

Opdrachtgever:

DG Rijkswaterstaat Directie Noord-Holland

Trendanalyse van zeegrasverspreiding in de Nederlandse Waddenzee 1988-2003

Eindrapport

maart 2005

Oprachtgever:

DG Rijkswaterstaat Directie Noord-Holland

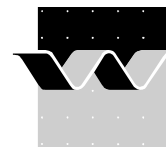
begeleiding namens de opdrachtgever door: M. van Wieringen (RWS NH),
D.J. de Jong (RIKZ) en A.H. Groeneweg (AGI)

Trendanalyse van zeegrasverspreiding in de Nederlandse Waddenzee 1988-2003

Paul L.A. Erfemeijer
(met bijdragen van Art Groeneweg en Marieke van Katwijk)

Eindrapport

maart 2005



OPDRACHTGEVER:	Rijkswaterstaat, Directie Noord-Holland				
TITEL:	Trendanalyse van zeegrassverspreiding in de Nederlandse Waddenzee 1988-2003				
SAMENVATTING:	<p>Dit rapport beschrijft de bevindingen van een studie naar dynamische ontwikkelingen in de verspreiding (ha) en bedekking (%) van zeegrassen in de Nederlandse Waddenzee tijdens de periode 1988-2003. De studie is uitgevoerd door middel van een trendanalyse van beschikbare karteringsgegevens met behulp van het GIS programma ARC-View en het modelinstrument HABITAT. Het rapport geeft een overzicht van beschikbare karteringsgegevens (incl. samenvatting van de uitgevoerde luchtfotografie en veldwerkzaamheden), een beschrijving van de gebruikte analysemethode, de resultaten van een kwantitatieve trendanalyse van de karteringsgegevens, een discussie aangaande mogelijke verklaringen voor de waargenomen trends, en aanbevelingen voor het beheer van zeegrassen in de Nederlandse Waddenzee.</p>				
REFERENTIES:	Opdrachtbon Deelpl. 4381.001 d.d. 5 november 2004				
VER	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING
1	P.Erftemeijer	5 Maart 2005		F.J. Los	T. Schilperoort
PROJECTNUMMER:	Z3880				
TREFWOORDEN:	zeegras, Waddenzee, GIS, trend analyse, dynamiek, HABITAT				
AANTAL BLADZIJDEN:	104				
VERTROUWELIJK:	<input checked="" type="checkbox"/> JA, tot april 2008		<input type="checkbox"/> NEE		
STATUS:	<input type="checkbox"/> VOORLOPIG		<input type="checkbox"/> CONCEPT		<input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF

Inhoud

1	Inleiding	1—1
1.1	Algemene inleiding.....	1—1
1.2	Doelstellingen	1—2
1.3	Aanpak van deze studie	1—2
2	Trendanalyse	2—1
2.1	Overzicht van beschikbare gegevens.....	2—1
2.2	Methode	2—3
2.3	Resultaten	2—4
2.3.1	Hond-Paap	2—4
2.3.2	Voolhok.....	2—8
2.3.3	Groninger kust	2—8
2.3.4	Terschelling - haven.....	2—10
2.3.5	Terschelling – Hoorn / Oosterend	2—12
2.3.6	Overige locaties	2—14
2.3.7	Nederlandse Waddenzee (als geheel beschouwd).....	2—15
2.4	‘Schijn’dynamiek ten gevolge onzekerheden en variatie in karteringsmethode en seizoenseffecten.....	2—21
2.5	Conclusies aangaande de trends in zeegrasontwikkeling	2—24
3	Mogelijke verklaringen voor de trends	3—1
3.1	Inleiding.....	3—1
3.2	Overzicht van mogelijk sturende factoren	3—2
3.3	Verklaring voor de afname en verdwijning van Groot Zeegras bij Terschelling - haven.....	3—7
3.4	Verklaring voor de toename van Groot en Klein Zeegras elders in de Nederlandse Waddenzee	3—7

3.5	Suggesties voor verder onderzoek.....	3—12
4	Aanbevelingen voor beheer	4—1
5	Literatuur.....	5—1
Appendices.....		A—1
A.1	Verspreidingskaartjes van zeegras op diverse locaties in de Nederlandse Waddenzee.....	A—3
A.2	Verschilkaartjes van jaar-tot-jaar in zeegrasvoorkomen op diverse locaties in de Nederlandse Waddenzee.....	A—5
A.3	Meldingen van additionele zeegraswaarnemingen in de Nederlandse Waddenzee tijdens 2003-2004.....	A—7

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de bevindingen van een studie naar dynamische ontwikkelingen in de verspreiding (ha) en bedekking (%) van zeegrassen in de Nederlandse Waddenzee tijdens de periode 1988-2003. De studie is uitgevoerd door middel van een trendanalyse van beschikbare karteringsgegevens met behulp van het GIS programma ARC-View en het modelinstrument HABITAT. Het rapport geeft een overzicht van beschikbare karteringsgegevens (incl. samenvatting van de uitgevoerde luchtfotografie en veldwerkzaamheden), een beschrijving van de gebruikte analyse methode, de resultaten van een kwantitatieve trendanalyse van de karteringsgegevens, een discussie aangaande mogelijke verklaringen voor de waargenomen trends, en aanbevelingen voor het beheer van zeegrassen in de Nederlandse Waddenzee.

De resultaten van de trendanalyse toont zowel korte-termijn dynamiek als lange-termijn trends in de verspreiding en bedekking van zeegrassen in de Nederlandse Waddenzee over de periode 1988-2003. De korte-termijn dynamiek vertoont verschillen tussen Groot Zeegras (*Zostera marina*) en Klein Zeegras (*Zostera noltii*) en tussen verschillende locaties in de Waddenzee. Op grond van een diepgaandere analyse van de gebruikte methodiek is gebleken dat een groot deel van deze korte-termijn dynamiek waarschijnlijk kan worden toegeschreven aan onzekerheid en variatie in de gebruikte karteringsmethodiek.

De langere termijn dynamiek tijdens de onderzoeksperiode (1988-2003) toont een gestage toename in de ruimtelijke verspreiding van zeegrassen (zowel Groot als Klein Zeegras) in de Nederlandse Waddenzee, met uitzondering van één locatie (Terschelling-haven) waar een populatie Groot Zeegras sterk is achteruitgegaan en tenslotte geheel is verdwenen. Het totale areaal van zeegras in de Nederlandse Waddenzee (Groot + Klein Zeegras samen) is toegenomen van 13 ha in 1988 tot ruim 360 ha in 2003. Het betreft hier in 2003 totaal ca. 100 ha Klein Zeegras *Zostera noltii* en ca. 260 ha Groot Zeegras *Zostera marina*, beide in hun verspreiding beperkt tot intergetijdegebieden.

Veranderingen in het beheer van de havenkom van Terschelling (die voorheen eens in de zoveel tijd werd gebaggerd) en het onderhoud van de vaargeul (Schuitengat) lijken de meest waarschijnlijke oorzaak te zijn van de achteruitgang en verdwijning van het Groot Zeegras veld in dit gebied. De afname van eutrofiëring, een geleidelijke klimaatsverandering (minder strenge winters, meer warme voorjaren) en het afsluiten van gebieden voor schelpdiervisserij hebben vermoedelijk alledrie bijgedragen tot het beginnend herstel van zeegrassen in de Waddenzee. Bovendien lijkt zaadverspreiding vanuit de huidige groeilocatie van Groot Zeegras op de Hond-Paap goede kansen te bieden voor een verdere uitbreiding van het zeegrasareaal naar andere geschikte locaties in het oostelijk deel van de Nederlandse Waddenzee.

Op basis van de bevindingen van de huidige studie wordt het volgende aanbevolen:

- de bufferzone rondom de voor schelpdiervisserij afgesloten zeegrasgebieden zou moeten worden uitgebreid van de huidige 40 m (niet adequaat) naar bijvoorbeeld 500 m;
- additionele afsluiting van de meest geschikte potentiële groeilocaties voor zeegras in de oostelijke Waddenzee zou kunnen worden overwogen, met name wanneer er

aanwijzingen zijn dat zich in die gebieden nieuwe zaailingen lijken te hebben gevestigd (bijvoorbeeld door zaadverspreiding vanuit het zeegrasveld op de Hond-Paap);

- het huidige beleid en beheer met betrekking tot het reduceren van nutriëntenvrachten (eutrofiering) en vertroebeling van de Waddenzee dient te worden voortgezet en uitgebreid zodat op den duur het zeegras zich ook tot op grotere diepten kan herstellen;
- mogelijkheden om het herstel van zeegras te bespoedigen door middel van het ‘kunstmatig’ transporteren van zaden naar potentiëel geschikte gebieden zou kunnen worden onderzocht en getest;
- effecten van het beoogde herstel van zout-zoet overgangen op het zeegrasherstelproces verdienen nauwlettende aandacht;
- de karteringen van zeegrassen in de Waddenzee dienen jaarlijks te worden voortgezet. Karteringen (luchtfotografie én veldwerk) zouden het best altijd in 1 en dezelfde maand moeten worden uitgevoerd om methodologische ‘ruis’ tot een minimum te beperken;
- kartering van de verspreiding van *Ruppia maritima* (Rode Lijst soort die thans op het Balgzand voorkomt) zou in het reguliere MWTL monitoringsprogramma moeten worden opgenomen;
- de in dit rapport als meest waarschijnlijk aangegeven potentiële verklaringen voor de trends in zeegrasverspreiding in de Nederlandse Waddenzee verdienen verdergaande analyse en nader onderzoek. Dit is met name van belang voor een juiste aansturing van beheersmaatregelen voor het behalen van de ecologische doelstellingen binnen de Kaderrichtlijn Water.

