De eerste stap bij de beeldverwerking is het creëren van een masker dat het land, bewolking en droogliggende platen afdekt zodat:

- de wateroppervlakten eenvoudiger te bestuderen zijn,
- de keuze van de stretch bij de beeldbewerking uitsluitend plaats kan vinden op basis van de ongestoorde pixels van het wateroppervlak.

De banden 4 en 5 vertonen grote verschillen in pixelwaarden tussen land (zeer hoge waarden) en water (lage waarden). Na een uitgebreide inspectie bleek dat voor MSS band 4 en voor TM band 5 het meest geschikt is voor het maken van een masker. Opvallend was overigens dat voor de TM beelden in alle gevallen een gemiddelde pixelwaarde van 12 de grens vormt tussen land en water.

Een probleem dat zich bij het maken van slechts één enkel landmasker voor het gehele Deltagebied voordoet is de grote variatie in de pixelwaarden voor de diverse wateren in de MSS band 4 en TM band 5 t.g.v. de variaties in o.a. troebelheid in de diverse wateren. Zo is er bij voorgenoemde grenspixelwaarde van 12 aan de randen van het Grevelingenmeer, door het heldere water, nog een deel van de onderwaterbodem te zien, terwijl in de Westerschelde diverse pixels die in het midden van een geul liggen gemaskeerd worden t.g.v. de zeer hoge zwevende stof gehalten. Dit probleem zal voor een deel verholpen kunnen worden wanneer per bekken een masker wordt bepaald. Toch blijft voor heldere wateren de vraag bestaan of de onderwaterbodem niet van invloed is op het signaal in MSS band 2 en TM band 3.

2.3. Algoritmen

TM:

Bij het onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van TM voor de Noordzee is een regressieanalyse uitgevoerd op het TM beeld van 20 augustus 1984 met waarnemingen van enkele waterkwaliteitsparameters van de Noordzee, Westerschelde en Veerse Meer (lit. 4). Voor het zwevende stofgehalte c (mg/l) is de volgende vergelijking opgesteld:

$$c = 87 - 2.9 B1 + 1.3 B2 + 6.7 B3 - 2.9 B4 \quad (\text{range } 1-42 \text{ mg/l}) \quad (1)$$

(B1 = band 1 etc.)

De vergelijking wordt in sterke mate bepaald door de hoge gehalten die in de Westerschelde gevonden zijn.

Wanneer de waarnemingen uit de Westerschelde buiten beschouwing worden gelaten geldt als beste fit:

$$c = 0,141 + 0,048 B1 - 0,253 B2 + 0,486 B3 \quad (\text{range } 1-5 \text{ mg/l}) \quad (2)$$

MSS:

Uit het MSS operationaliseringsonderzoek Noordzee (lit. 1) zijn eveneens algoritmen voor een lage en een hoge zwevende stof range gevonden. Wanneer de kanalen van de vliegtuig MSS (Eurosense) vertaald wordt naar LANDSAT MSS dan gelden:

$$c = 1,6 - 3.2 B1 + 12.5 B2 - 8.2 B3 \quad (\text{range } 5-62 \text{ mg/l}) \quad (3)$$

$$c = -14,4 + 2.9 B1 - 6.6 B2 + 5.4 B3 \quad (\text{range } 1-9 \text{ mg/l}) \quad (4)$$

In onderhavige studie zijn de algoritmen getest op hun bruikbaarheid. Hiervoor zijn in de Oosterschelde en Westerschelde deelgebieden gekozen waarvoor een beeld is gemaakt op grond van de algoritmen ;de algoritmen (1) en (3) zijn toegepast op de troebele Westerschelde, de algoritmen (2) en (4) op de relatief heldere Oosterschelde. De resultaten zijn visueel vergeleken met:

- de afzonderlijke kanalen 1,2 en 3; van de afzonderlijke en gemaskeerde banden zijn histogrammen van de pixelwaarden gemaakt op basis waarvan een zo optimaal mogelijke stretch (verdeling van de pixelwaarden over de grijsnivo's van wit tot zwart) is gekozen.
- een kleurenkomposiet die is samengesteld uit een samenstelling van de banden 1 (blauw), 2 (groen) en 3 (rood) waarbij eveneens voor elke band de optimale stretch voor het wateroppervlak is toegepast.

2.4. Resultaten

Op de beelden die verkregen zijn o.b.v. de algoritmen blijkt geen enkel patroon herkenbaar te zijn. Het nadeel van de algoritmen uit paragraaf 2.3. is dat , mede gezien het feit dat de banden sterk (positief) aan elkaar gecorreleerd zijn, de ruis op de banden gesommeerd wordt zodat een volledig 'grijs' beeld verkregen wordt zonder enige structuur.