Summary

The present report describes the results of a study of the dynamic developments in distribution (ha) and cover (%) of seagrasses in the Dutch Wadden Sea during the period 1988-2003. The study was carried out by means of a trend analysis of available mapping data using the GIS-programme ARC-View and the modelling tool HABITAT. The report provides an overview of all available mapping data (including a summary of aerial photography and ground truthing activities), a description of the methodology used in the analysis, the results of a quantitative trend analysis of the mapping data, a discussion regarding potential explanations for the observed trends, and recommendations for the management of seagrasses in the Dutch Wadden Sea.

The results of the trend-analysis reveal both short-term dynamics and long-term trends in the distribution and cover of seagrasses in the Dutch Wadden Sea during 1988-2003. The short-term dynamics differ between the two seagrass species (*Zostera marina* and *Zostera noltii*) and between different localities in the Wadden Sea. Based on a thorough analysis of the mapping methodology applied, it is concluded that a major part of the short-term (year-to-year) dynamics is probably caused by various uncertainties and variations in the mapping methodology that was used.

The longer-term dynamics during the period under investigation (1988-2003) shows a steady increase in the spatial distribution of seagrasses (both *Z. marina* and *Z. noltii*) in the Dutch Wadden Sea, with the exception of one locality (Terschelling-harbour) where an eelgrass population (*Z. marina*) strongly declined and ultimately disappeared completely. The total seagrass area (both species) in the Dutch Wadden Sea increased from 13 ha in 1988 to over 360 ha in 2003. By 2003, the total area of Dwarf Eelgrass (*Zostera noltii*) vegetation had increased to approximately 100 ha while Eelgrass (*Zostera marina*) meadows covered 260 ha. Both species are limited in their present distribution to intertidal areas.

Changes in the management of the harbour area at Terschelling (which used to be dredged regularly) and in the maintenance of the navigation channel ('Scheutengat') appear to be the most likely causes for the decline and ultimate disappearance of the eelgrass bed at this location. The overall reduction in eutrophication, a gradual change in climate (with less severe winters and more warme springs), and the closure of certain areas to shellfish fisheries appear to have all contributed to the observed onset of recovery of the seagrasses in the Dutch Wadden Sea. Furthermore, seed distribution from the current eelgrass meadow at the Hond-Paap appears to offer opportunities for some expansion through colonization of other potentially suitable localities in the eastern part of the Dutch Wadden Sea.

Based on the findings of the present study, it is recommended:

- to expand the buffer zone around seagrass areas closed off to shellfish fisheries from 40 m (at present), to 500 m;
- to consider the additional closure of some the most suitable potential growth locations in the eastern part of the Dutch Waddensea, especially when indications are found that new seedlings appear to have established themselves in these areas (through seed distribution from the Hond-Paap population);

- to sustain and expand policy measures aimed at further reducing nutrient loads (to curb eutrophication) and turbidity in the Wadden Sea, to enable the re-establishment of subtidal eelgrass growth (where hydrodynamic conditions allow);
- to explore the potential of ‘artificially’ transporting flowering eelgrass shoots (containing ripe seeds) to the many suitable (but presently unvegetated) potential growth locations in the eastern part of the Wadden Sea to speed up the recovery process;
- to closely monitor and investigate the potential impact (wether positive or negative) of policy measures and management interventions aimed at restoring estuarine gradients on the recovery of seagrasses;
- to continue with the annual mapping programme of seagrasses in the Dutch Wadden Sea to further monitor changes, and limit the timing of aerial photography and fieldwork to one and the same month every year (to minimize methodological effects on short-term dynamics);
- to incorporate mapping of the distribution of *Ruppia maritima* (a Red List species presently found at ‘Balgzand’) in the regular (MWTL) monitoring programme;
- to carry out more detailed research on the - in this report indicated as most likely - potential explanations for the observed trends in seagrass dynamics in the Wadden Sea to guide decision-making in order to meet ecological targets agreed within the Water Framework Directive.

I Inleiding

I.1 Algemene inleiding

Van de oorspronkelijk zeer uitgestrekte zeegrasvelden in de Nederlandse Waddenzee (die omstreeks 1930 naar schatting zo'n 150 km² bedekten) is in het begin van de 70^{er} jaren minder dan 1 km² over. Een aanzienlijk deel van deze oorspronkelijke velden bestond uit buitendijkse sublitorale velden van Groot Zeegras (*Zostera marina*), die in 1932 door toedoen van de combinatie van een 'wierziekte' (veroorzaakt door het parasitaire, eencellige organisme *Labyrinthula*), de afsluiting van de Zuiderzee, en enkele jaren van ongunstige weersomstandigheden geheel uit de Nederlandse Waddenzee zijn verdwenen (reviews in Den Hartog, 1996; de Jonge et al., 1996). Klein Zeegras (*Zostera noltii*) en de flexibele vorm van Groot Zeegras in de Nederlandse Waddenzee, die uitsluitend voorkomen in het intergetijdegebied, waren veel minder aangetast door de wierziekte van 1932. Sinds 1965, zijn de resterende litorale zeegrasvelden (zowel Groot als Klein Zeegras) ook sterk achteruitgegaan, waardoor het totale zeegrasareaal in 1972 nog slechts 50 hectare bedroeg (Polderman & Den Hartog, 1975).

In tegenstelling tot andere delen van de Waddenzee en elders in Europa, waar de sublitorale zeegrasvelden zich na afloop van de wierziekte aanvankelijk weer deels herstelden (doch niet tot eenzelfde maximale diepte), bleef een dergelijk herstel in de Nederlandse Waddenzee uit, waarschijnlijk door de sterk toegenomen troebelheid en gewijzigde zoutgradient ten gevolge van de aanleg van de afsluitdijk, alsmede door de schelpdiervisserij (Giesen et al., 1990; de Jonge & de Jong, 1992). Wel is er in het oostelijk deel van de Waddenzee in relatief korte tijd een uitgestrekt zeegrasveld (nu ca. 250 ha) ontstaan op de Hond/Paap in het Eems-Dollard gebied dat zich in de loop der jaren lijkt uit te breiden.

Sinds 1994 worden er jaarlijks door de Adviesdienst Geoinformatie en ITC (AGI) van Rijkswaterstaat in het kader van de Biologische Monitoring Zoute Rijkswateren, onderdeel van de Monitoring Waterstaatkundige Toestand van het Land (MWTL), karteringen uitgevoerd van de verspreiding en dichtheid van zeegrassen in de Nederlandse Waddenzee op basis van luchtfotografie en veldwerk. Daarnaast bestaan er enkele afzonderlijke karteringen en losse waarnemingen en is er in augustus 2003 een landelijk 'Meldingennetwerk Zeegras' gelanceerd, waarbij nieuwe meldingen van zeegraslocaties in de Waddenzee centraal verzameld worden. In 2003 is er bovendien intensief onderzoek gedaan naar het voorkomen van zeegras, met name in het gebied bij Noordpolderzijk, ter ondersteuning van een EVA-II deelrapport (RIKZ) van een studie over de invloed van mechanische kokkelvisserij op de ontwikkeling van zeegras in de Nederlandse Waddenzee.

Een zorgvuldige analyse van de trends in deze beschikbare verspreidingsdata kan leiden tot een beter inzicht in de processen en trends in natuurlijke regeneratie en dynamiek van zeegrasvegetatie in de Waddenzee. Dergelijke informatie is belangrijk voor het vaststellen van effectieve beheersmaatregelen en bij het evalueren van de haalbaarheid van beleidsdoelstellingen (bijvoorbeeld met betrekking tot de Kaderrichtlijn Water).

Medio november 2004 is WL | Delft Hydraulics door de regionale dienst Noord-Holland van Rijkswaterstaat gevraagd een analyse uit te voeren van alle in het recente verleden (1988-2003) verzamelde verspreidingsgegevens van Klein en Groot Zeegras in de Nederlandse Waddenzee. Het huidige rapport beschrijft de eindresultaten van deze studie, bestaande uit een trendanalyse van de beschikbare karteringsgegevens, een analyse van mogelijke verklaringen voor deze trends, en aanbevelingen voor beheer.

1.2 Doelstellingen

De huidige studie heeft als doel om op basis van beschikbare gegevens een analyse uit te voeren van trends in de verspreiding van zeegrassen in de Nederlandse Waddenzee gedurende de periode 1988-2003, en te onderzoeken in hoeverre het verloop en de dynamiek van deze trends is te relateren aan milieufactoren, zaadverspreiding en menselijk gebruik in de Waddenzee.

De specifieke doelstellingen van het onderzoek zijn:

- het analyseren van trends in de verspreiding en bedekking van zeegrassen in de Nederlandse Waddenzee tussen 1988 en 2003, met speciale aandacht voor enkele specifieke locaties (Hond-Paap, Terschelling, Groninger kust);
- het bespreken van mogelijke verklaringen (zowel milieufactoren als menselijke activiteiten) voor de waargenomen trends in zeegrasontwikkeling in de Nederlandse Waddenzee;
- het formuleren van aanbevelingen voor het beheer van zeegras, ook met het oog op de voorbereiding van de nieuwe PKB-Waddenzee en het nieuwe Beheerplan Waddenzee (in de loop van 2005).

1.3 Aanpak van deze studie

Het onderzoek bestaat uit drie delen:

- [1] Trendanalyse.
- [2] Mogelijke verklaringen voor de trends.
- [3] Aanbevelingen voor beheer.