Betere resultaten worden verkregen door land-gemaskeerde band 3 van de TM en land-gemaskeerde band 2 van de MSS een zo optimaal mogelijke stretch toe te passen.

In deze banden vindt minder atmosferische storing dan in de kortgolvrige banden en een relatief hoge reflectie door de relatief hoge concentraties zwevende stof in het kustwater.

De herkenning van de patronen op de beelden verkregen m.b.v. de kleurenkomposieten is vergelijkbaar met de afzonderlijke TM band ³ of MSS band 2.

Voor de definitieve presentatie (optronics) is gekozen voor de kleurenkomposieten. Dia's van alle bewerkte beelden zijn de aldus verkregen resultaten zijn in bijlage III te vinden (dia 1 t/m 8). Opgemerkt moet worden dat de LANDSAT sensoren duidelijk voor land toepassingen bedoeld zijn en dat de signalen van het wateroppervlak een zeer geringe dynamiek vertonen.

3. TROEBELHEIDSPATRONEN IN DE VOORDELTA, OOSTERSCHELDE EN WESTERSCHELDE.

3.1. Algemeen.

De radiantie die de sensor in de satelliet wordt ontvangen is afkomstig van het bovenste deel van de waterkolom. De laagdikte z die van invloed is op het signaal is afhankelijk van spectrale signatuur van het water (lit 2). Zo zijn bijv. de estuaria Oosterschelde en Westerschelde vergelijkbaar met Jerlov's optische watertype 9, het grevelingenmeer met type 5 (lit 3).

Voor deze watertypen zal bijvoorbeeld TM band 3 (630-690 nm) informatie geven over ongeveer de bovenste meter (watertype 9) of de bovenste twee meter (watertype 5).

Een globale indikatie van de laagdikte kan ook worden verkregen op basis van de downwelling irradiance attenuation coëfficiënt K_d (1/m) (lit 2) nl: $z = 1 / K_d$. In de Westerschelde varieert K_d tussen ongeveer 1-4 1/m, dat wil zeggen z ligt tussen 0.25 en 1.0 meter. Dit aspect kan een beperking zijn bij de toepassing in bijv. transportonderzoek van gesuspenseerd materiaal, gezien de aanwezige variaties over de vertikaal.

Behalve de kleurenkomposieten van de 8 satellietbeelden die voor deze studie zijn verwerkt, zijn er nog een aantal opnamen van het Deltagebied beschikbaar waarvan gebruik is gemaakt bij de bestudering van de troebelheidspatronen; een overzicht van deze beelden is te vinden in bijlage I. Bij de bespreking in de volgende paragrafen worden de opnamen met een nummer aangeduid die in de eerste kolom van tabel 2 en bijlage I is te vinden. De opnamen 13, 17 en 18 zijn van slechte kwaliteit en zijn daarom buiten beschouwing gelaten.

De satellietbeelden van het Deltagebied vertonen grote variaties in troebelheid. Een lichte kleur op de foto's is het gevolg van veel reflectie door een relatief hoge concentratie gesuspenseerd materiaal, een donkere kleur moet geïnterpreteerd worden als water met een lage concentratie aan gesuspenseerd materiaal.

In het oog springende patronen zijn de relatief heldere Noordzee met de zeer troebele Voordelta, de troebele Westerschelde en de heldere Oosterschelde met in beide bekkens vele detailleringen en de heldere en homogene bekkens Grevelingen en Veerse Meer. Het aantal beschikbare beelden is volstrekt onvoldoende om variaties in de tijd (getij, seizoen) of meteorologische condities (wind) vast te kunnen leggen. Dit houdt in dat de gepresenteerde kaarten met daarop een samenvatting van de troebelheidspatronen op de satellietbeelden een sterk gesimplificeerd beeld geeft van de werkelijkheid.

Voor de geografische benamingen en de ligging van de belangrijkste platen en geulen wordt verwezen naar bijlage II.

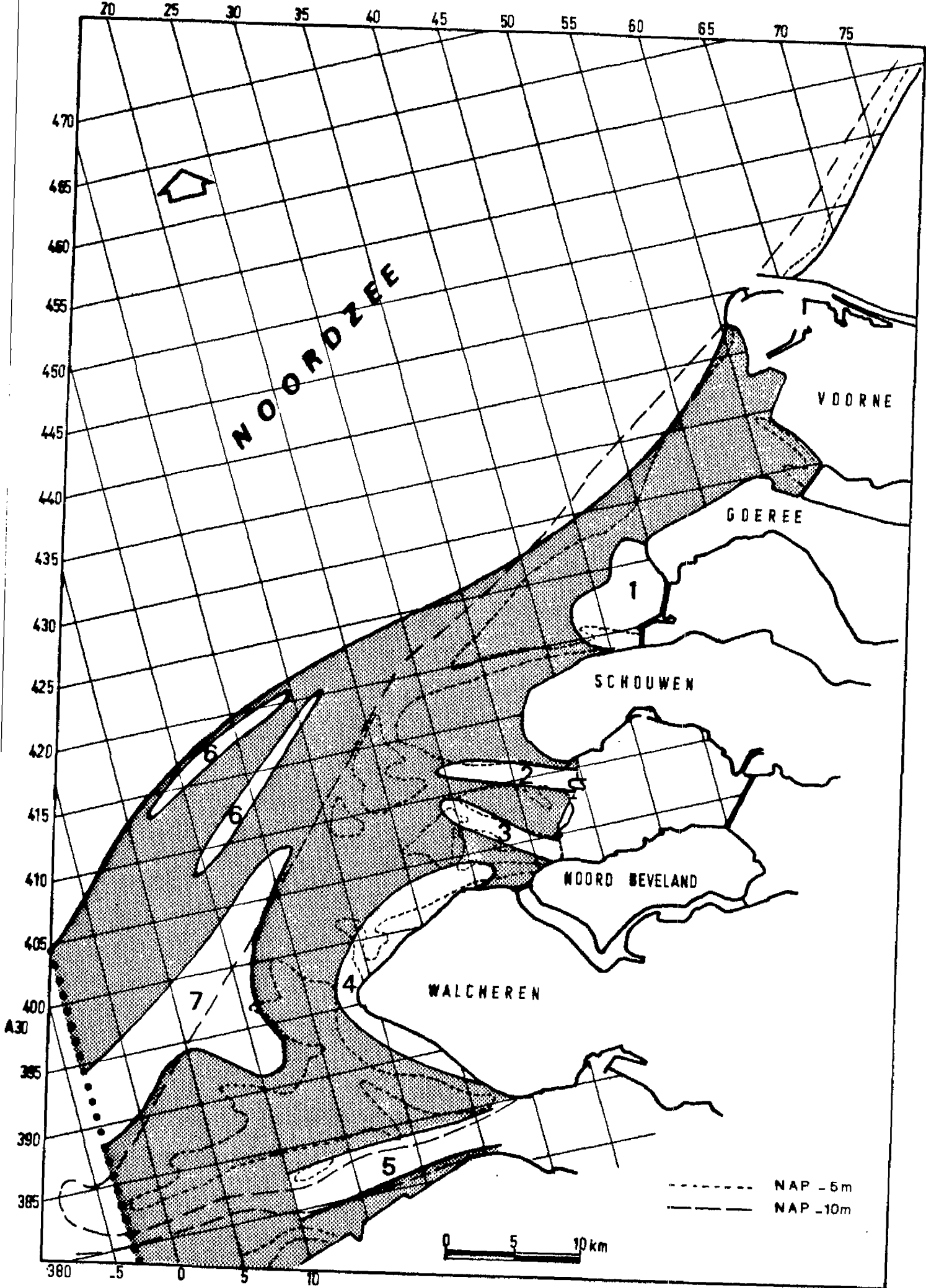
3.2. Voordelta

Van de Voordelta zijn 16 beelden beschikbaar. Het algemene beeld dat de opnamen opleveren is, sterk gegeneraliseerd, weergegeven op kaart 1. De opname van 13-10-83 is eveneens een goed 'gemiddeld' beeld. Op macro-schaal is herkenbaar:

- een troebele kustzone die in noordwaartse richting smaller wordt en waar in het bijzonder opvalt:
- de hoge troebelheid voor de Westerschelde-monding door erosie van pleistoceen materiaal tussen de Vlaamse Banken (voor het zuidelijke deel van de Belgische kust) en door turbulentie boven de ondiepte Vlake van de Raan.

Voorts zijn de volgende deelgebieden te onderscheiden:

1. voor de Brouwersdam: in het vroegere mondinggebied van het Grevelingen zijn de stroomsnelheden niet hoog zodat sedimentatie plaats vindt waardoor het water relatief helder is. Dit is op alle beelden te zien, m.u.v. opname 10. en noorden van dit gebied is op de opnamen 3,5,6,19 en 20 een wervel vorm te zien die het gevolg is van een turbulente stroming tussen de kust van Goeree en de direct daarvoor in ontwikkeling zijnde zandplaten.
2. Westgat: in het mondingsgebied van de Oosterschelde is het relatief diepe Westgat helder in vergelijking met haar omgeving (met uitzondering van opname 10, 12 en 20).