Trendanalyse

De trendanalyse van karteringsgegevens is uitgevoerd met behulp van het GIS-programma ArcView en het modelinstrumentarium HABITAT. Hierbij is gebruik gemaakt van alle bestaande gegevensbronnen, waaronder MWTL-karteringen Waddenzee, recente incidentele meldingen verzamelt in het kader van het Meldingennetwerk Zeegras, en gedetailleerde zeegrasopnamen verzamelt binnen het EVA-II project. Er is gekeken naar jaar-tot-jaar veranderingen en meerjaren-trends in zeegrasverspreiding en dichtheid. Verschillen in de trends tussen Groot Zeegras (*Zostera marina*) en Klein Zeegras (*Zostera noltii*) zijn eveneens bestudeerd.

Mogelijke verklaringen voor de trends

De analyse van mogelijke verklaringen voor de gevonden trends is uitgevoerd door middel van een vergelijking tussen de zeegraskarteringsgegevens en gegevensbestanden over sturende milieufactoren, zeegraszaadverspreiding en menselijk gebruik. Hierbij is gebruik gemaakt van bestaande gegevensbronnen, waaronder datasets aangaande milieufactoren zoals waterkwaliteit, wind, saliniteit, diepte etc. (Basisinfodesk RIKZ-Den Haag), gegevens over (potentiële) zeegraszaadverspreiding in de Waddenzee afkomstig uit een recente door het WL uitgevoerde R&D modelstudie (Erftemeijer & Van Beek, 2004), een groeikansenkaart voor zeegras van de Nederlandse Waddenzee van Rijkswaterstaat (zie aparte transparante inlegvel bij dit rapport), en recente gegevens over de omvang en locaties van schelpdiervisserij in de Waddenzee (Essink et al., 2003).

Deze analyse is uitgevoerd in twee stappen:

- stap 1 (“listing”): inventarisatie van alle mogelijke verklaringen (zowel milieufactoren als menselijk gebruik) voor de trends en dynamiek in zeegrasverspreiding op basis van wetenschappelijke literatuur en eerdere studies in de Waddenzee;
- stap 2 (“screening”): het één voor één aflopen van de mogelijke verklaringen en beoordelen in hoeverre deze factoren verantwoordelijk zouden kunnen zijn voor de gevonden trends, om te komen tot een selectie van de meest waarschijnlijke factoren. Dit is niet gebeurd door middel van een formele statistische trendanalyse (empirische benadering, d.m.v. geavanceerde data-analyses en toetsen van hypothesen met behulp van statistiek), maar door middel van het zoeken naar en redeneren vanuit mogelijke causale verbanden op basis van expert judgment. Deze tweede stap heeft uiteindelijk geleid tot een selectie van de meest waarschijnlijke factoren die de verspreiding en dichtheid van zeegras in de Nederlandse Waddenzee lijken te hebben beïnvloed, en tot aanbevelingen voor verder onderzoek.

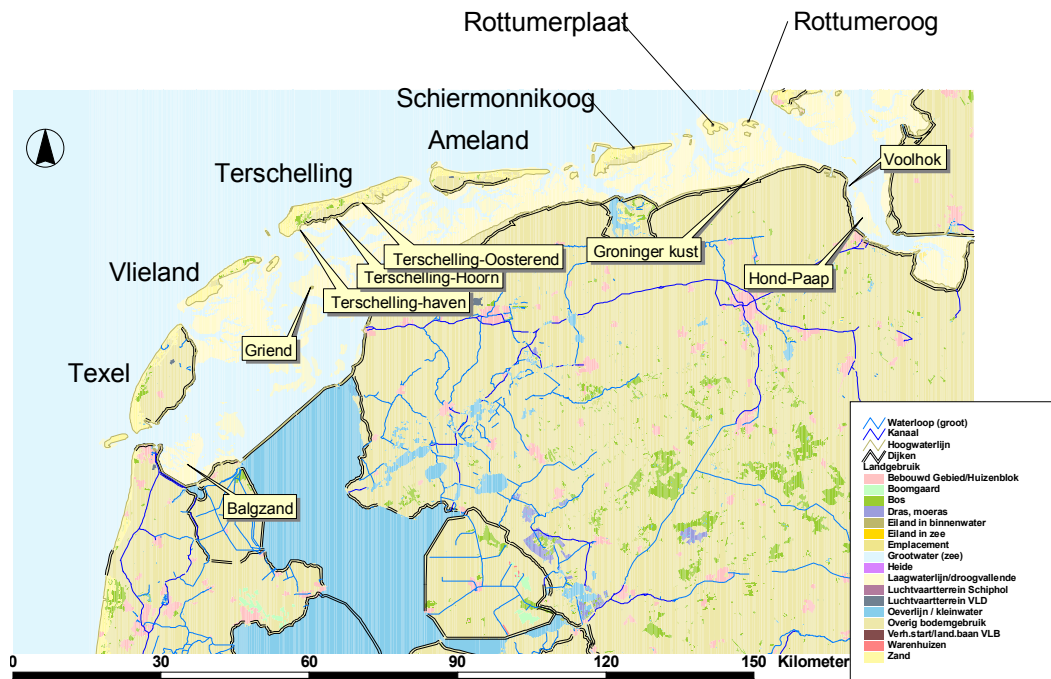
Aanbevelingen voor beheer

Tenslotte zijn, op basis van de uitkomsten van de trendanalyse en het onderzoek naar relaties met milieufactoren en menselijk handelen, aanbevelingen geformuleerd voor het beheer en de bescherming van huidige en potentiële groeilocaties van zeegras in de Nederlandse Waddenzee. Hierbij zijn aspecten zoals de noodzaak tot reductie van nutriëntentoevoer (eutrofiëring), het creëren en herstellen van zout-zoet overgangen, en de bescherming van (potentiële) zeegraslocaties tegen bodemberoerende schelpdiervisserij besproken.

2 Trendanalyse

2.1 Overzicht van beschikbare gegevens

Gedurende de periode 1988-2003 is op verscheidene plaatsen in de Nederlandse Waddenzee de verspreiding en dichtheid van zeegrasvegetatie in kaart gebracht. Dit is niet op alle plaatsen op dezelfde manier gedaan en niet in alle jaren op alle plaatsen. Een overzicht van alle beschikbare gegevens is samengevat in Tabel 2.1. De ligging van de voornaamste geografische locaties, vermeld in dit rapport, is aangegeven in Figuur 2.1.



Figuur 2.1 Ligging van de voornaamste geografische locaties en deelgebieden in het onderzoeksgebied, zoals vermeld in de tekst van dit rapport.

De web-site www.zeegras.nl van Rijkswaterstaat biedt een interactieve atlas (gebaseerd op een belangrijk deel van deze gegevens) met overzichts- en detailkaarten (als pdf) van gebieden waar zeegras in Nederland voorkomt. Op deze web-site staan alleen uitvoerkaarten, de ruwe data en GIS-bestanden zijn hier niet in opgenomen.

Significante (meerjarige) karteringen van zeegrasvoorkomens zijn alleen uitgevoerd op de Hond-Paap (in het Eems-Dollard estuarium), langs de kwelderwerken aan de Groninger kust (tussen Lauwersmeer en Eemshaven), en van drie sub-locaties op Terschelling (Haven, Hoorn en Oosterend). Daarnaast zijn uit sommige jaren incidentele waarnemingen bekend van Ameland, Schiermonnikoog, Rottumeroog, en Griend. Tenslotte zijn op het Balgzand

(Noord-Holland) en in de Mokbaai (Texel) in de periode 1999 - 2004 enkele duizenden zeegrasplanten experimenteel aangeplant, waarvan een beperkt (en wisselend) aantal planten op het Balgzand in het voorjaar van de daaropvolgende jaren zijn teruggevonden.

Tabel 2.1 Overzicht van alle beschikbare verspreidingsgegevens van zeegrassen in de Nederlandse Waddenzee voor de periode 1988-2003.

Lokatie	Jaar	Methode	Type data	Opmerkingen
Hond-Paap	1988	snorkelend	ruwe schatting	door M.Hansen (Meetdienst) & V.deJonge
	1991	per boot	oppervlakte + bedekking	door Hans Kleef (RIKZ)
	1994	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
	1995	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
	1996	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
	1997	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
	1999	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
	2000	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
	2001	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
	2002	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
2003	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)	
Voolhok	2003	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
Groninger kust (kwelderwerken)	1991	gebrekkelig, met gewone GPS	pollen	door DGW
	1996	veldbezoek, met gewone GPS	pollen	door Wim Visser (RIKZ)
	1997	alleen losse waarnemingen	pollen (ruwe schatting)	door Art Groeneweg (AGI)
	1998	veldwerk (met DGPS)	pollen en vlakken	MWTL programma (door RWS-AGI)
	1999	veldwerk (met DGPS)	pollen en vlakken	MWTL programma (door RWS-AGI)
	2000	veldwerk (met DGPS)	pollen en vlakken	MWTL programma (door RWS-AGI)
	2001	veldwerk (met DGPS)	pollen en vlakken	MWTL programma (door RWS-AGI)
	2002	veldwerk (met DGPS)	pollen en vlakken	MWTL programma (door RWS-AGI)
2003	veldwerk en luchtfotoïnterpretatie (test)	pollen en vlakken	MWTL programma (door RWS-AGI)	
Terschelling - Haven	1991	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
	1995	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
	1996	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
	1997	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
	1998	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
	1999	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
	2000	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
	2001	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
	2002-	-	-	sinds 2002 niet meer aangetroffen
	2003	-	-	-
Terschelling - Hoorn & Oosterend	1991	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
	1995	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
	1996	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
	1997	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
	1998	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
	1999	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
	2000	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
	2001	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
	2002	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
	2003	luchtfotoïnterpretatie + veldwerk	oppervlakte + bedekking	MWTL programma (door RWS-AGI)
Schiermonnikoog	2000	veldwerk (met DGPS)	pollen en vlakken	methode als in TMAP (RWS-AGI)
	2001	veldwerk (met DGPS)	pollen en vlakken	methode als in TMAP (RWS-AGI)
	2002	veldwerk (met DGPS)	pollen en vlakken	methode als in TMAP (RWS-AGI)
	2003-	losse waarneming	pollen	meldingennetwerk
Ameland	2001	losse waarneming	pollen (2)	EVA-II onderzoek (Karel Essink)
Rotumeroog	2000	losse waarneming	pollen	door vogelwachters Bouwman & Olsthoorn
	2001	losse waarneming	pollen	door D.Bos en D.Lutterop & vogelwachters
	2002	losse waarneming	pollen	door Daan Bos & door vogelwachters
	2003	losse waarneming	pollen	
Balgzand	2002	losse waarneming	pollen	door Ron vh Veer (N-Hollands Landschap)
	1999-03	losse waarnemingen (met GPS)	losse planten	door Universiteit Nijmegen
Griend	2001	losse waarneming	pollen	door Rene Oosterhuis en Susan Heideveld
	2002	losse waarneming	pollen	door Ben Hoentjen en Anton Koot
	2003-	-	-	sinds 2003 niet meer aangetroffen