Kaart 1 Troebelheidspatronen op Landsatbeelden van de Voordelta

3. Roompot: Het oppervlaktewater van de Oude Roompot is eveneens helderder dan haar ondiepe omgeving.
4. Kust van Walcheren: Niet op alle beelden is de heldere strook zichtbaar. De NW-zijde vertoont verhoogde troebelheid op de opnamen 19,20 en 21, de ZW-zijde op de opnamen 4,14 en 15.
5. Wielingen: op 11 van de 16 beelden van de Voordelta is deze geul helder (niet op opname 4,6,11,14,20). Uit zeewaarnemingen is bekend dat hier grote variaties in de tijd (seizoen, getij) op treden. Een goed voorbeeld van de ruimtelijke variatie die in gebied bestaat is te zien op dia 9.
6. Schooneveld/Deurloo: door de grotere diepte ter plaatse is de troebelheid lager. Opvallend is de overeenkomst van het heldere deelgebied boven de NW zijde van de Vlake van de Raan met de diepere ligging van de bodem ter plaatse.
7. Zeeuwse Banken (Steenbanken enz): de heldere stroken die tussen de banken te zien zijn (m.u.v. opname 11,12,20) zijn qua ligging en grootte nogal variabel. Ze zijn ook herkenbaar op het CZCS beeld van 25 september 1983 (lit 1). Tenslotte is nog te noemen het gebied tussen de Haringvlietsluizen en de Hinderplaat. Op de beelden wordt hier afwisselend hoge en lage troebelheid waargenomen. Op 23 januari 1983 (dia 23) is duidelijk het spuien van zoet water via de Haringvlietsluizen op de Noordzee zichtbaar. De kleur van dit zoete water dat als een laag op het zoute water van de Noordzee ligt is vergelijkbaar met die in het Haringvliet en wordt mogelijk sterk beïnvloedt door de relatief hoge concentratie yellow substance in het water uit het Haringvliet.

Samengevat: de opnamen leveren een vrij consistent beeld op, waarbij in een aantal gevallen de grote overeenkomst met de dieptelijnen opvalt. Dit laatste kan in verband worden gebracht met de opwerveling/ erosie processen boven de ondiepe gebieden o.i.v. getijdestroming en wind en de sedimentatie in het bovenste deel van de waterkolom in de geulen.

3.3. Oosterschelde.

De dynamiek in de troebelheidspatronen op de satellietbeelden van de Oosterschelde is geringer dan die van de Voordelta en Westerschelde. De MSS opnamen bevatten voor het wateroppervlak nagenoeg geen informatie, met uitzondering van opnamen 4 en 5, of de beelden (de false colours uit de bijlage 1) zijn onvoldoende geoptimaliseerd voor de Oosterschelde.

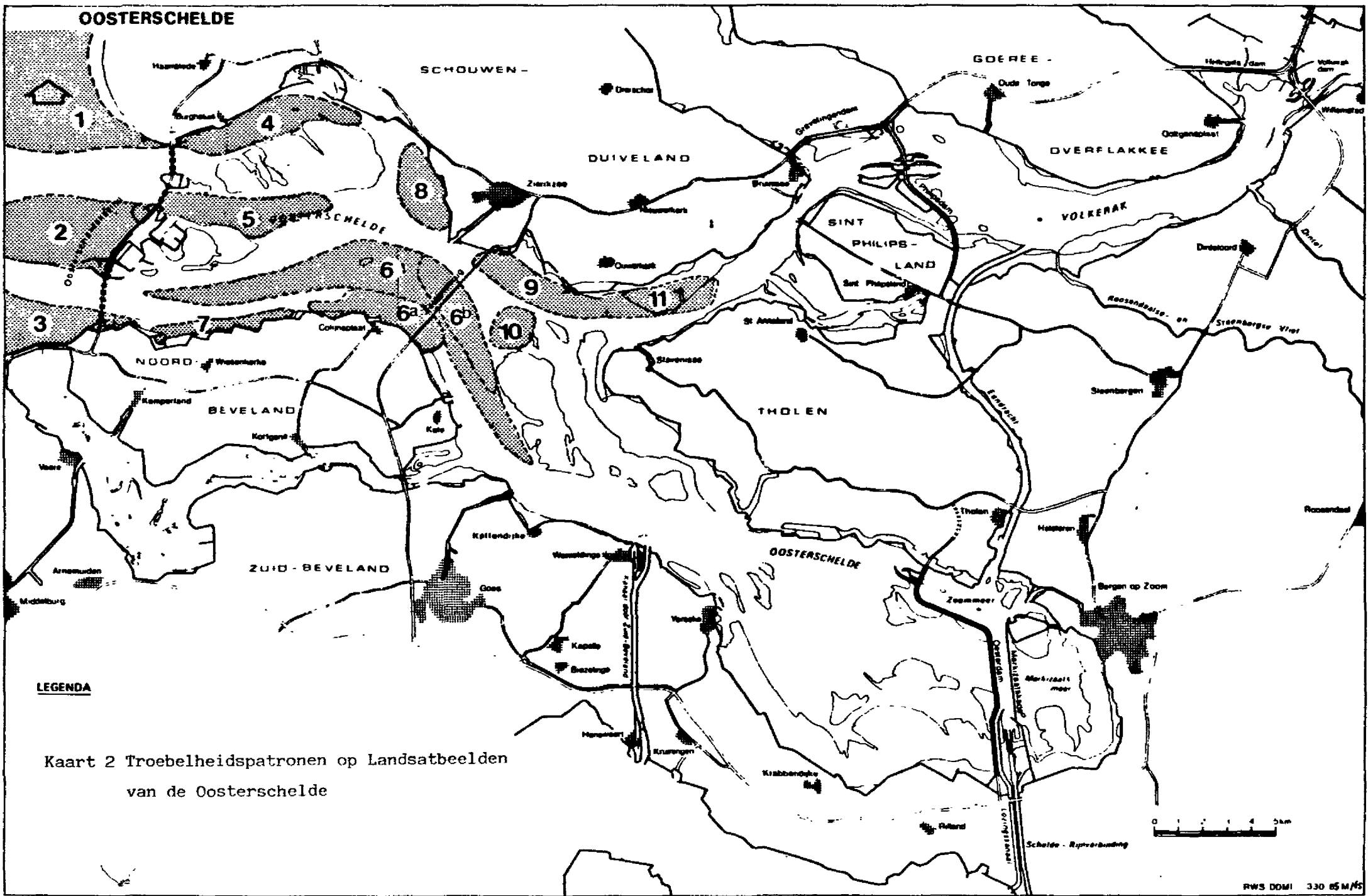
Voor de Oosterschelde zijn de 4 TM beelden wel geschikt door hun hogere resolutie.

De troebelheidspatronen zijn m.n. waarneembaar in het mondingsgebied en het middengebied. Ten oosten van de Galgeplaat (Keeten/Volkerak en Kom) zijn de patronen diffuser. Een probleem in dit relatief ondiepe deel is de mogelijke reflectie van de onderwaterbodem (bodem van mosselpercelen, slikken en platen) dat geïnterpreteerd zou kunnen worden als troebelheid van het water; veldwaarnemingen ontbreken echter om hier uitsluitel over te geven. Uit foto's van het westelijk deel van de Oosterschelde die vanuit een vliegtuig zijn genomen (lit 5) en uit troebelheidsmetingen in dit gebied blijkt over het algemeen dat:

- een vloodschaar troebeler is in de vloedfase, een ebschaar troebeler tijdens eb,
- ondiepe gebieden troebeler zijn en dat langs de oevers troebelheidscirculaties aanwezig zijn gedurende bepaalde fase van het getij.

Eén van de zeer weinige beelden die enige patronen in het oostelijk van de Oosterschelde laat zien is TM 4-11-85 (dia 8). Op deze opname tijdens eb is het verschil tussen de troebele ebschaar (noordelijke geul boven Wemeldinge) en de heldere (zuidelijke) vloodschaar zichtbaar.

Details van het midden- en mondingsgebied zijn gemaakt van de TM beelden van 30-4-84, 20-8-84 en 4-11-85: zie dia's 10 t/m 15. Het gemiddelde beeld dat alle beschikbare opnamen oplevert is, sterk gegeneraliseerd, weergegeven in kaart 2. In enkele gevallen is onderscheid te maken in de vloedfase en de ebfase. De volgende deelgebieden zijn te onderscheiden:



1. Kust voor Schouwen (Banjaard). Dit troebele gebied onderscheid zich van de heldere geul Westgat maar recentelijk lijkt dit niet meer te gelden voor de ebfase. Op opname 12 van november 1985 is namenlijk de invloed van de onderdorpels in de stormvloedkering duidelijk te zien; tijdens eb zorgen de dorpels voor verhoogde turbulentie aan de zeezijde van de kering.
2. Noordland. Door opwerveling van deze ondiepte, is het water relatief troebel.
3. Schaar van de Onrust. Een interessant detail in dit gebied is zijn de zandplaten de Hompels ten NW van de Veerse Gatdam. Tijdens vloed (zie dia 10; TM 30-4-84) is een zelfde patroon waarneembaar zoals dat vanuit het vliegtuig is gefotografeerd op 2-9-82 (lit 6) tijdens vloed (doodtij); zie dia 16. In deze omgeving ontmoet de vloedstroom vanaf de Walcherse kust de vloedstroom uit het westen (de geul Oude Roompot) zodat verwacht wordt dat hierdoor verhoogde troebelheid ontstaat. Vreemd genoeg laat de opname van 20-8-84 in de ebfase een nagenoeg identiek beeld zien (dia 17).
4. Hammen. Het aantal opnamen en ook de resolutie van de TM is onvoldoende om hier een detaillering in eb en vloed te kunnen geven.
5. Schaar. Deze geul heeft tijdens vloed een wat hogere troebelheid. Wellicht speelt hier de vrij grote aanvoer van relatief troebel water vanaf het ondiepe platengebied Noordland een rol.
6. Vuilbaard. De ondiepte Vuilbaard zorgt voor een toename in de troebelheid. Opvallend is de stroomnaad in westelijke richting.
- 6a. Troebelheid treedt hier op bij vloed (Schaar van Colijnsplaat is vloeddominant).
- 6b. Troebelheid treedt hier op bij eb.
7. Oevers N-Beveland. Zowel tijdens eb als tijdens vloed is bij opname vanuit een vliegtuig gebleken (zie bijv. dia 18) dat langs de oever van N-Beveland een verhoogde troebelheid voorkomt in een zône van enkele tientallen tot enkele honderden meters breedte. Op de satellietbeelden is dit beperkt zichtbaar (zie de opname van 20-8-84 tijdens eb; dia 12).

8. Nunneplaatje. Zie opmerking bij deelgebied 5.

9. Tijdens eb is deze troebele mengzone waarneembaar die vermoedelijk samenhangt met het uitstromen van water troebel water uit het Keeten dat ook van de Slikken van Viane afstroomt.

10. West van Galgeplaat.

11. Langs Slikken van Viane.

Met uitzondering van het in de Schaar geconstateerde beeld zijn alle op de satellietbeelden gevonden patronen ook, en meestal meer gedetailleerd, waargenomen bij verkenningsvluchten met een vliegtuig (lit. 5).

3.4. Westerschelde.

De Westerschelde wordt gekenmerkt door een hoge troebelheid. In het bekken zijn grote variaties te zien die het gevolg zijn van de grote verschillen in morfologie en waterbeweging (stroomsnelheid).

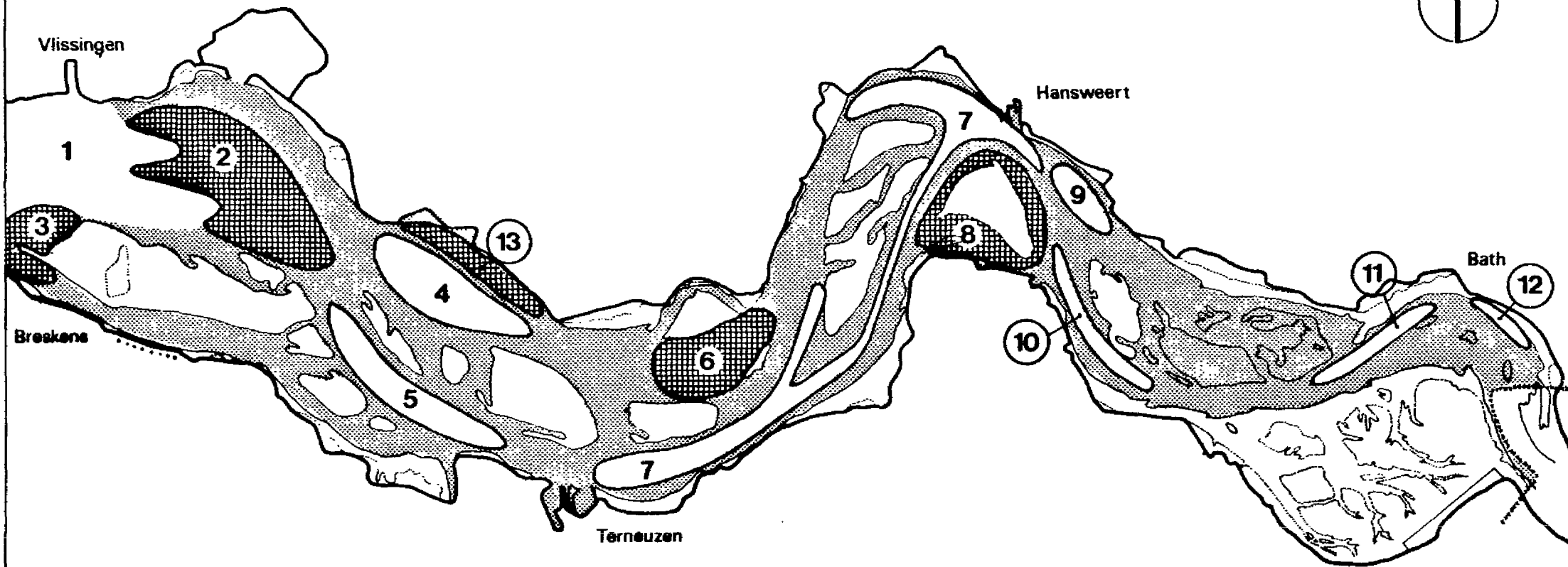
Om de verschillen op grote schaal zichtbaar te maken is op RESEDA als voorbeeld het beeld van 26-6-84 sterk gedecimeerd (1 op de 7 pixels op het videoscherm) en is een kleuring aan de intensiteit van het signaal in band 3 gegeven; zie dia 19. Donker blauwe kleur moet hierbij geïnterpreteerd worden als weinig troebelheid, oplopend via licht blauw, groen, geel, oranje tot rood en paars voor hoge troebelheid.