De meeste van deze beschikbare zeegrasverspreidingsgegevens (sinds 1994) zijn verzameld binnen het kader van de 'Biologische Monitoring Zoute Rijkswateren', dat onderdeel uitmaakt van de Monitoring Waterstaatkundige Toestand van het Land (MWTL). Daarnaast zijn in 2000 en 2001 de zuidkust van Ameland en delen van de zuidkust van Terschelling die

buiten de MWTL-karteringen vallen geïnventariseerd ten behoeve van het project ‘Evaluatieonderzoek Schelpdiervisserij’ (EVA-II) (Essink et al., 2003).

Voor de karteringen in de getijdenwateren worden de gegevens door de afdeling Ecologische Geo-informatie van de Adviesdienst Geo-informatie en ICT van Rijkswaterstaat (AGI) jaarlijks ingewonnen in opdracht van het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ). Sinds 1998 worden de zeegras-inventarisaties bovendien ook ingebracht in het ‘Trilateral Monitoring and Assessment Program’ (TMAP) van de gehele Waddenzee.

De methodologie die bij de karteringen is gevolgd staat in detail beschreven in het ‘Standaardvoorschrift Macrofytobenthoskartering in de Waddenzee en Oosterschelde’ (Koppejan et al., 2001). Voor de dichter begroeide vegetaties op Terschelling en de Hond-Paap bestaat deze uit een interpretatie van *false colour* luchtfoto's in combinatie met veldwerk. De luchtfoto's worden gemaakt op een schaal van 1:10.000 met 60% overlap (false colour / infrarood). Alle foto's zijn gemaakt tussen 1 augustus en 1 september (bij slechte weersomstandigheden bij uitzondering verlengd tot 29 september). Voor de veel dunner begroeide vegetaties langs de Groninger kust bestaat deze uitsluitend uit veldwerk (met GPS). Aangezien de dichtheid van de zeegrasbegroeiing hier inmiddels behoorlijk is toegenomen, wordt ook hier sinds 2003 met luchtfotointerpretatie (+veldwerk) gewerkt.

Alle luchtfoto's zijn gemaakt onder (ongeveer) dezelfde getijdeomstandigheden (maximale waterstand -0.50 NAP West-Terschelling; -1.00 NAP Delfzijl voor Hond-Paap; -0.80 NAP Eemshaven voor Groninger kust).

Alle originele verspreidingskaarten van zeegrassen in de Nederlandse Waddenzee die voor de trendanalyse zijn gebruikt, zijn in dit rapport opgenomen in Appendix 1.

2.2 Methode

Voor het uitvoeren van de trendanalyse zijn de digitale GIS-bestanden en/of ruwe veldgegevens van alle beschikbare karteringsgegevens (zoals samengevat in Tabel 2.1) van Rijkswaterstaat (AGI en RIKZ) verzameld.

Deze gegevens zijn vervolgens met behulp van het GIS-programma Arc-View vergrid (gridcelgrootte 2 x 2m). De resulterende ASCII-gridfiles zijn vervolgens geïmporteerd in het modelinstrumentarium HABITAT. HABITAT is een modelinstrument voor habitatevaluaties en ecotoopclassificatie dat gezamenlijk is ontwikkeld door RIKZ, RIZA en WL | Delft Hydraulics. HABITAT is gebouwd rondom PCRaster, een softwarepakket dat kaartberekeningen kan uitvoeren (Copyright ©1987-2003 PCRaster Environmental Software/Faculty of Geographical Sciences, Utrecht University).

De ASCII-gridfiles zijn vervolgens omgezet in BIL-files, waarna ze verder bewerkt konden worden binnen HABITAT. Met behulp van rekenregels opgesteld binnen HABITAT zijn er vervolgens diverse analyses uitgevoerd van de jaar-tot-jaar verschillen in %bedekking (als relatieve maat voor de vegetatiedichtheid), oppervlakten per %bedekkingsklasse, frequenties van voorkomen, en andere parameters die de dynamische ontwikkelingen van de zeegrasverspreiding en dichtheid in de Nederlandse Waddenzee beschrijven. De trends in

zeegrasverspreiding zijn getest op significantie door middel van een F-test van de lineaire regressies.

De karteringen van de Groninger kust zijn eerst nog voorbewerkt. Deze karteringsgegevens zijn volgens een andere methode (de zgn. ‘Groninger methode’) in het veld verzameld (nb. zonder luchtfoto-interpretatie) en bestaan uit een mengeling van zowel punten (met GPS coördinaten en attribuutgegevens) als vlakken. Voor de ruimtelijke analyse zijn de punten omgezet in vlakken door middel van het toepassen van een buffermethode. Hierbij is in Arc-View aan de punten een buffer meegegeven met een oppervlakte overeenkomend met de oppervlakte van de zeegraspol (categorieën) zoals in de attribuuttabel van de punten was weergegeven. Eventuele overlap tussen gebufferde punten onderling of met vlakken is verwijderd om een overschatting te voorkomen. De oppervlaktes (alsmede de verschilkaartjes tussen jaren) van de karteringsgegevens van de Groninger kust zijn vervolgens in Arc-View berekend.

2.3 Resultaten

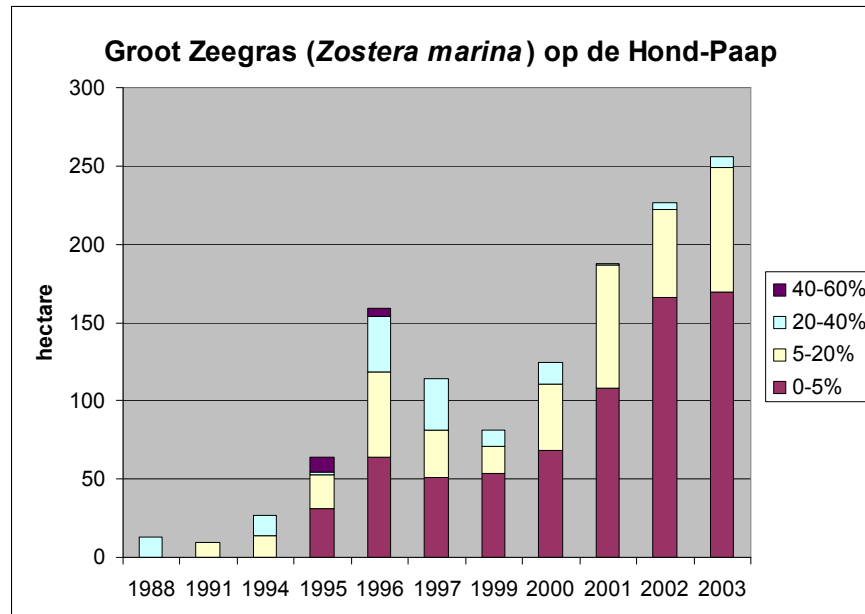
2.3.1 Hond-Paap

Op de Hond-Paap, een getijdeplaat in het Eems-Dollard estuarium in het meest oostelijke deel van de Nederlandse Waddenzee, heeft zich een uitgebreid zeegrasveld van Groot Zeegras (*Zostera marina*) ontwikkeld. Het betreft een relatief dun-begroeid zeegrasveld waarvan slechts een klein deel (max. 10%) een vegetatiebedekking heeft groter dan 20%.

Tabel 2.2 Overzicht van de bedekking (%) en verspreiding (ha) van Groot Zeegras (*Zostera marina*) op de Hond-Paap voor de periode 1988-2003.