Opvallend is: a) het grote verschil met het (heldere) Oosterschelde water en b) de toenemende troebelheid in de Westerschelde in oostelijke richting.

Het gemiddelde beeld dat sterk generaliserend uit de opnamen gestedilleerd kan worden is te vinden op kaart 3.

De volgende troebele deelgebieden zijn te onderscheiden: Spijkerplaat (deelgebied 2) met een opvallende gelijkenis tussen het troebelheidspatroon en de morfologie van deze plaat, westzijde van de Hooge platen (deelgebied 3), Rug van Borsele (deelgebied 13), onder de Plaat van Baarland (deelgebied 6) en rond de Plaat van Ossensisse (deelgebied 8). Het meest heldere gebied is de Rede van Vlissingen (1) door de diepe en breede geulligging en het

Westerschelde



Kaart 3 Troebelheidspatronen op Landsatbeelden van de Westerschelde

hoge percentage zeewater. Ook andere diepere delen ondervinden de afnemende invloed van de bodem op de troebelheid in de bovenste waterlaag zoals in de Pas van Terneuzen (5), Everingen (4), Gat van Ossensisse inclusief het deel tussen de Kappelbanken en Hansweert met een heldere baan richting Middelgat (7), Schaar van Waarde (9), Zuidergat(10) en Nauw van Bath(11,12).

4. CONCLUSIES

Uit het onderhavig onderzoek komt naar voren dat LANDSAT, die ontworpen is voor remote sensing boven land, beperkingen heeft voor het waterkwaliteitsonderzoek in de Deltawateren. Dit blijkt uit:

1. de spectrale resolutie: de spectrale banden zijn te breed,
2. de radiometrische resolutie: het radiometrische bereik van de optische sensoren is voor het wateroppervlak gering,
3. de resolutie in overeenkomstfrequentie: door de aanwezigheid van bewolking zijn beelden vaak onbruikbaar. Het aantal bruikbare satellietopnamen die in de afgelopen 10 jaar van het Deltagebied beschikbaar is gekomen is zodoende gering (ongeveer 20 beelden). Het uitvoeren van waterkwaliteitsbemonsteringen op het moment van satellietoverkomst voor het ontwikkelen van algoritmen zal daardoor een laag rendement hebben.
4. de ruimtelijke resolutie: het gebruik van de Multi Spectral Scanner (MSS) lijkt alleen nuttig voor grote watersystemen als de Voordelta; voor de estuaria is de ruimtelijke resolutie onvoldoende. De Thematic Mapper (TM) komt aan laatst genoemde bezwaar voor een deel tegemoet. Voor het bestuderen van transportprocessen van slib lijkt de Landsat TM desondanks niet toereikend omdat hierbij ook de variaties over de diepten een rol spelen. Wel kunnen de TM opnamen een ondersteuning zijn bij het onderzoek naar de ruimtelijke variaties in het onderwaterlichtklimaat voor fytoplankton, aangezien hierbij de bovenste waterlaag vooral van belang is.

Gekoppeld aan voorgenoemde punten zijn de empirische relaties tussen de gemeten reflecties en de concentraties van een aantal (optische actieve) waterkwaliteitskenmerken, weinig betrouwbaar.

Geconcludeerd kan worden dat Landsat TM en MSS voorlopig niet geschikt zijn om in aanmerking te komen voor een operationeel waterkwaliteitsmeetsysteem. Wel kunnen de satellietopnamen een kwalitatief beeld opleveren van de waterkwaliteit en dus geschikt zijn voor algemeen, oriënterend onderzoek, waarbij een globale indruk van de ruimtelijke verdeling gewenst wordt. De TM opnamen kunnen wat dit betreft, hoewel met een lage frequentie, unieke beelden opleveren die veel informatie bevatten over een zeer groot gebied.