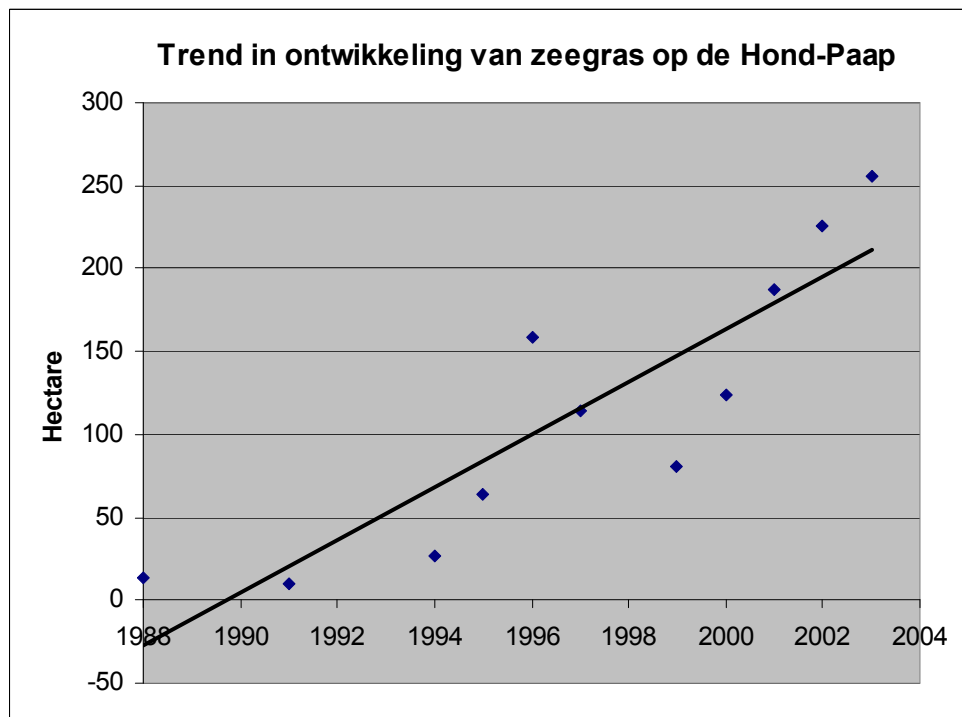
Groot Zeegras (<i>Zostera marina</i>) verspreiding en bedekking op de Hond-Paap											
bedekking	1988	1991	1994	1995	1996	1997	1999	2000	2001	2002	2003
0-5%	0	0	0	31	64	51	53	68	108	166	169
5-20%	0	10	14	21	54	31	18	43	79	56	80
20-40%	13	0	13	2	35	32	10	13	1	4	7
40-60%	0	0	0	9	5	0	0	0	0	0	0
60-80%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80-100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totaal (ha):	13	10	27	64	159	114	81	124	187	226	256

In 1973 werd voor het eerst melding gemaakt (door V.N. de Jonge) van de aanwezigheid van Groot Zeegras op de Hond (Polderman & den Hartog, 1975). In 1988 werd een Groot Zeegras veld aangetroffen op de Paap dat werd geschat op ca. 13 hectare. Ondanks visserijactiviteiten en intensieve baggerwerkzaamheden/baggerstort in een kanaal nabij dit zeegrasveld (de Jonge et al., 1996) heeft dit veld zich sindsdien flink uitgebreid en bedekt het thans ca. 250 hectare (Tabel 2.2 en Figuur 2.2). [nb. in 1998 is geen opname gedaan].



Figuur 2.2 Ontwikkeling van het zeegrasveld op de Hond-Paap tussen 1988 en 2003. Totale oppervlakte (in ha) als cumulatief van diverse bedekkings-categorieën (%).

Er is dus duidelijk sprake van een toename van het zeegrasveld op de Hond-Paap (Figuur 2.3). Deze trend is zeer significant ($p = 0.00035$).

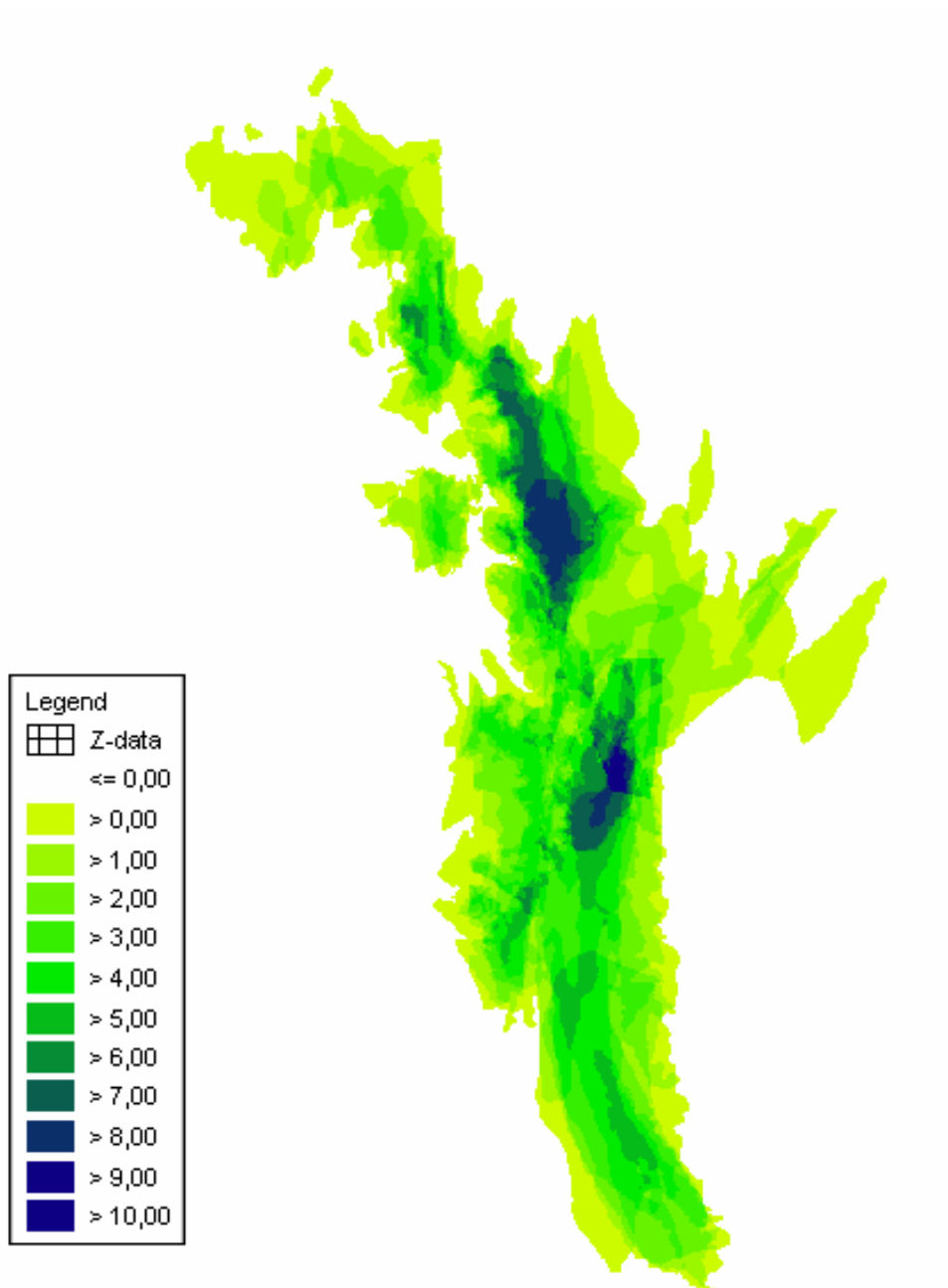


Figuur 2.3 Trend in ontwikkeling van Groot Zeegras op de Hond-Paap (regressiecoëfficiënt $r^2 = 0.77$).

Een analyse van jaar-tot-jaar verschillen in de zeegrasverspreiding en –bedekking op de Hond-Paap laat in vrijwel alle gevallen grote schommelingen zien (Appendix A2). Er is met name grote ruimtelijke variatie tussen de jaren, wat veroorzaakt wordt door het ‘eenjarige’ karakter van deze zeegraspopulatie. Het merendeel van de zeegrasvegetatie sterft in het late najaar en winter af. De populatie overleeft de winter dan ook hoofdzakelijk (ca. 89%) als zaad, dat elk voorjaar weer op andere plekken opkomt (Erftemeijer & Wijsman, 2004).

Een analyse van de frequentie van het aantal keren dat zeegras is aangetroffen van de 11 jaren dat deze vegetatie is gekarteerd (Tabel 2.3 en Figuur 2.4) laat zien dat er een relatief kleine kern is van vegetatie die zich elk jaar standhoudt (mogelijk overwinterend als wortelstokken*), terwijl het overgrote meerendeel bestaat uit een soort mozaïek van plaatsen die in sommige jaren eens hier en in andere jaren weer daar begroeid zijn met zeegras (vermoedelijk opkomend uit zaad). Circa 86% van het totale zeegrasgebied (399 ha) is minder dan de helft van de jaren begroeid met zeegras.

* (Bij een veldmonitoringsstudie van zeegrasvegetatie op de Hond-Paap tijdens 2003 bleek 12% van de planten uit rhizomen te zijn opgegroeid, terwijl de overige 88% uit zaad was opgekomen - zie Erftemeijer & Wijsman, 2004)



Figuur 2.4 Overzicht van totale gebied waarin ooit zeegras is aangetroffen op de Hond-Paap tussen 1988 en 2003, met indicatie van frequentie van voorkomen (als aantal jaren van de 11 karteringsjaren).

Tabel 2.3 Frequentie van zeegrasvoorkomen op de Hond-Paap, uitgedrukt als aantal jaren van de 11 karteringsjaren waarin zeegras op eenzelfde plaats werd aangetroffen (tevens weergegeven als gebied (in ha) en % van totaal).