5. LITERATUUR.

1. Rijkswaterstaat, 1984. Operationalisering MSS ten behoeve van eutrofieringsonderzoek Noordzee.
2. Gordon, H.R. en W.R. McCluney, 1975. Estimation of the depth of sunlight penetration in the sea for remote sensing. Applied Optics Vol.14, no2.
3. Stronkhorst, J, 1984. Spectrale irradiantieverzwakkingscoefficient $K_d(\lambda)$ van de Oosterschelde en Grevelingen). Notitie DDMI 84.273.
4. Tulder, M van, 1985. Operationalisering van Thematic Mapper beeldverwerking voor waterkwaliteitsonderzoek op de Noordzee
5. Louisse, C.J. en J.H. van de Berg. Grootschalige slibtransportpatronen in de Oosterschelde. Nota Rijkswaterstaat 84-FA-115
6. Berg, J.H. van de , 1982. Foto opnamen troebelheid westelijke Oosterschelde tijdens vloed (2 september 1982). Notitie DDWTZ-82.790.
7. Rijkswaterstaat, 1985. Remote sensing en Waterkwaliteit in het IJsselmeergebied (DBW).

BIJLAGE 1: OVERIGE LANDSAT BEELDEN UIT DE PERIODE 1975-1984

Opmerking 1: deze opnamen zijn het resultaat van vroegere beeldverwerkingsactiviteiten (o.a. in het kader van het BALANS-onderzoek) op RESEDA.

Opmerking 2: de twee vermelde TM opnamen zijn afkomstig LANDSAT 5 (overkomsttijd 11.12 M.E.T.), de overige opnamen zijn van de LANDSAT 1,2 en 3 (overkomsttijd 10.58 M.E.T.)

f.c. = false colour; deze is samengesteld uit de MSS banden 1,2 en 4

k.k. = kleurenkomposiet; deze is samengesteld uit de banden 1,2,3

nr.	type	be- werking	datum	getijfase		
				X=t.o.v. Zierikzee, Laagwater	+t.o.v. Vlissingen Hoogwater	Laagwater
9	TM	k.k	23-01-83	-----	-----X-+	-----
10	TM	k.k	20-08-84	-----	-----X-+	-----
11	MSS	f.c	13-08-75	-----	-----X-+	-----
12	MSS	f.c	12-04-76	-----X-+	-----	-----
13	MSS	f.c	11-07-76	-----X-+	-----	-----
14	MSS	f.c	21-09-76	-----X-+	-----	-----
15	MSS	f.c	13-10-77	-----X-+	-----	-----
16	MSS	f.c	29-04-78	-----	-----X-+	-----
17	MSS	f.c	04-06-78	-----X-+	-----	-----
18	MSS	f.c	15-08-78	-----X-+	-----	-----
19	MSS	k.k	16-09-79	-----X-	+-----	-----
20	MSS	f.c	02-11-80	-----X-	+-----	-----
21	MSS	f.c	04-09-81	-----	-----X-+	-----



BIJLAGE III. DIASERIE

- dia 1. Kleurenkomposiet TM 30-4-84.
- dia 2. Kleurenkomposiet TM 10-6-84.
- dia 3. Kleurenkomposiet TM 26-6-84.
- dia 4. Kleurenkomposiet MSS 13-10-83.
- dia 5. Kleurenkomposiet MSS 22-10-83.
- dia 6. Kleurenkomposiet MSS 14-11-83.
- dia 7. Kleurenkomposiet MSS 18-02-84.
- dia 8. Kleurenkomposiet TM 4-11-85. (bron: NLR)*
- dia 9. Detail van de Wielingen, TM 20-8-84.
- dia 10. Oosterschelde monding, TM 30-4-84
- dia 11. Oosterschelde monding, TM 20-8-84
- dia 12. Oosterschelde monding, TM 4-11-85
- dia 13. Oosterschelde middengebied, TM 30-4-84
- dia 14. Oosterschelde middengebied, TM 20-8-84
- dia 15. Oosterschelde middengebied, TM 4-11-85
- dia 16. Luchtfoto mondingsgebied Oosterschelde, 2-9-82. (bron:
J.H. van den Berg)
- dia 17. Detail van de Hompels, TM 20-8-84
- dia 18. Luchtfoto rand Slikken van Colijnsplaat, ebfase 12-9-83.
(bron: J. Stronkhorst)
- dia 19. Overzicht Ooster-en Westerschelde TM band 3, 30-4-84.
- dia 20. Westerschelde monding, TM 20-8-84
- dia 21. Westerschelde middengebied, TM 20-8-84
- dia 22. Westerschelde oostelijk deel, TM 20-8-84
- dia 23. Kleurenkomposiet TM 23-1-83 (bron: NLR)

* Deze kleurenkomposiet is vervaardigd door het NLR waarbij voor het land en het water afzonderlijk een stretch is toegepast op de banden 1, 2 en 3 en in één beeld verwerkt.