Frequentie van voorkomen Groot Zeegras op de Hond-Paap		
Frequentie	Gebied (ha)	% van totaal
1 keer in 11 jaar	115.6	29
2 keer in 11 jaar	70.8	18
3 keer in 11 jaar	60.9	15
4 keer in 11 jaar	48.0	12
5 keer in 11 jaar	49.8	12
6 keer in 11 jaar	24.5	6
7 keer in 11 jaar	11.6	3
8 keer in 11 jaar	10.1	3
9 keer in 11 jaar	6.6	2
10 keer in 11 jaar	0.9	0
11 keer in 11 jaar	0.3	0
Totaal:	399.0	100

2.3.2 Voolhok

Sinds 2003 is er bij het Voolhok, een getijdeplaat langs de kust nabij het Schakelstation van de Eemscentrale (dichtbij de Hond-Paap – zie Figuur 2.1) voor het eerst een nieuw zeegrasveld opgemerkt (zie kaart in Appendix A.1), dat in 2003 een oppervlakte bedekte van ca. 6 hectare (waarvan ca. 4 ha met een bedekking van 0-5% en ca. 2 ha met een bedekking van 5-20%). Dit veld is ook in 2004 weer aangetroffen, uitgebreid in areaal maar afgenomen in %bedekking (Art Groeneweg, pers. comm.). De ligging van het Voolhok ten opzichte van NAP lijkt in de laatste jaren flink te zijn verhoogd door sterk verhoogde sedimentatie in de Bocht van Watum. Hier is sinds 1975 havenslib uit de Haven van Delfzijl is gestort met als gevolg dat deze geul alsmaar ondieper is geworden (Erfemeijer, 2002).

2.3.3 Groninger kust

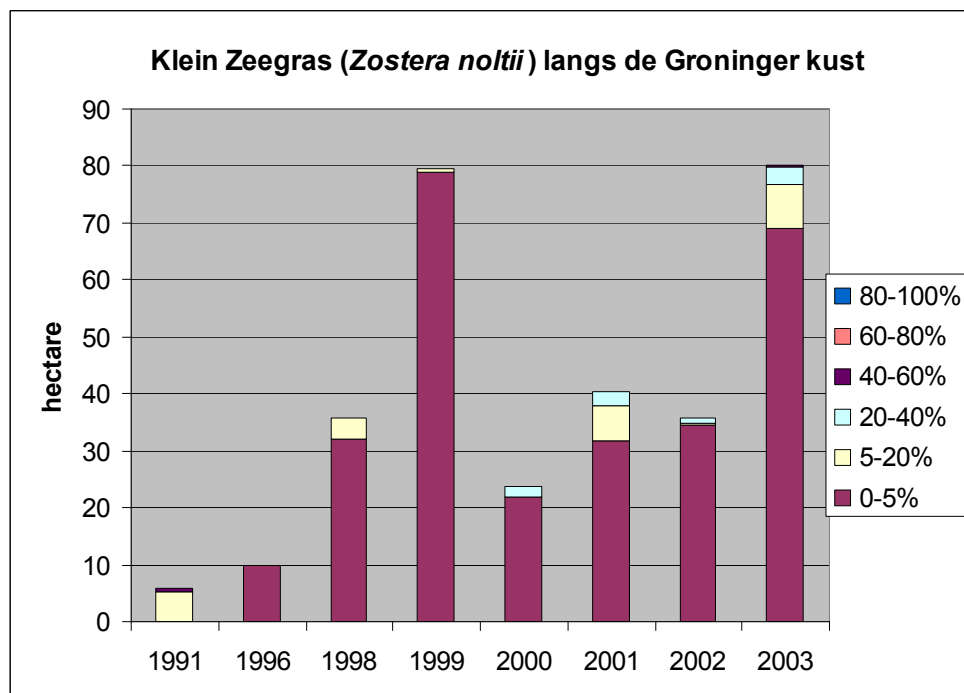
Langs de Groninger kust hebben zich in het gebied van de kwelderwerken in de loop van de 90^{er} jaren velerlei pollen en kleine veldjes zeegras gevestigd. Het betreft hier hoofdzakelijk Klein Zeegras (*Zostera noltii*). Groot Zeegras (*Zostera marina*) wordt hier en daar ook aangetroffen, maar het areaal hiervan is ten opzichte van Klein Zeegras te verwaarlozen (maximaal 0.1 hectare in 2003). De dichtste en meest constante veldjes liggen in de buurt van het Gasstation en (in mindere mate) ten westen van Noordpolderzijl (haventje). Daarnaast worden frequent zeegraspollen aangetroffen bij Hornhuizen en de hoek van de Eemshaven. De relatieve bijdrage van pollen ten opzichte van die van vlakken aan het totale areaal is gering (minder dan 5% in alle gevallen).

De dunbegroeide en tamelijk wijdverspreide zeegrasvegetatie langs de Groninger kust vertoont grote jaar-tot-jaar dynamiek in zowel oppervlakte en ruimtelijke verspreiding, in recente jaren variërend van 20 tot 80 hectare (Tabel 2.4; Figuur 2.5). Deze grote variatie is wellicht voor een deel veroorzaakt door onzekerheden in de methodologie. Met name de piek in 1999 lijkt veroorzaakt door een over-enthousiaste interpretatie (op kantoor) van de veldkarteringsgegevens van zeegraspollen. Daarbij zijn gebieden met vele punt-metingen ('punten-wolken'), zoals ingemeten in het veld, op enigszins arbitraire wijze in 'velden' (met laagste bedekkingscategorie) omgezet op kantoor (RWS-AGI), waardoor mogelijk een

overschatting van oppervlakte is ontstaan (A. Groeneweg, pers. comm.). In de daarop volgende jaren is dit niet als zodanig voortgezet zonder zorgvuldige afweging in het veld.

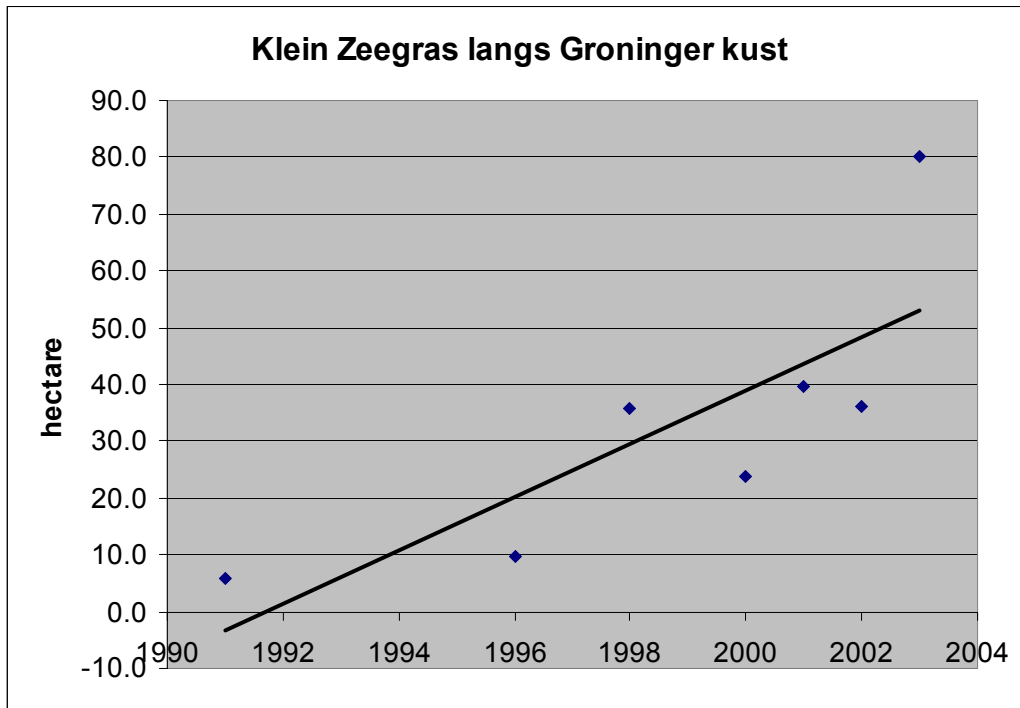
Tabel 2.4 Overzicht van de bedekking (%) en verspreiding (ha) van Klein Zeegras (*Zostera noltii*) langs de Groninger Kust voor de periode 1991-2003.

Zeegrasverspreiding en -bedekking langs de Groninger Kust (kwelderwerken)								
bedekking	1991	1996	1998	1999	2000	2001	2002	2003
0-5%	0.0	9.8	32.2	78.9	21.9	31.7	34.5	68.9
5-20%	5.3	0.0	3.7	0.5	0.1	6.1	0.4	7.9
20-40%	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	2.5	0.9	3.0
40-60%	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
60-80%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
80-100%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Totaal (ha):	5.9	9.8	35.9	79.4	23.7	40.3	35.7	80.0



Figuur 2.5 Ontwikkeling van het zeegrasvegetatie langs de Groninger Kust tussen 1991 en 2003. Totale oppervlakte (in ha) als cumulatief van diverse bedekkings-categorieën (%). Nb: karteringen in 1991 en 1996 waren onvolledig.

De algemene observatie van zeegraskarteringsgegevens langs de Groninger kust (met uitzondering van de 'onbetrouwbare' piek in 1999) is dat de vegetatie zich in de loop der jaren lijkt te hebben uitgebreid en in dichtheid is toegenomen (Figuur 2.6). Deze trend is significant ($p = 0.034$), wanneer de 1999-data buiten beschouwing worden gelaten.



Figuur 2.6 Trend in ontwikkeling van Klein Zeegrass langs de Groninger Kust [data 1999 excluded] (regressiecoëfficiënt $r^2 = 0.63$).

Ook is er (in ieder geval plaatselijk) sprake van een toename in de dichtheid van het zeegras. Dit wordt ondersteund door het feit dat er in de beginjaren (1997-1998) sprake was van wijdverspreide kleine zeegraspolletjes die zelfs in het veld moeilijk te vinden waren, terwijl RWS-AGI sinds 2003 een groot deel van de zeegrasvegetatie langs de Groninger kust in kaart kan brengen met behulp van luchtfotografie (testfoto 2003 - schaal 1:10.000; kartering in 2004 met luchtfoto's - schaal van 1:2500), omdat thans de bedekking van de vegetatie kennelijk dicht genoeg is.

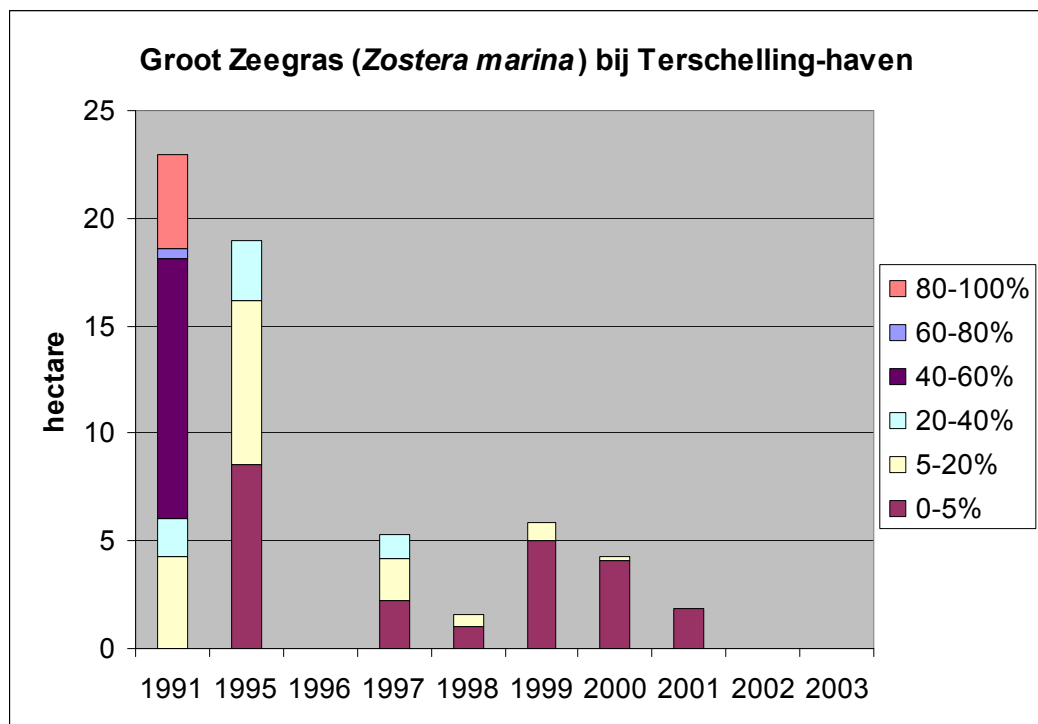
2.3.4 Terschelling - haven

In de havenkom van Terschelling heeft jarenlang een zeegrasveld van Groot Zeegrass (*Zostera marina*) standgehouden. In de loop der jaren is dit veld echter aanzienlijk achteruitgegaan. Van het dichtbegroeide veld van circa 40 ha die er in 1991* werd aangetroffen was er minder dan 0.01 ha over in 1996 (Tabel 2.5 en Figuur 2.7). Hierna is het veld eerst weer wat hersteld tot bijna 6 hectare in 1999, waarna het tenslotte is afgenomen tot minder dan 2 ha in 2001. Sinds 2002 is dit veld niet meer aangetroffen.

* Veldobservaties in 1989-90 van M.M. van Katwijk wekken de indruk dat in die jaren de zeegrasgroei hier beduidend minder was dan in 1991, wat toch wel een uitzonderlijk jaar lijkt te zijn geweest. Volgens Kees Dijkema heeft het Groot Zeegrasveld op deze locatie er (vóór die tijd) jarenlang zeer goed bijgestaan.

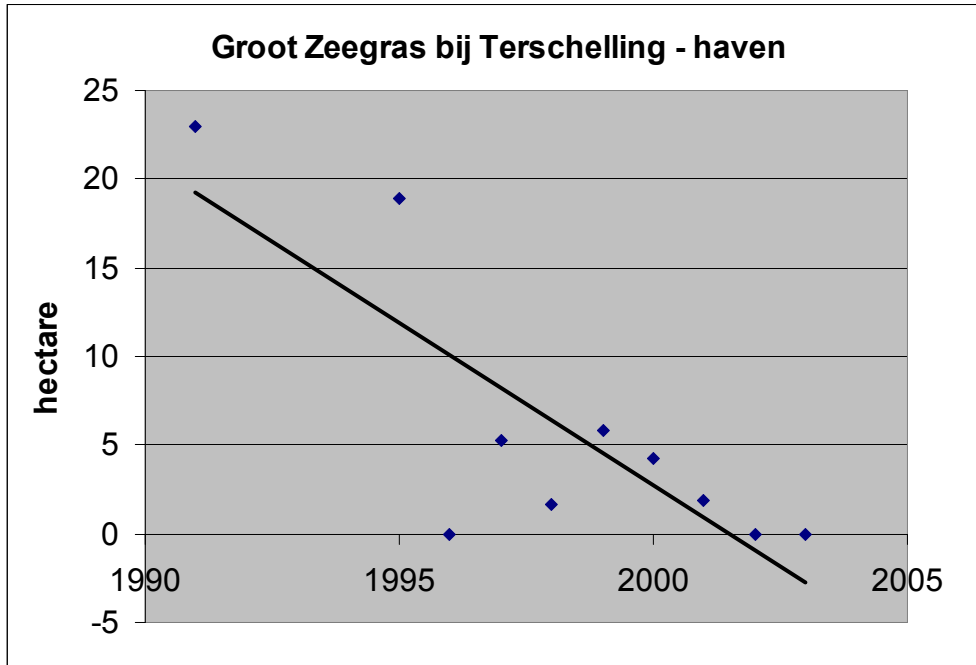
Tabel 2.5 Overzicht van de bedekking (%) en verspreiding (ha) van Groot Zeegras (*Zostera marina*) bij Terschelling – haven voor de periode 1991-2001.

Groot Zeegras (<i>Zostera marina</i>) verspreiding en bedekking bij Terschelling - haven								
Bedekking	1991	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
0-5%	0.0	8.5	0.0	2.3	1.0	5.0	4.1	1.9
5-20%	4.3	7.7	0.0	1.9	0.6	0.8	0.2	0.0
20-40%	1.7	2.7	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0
40-60%	12.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
60-80%	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
80-100%	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Totaal (ha):	23.0	18.9	0.0	5.3	1.6	5.8	4.2	1.9



Figuur 2.7 Ontwikkeling van het zeegrasveld bij Terschelling - haven tussen 1991 en 2003. Totale oppervlakte (in ha) als cumulatief van diverse bedekkings-categorieën (%).

Deze trend van afname in areaal van het Groot Zeegras veld bij Terschelling-haven (Figuur 2.8) is duidelijk significant ($p = 0.0047$).



Figuur 2.8 Trend in ontwikkeling van Groot Zeegras bij Terschelling – haven (regressiecoëfficiënt $r^2 = 0.65$).

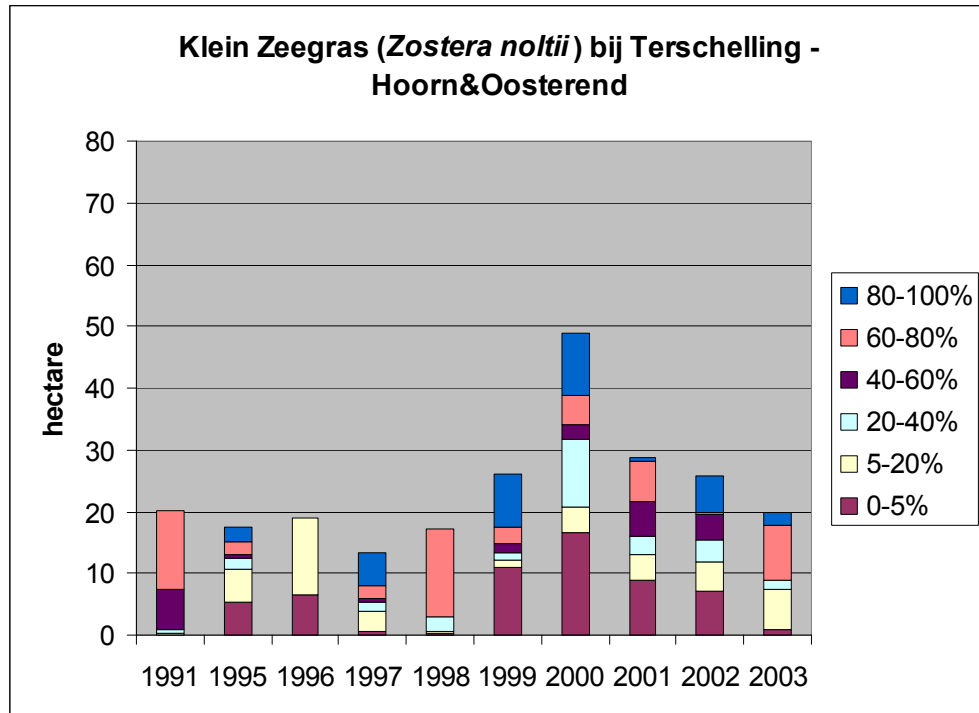
Een analyse van de jaar-tot-jaar verschillen in de zeegrasverspreiding en bedekking bij Terschelling-haven laat duidelijk de sterke achteruitgang zien, met name tussen 1991 en 1995 alsmede tussen 1995 en 1996 (Appendix A2).

2.3.5 Terschelling – Hoorn / Oosterend

Elders op het eiland Terschelling, bij de locaties Hoorn en Oosterend (door AGI aanvankelijk apart gekarteerd (1991-1998), maar vanaf 1999 samen genomen als 1 locatie) heeft zich een zeegrasveld van Klein Zeegras (*Zostera noltii*) gehandhaafd, dat door de jaren heen een gemiddeld areaal bedekt van rond de 20 ha. Sporadisch worden er op deze locatie soms enkele Groot Zeegras (*Zostera marina*) planten of polletjes aangetroffen. In het jaar 2000 breidde dit veld zich tijdelijk uit tot bijna 50 hectare, maar in 2001 en de daarop volgende jaren is het veld weer teruggekeerd naar haar oorspronkelijke areaal van rond de 20 – 30 ha (Tabel 2.6, Figuur 2.9). Dit redelijk stabiele veld is dichter begroeid dan het Klein Zeegras veld langs de Groninger kust.

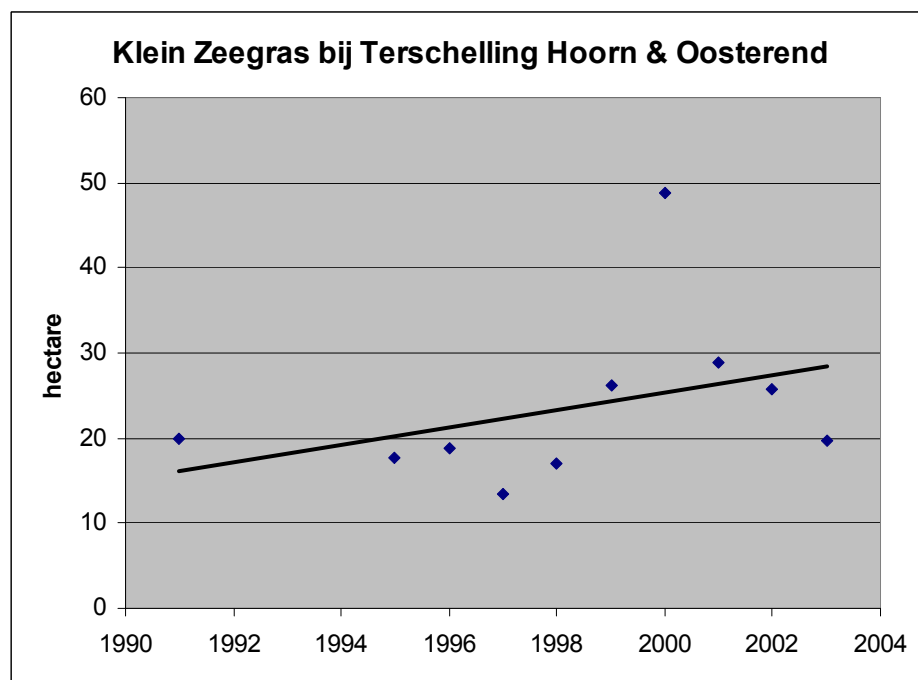
Tabel 2.6 Overzicht van de bedekking (%) en verspreiding (ha) van Klein Zeegras (*Zostera noltii*) bij Terschelling – Hoorn+Oosterend voor de periode 1991-2003.

Klein Zeegras (<i>Zostera noltii</i>) verspreiding en bedekking bij Terschelling - Hoorn + Oosterend										
bedekking	1991	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
0-5%	0.0	5.3	6.5	0.6	0.2	10.9	16.6	9.0	7.0	0.7
5-20%	0.3	5.5	12.3	3.3	0.6	1.1	4.3	4.2	4.7	6.6
20-40%	0.5	1.6	0.0	1.3	2.3	1.2	10.8	2.9	3.7	1.6
40-60%	6.7	0.6	0.0	0.7	0.0	1.7	2.5	5.5	4.2	0.0
60-80%	12.5	2.2	0.0	2.2	14.1	2.7	4.7	6.5	0.2	8.9
80-100%	0.0	2.4	0.0	5.3	0.0	8.6	9.9	0.8	5.9	2.0
Totaal (ha)	20.0	17.6	18.8	13.4	17.1	26.1	48.8	28.8	25.7	19.8



Figuur 2.9 Ontwikkeling van het zeegrasveld bij Terschelling – Hoorn+Oosterend tussen 1991 en 2003. Totale oppervlakte (in ha) als cumulatief van diverse bedekkings-categorieën (%).

Op de lange termijn (1991-2003) is er geen significante trend van toename of afname in deze dataset (Figuur 2.10; $p = 0.29$).



Figuur 2.10 Trend in ontwikkeling van Klein Zeegras bij Terschelling – Hoorn & Oosterend (regressiecoëfficiënt $r^2 = 0.137$).

Een analyse van de jaar-tot-jaar verschillen in de zeegrasverspreiding en bedekking bij Terschelling–Hoorn&Oosterend laat in de meeste gevallen grote schommelingen zien, met name in de ruimtelijke verspreiding van het Klein Zeegras (Appendix A2).

2.3.6 Overige locaties

Ameland: In 2001 werd op Ameland voor het eerst sinds tijden weer Klein Zeegras aangetroffen. Ter hoogte van de Zinkesloot werden twee pollen aangetroffen met een diameter van 0.6 m en 1.5 m, en een gemiddelde bedekking van 60-80%. Na 2001 zijn deze pollen niet meer teruggevonden (Essink et al., 2003).

Schiermonnikoog: Door medewerkers van de Rijksuniversiteit Groningen is in augustus 2000 het voorkomen van minstens 40 pollen Groot Zeegras (Cat.A, diameter 30-40 cm, 20% bedekking) nabij de Jachthaven gerapporteerd (Essink et al., 2003). Ook in mei-juni en december 2001 werden deze pollen opnieuw aangetroffen. In september 2002 trof the Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat (AGI) alleen vlak bij de jachthavendam nog 30-40 verspreid liggende pollen Groot Zeegras, die er vitaal uitzagen (Groeneweg, 2002). In 2003 werden hier nog slechts 3 kleine pollen Groot Zeegras waargenomen (A. Groeneweg, pers. comm.). In 2003 werd bovendien door Gerard Mast gemeld (Zeegrasmeldpunt) dat er op Schiermonnikoog locaties met Klein Zeegras te vinden zijn tussen de veerdam en de jachthaven.

Rottumeroog: Losse waarnemingen in 2000 – 2001 – 2002 en 2003 van Groot en Klein Zeegras. Door de vogelwachters van Staatsbosbeheer, Anneke Bouwman en Dries Olsthoorn, zijn in de jaren 2000 – 2002 groeiplekken van Groot Zeegras waargenomen ten zuiden van het eiland Rottumeroog. Door geen van de vogelwachters werd in eerdere jaren (1985-1999) melding gemaakt van voorkomen van zeegras. In 2000 werden ten zuiden van Rottumeroog enkele kleine groeiplekken van Groot Zeegras gevonden. Later in het seizoen werden ze echter niet teruggevonden. In 2001 werd op een tiental plaatsen, waarvan enkele grotere, Groot zeegras waargenomen ten zuiden van Rottumeroog. In 2002 werd weer Groot zeegras aangetroffen, en wel op 4 locaties ten zuiden van Rottumeroog.

Griend: Oostelijk van Griend werden in 2001 en 2002 kleine veldjes (ca. 1 m²) Klein Zeegras aangetroffen (melding Dhr. C. Kraan, en pers. comm. Art Groeneweg), maar deze zijn daarna niet meer aangetroffen. In augustus 2003 werden tijdens benthosbemonsteringen enkele losse planten (Groot Zeegras?) aangetroffen aan de noordkant van de Ballast Plaat (melding Dhr. C. Kraan).

Balgzand: Recentelijk zijn er op het Balgzand in december 1998, voorjaar 2003 en 2004 zeegrasplanten en/of -zaden (*Zostera marina*) aangeplant (afkomstig van de Hond-Paap), waarvan een beperkt (en wisselend) aantal planten op het Balgzand in het voorjaar van de daaropvolgende jaren zijn teruggevonden. Daarnaast zijn er op het Balgzand in geringe mate wijdverspreide pollen en individuele planten Klein Zeegras (*Zostera noltii*) aangetroffen (kwantitatieve gegevens beschikbaar van 2002 en 2004), vermoedelijk afkomstig van een aanplant uit 1993 (Hermus, 1995). Op het Balgzand heeft zich bovendien in recente jaren een uitgestrekt veld van *Ruppia maritima* gevestigd, een plantesoort die meestal niet als zeegras wordt beschouwd, maar wel als zodanig is opgenomen in de recente 'World Atlas of Seagrasses' (Green & Short, 2003). Deze *Ruppia* velden op het Balgzand besloegen een

totale oppervlakte van ca. 225 ha in 2002 en 264 ha in 2004 (Groeneweg, 2004). De *Ruppia* velden hadden een gemiddelde bedekking van < 1% (lokaal tot maximaal 20%).

Een overzicht van recente meldingen (2003-04) van additionele zeegrasgroeilokaties is weergegeven in Appendix 3 (met dank aan A.H. Groeneweg).

2.3.7 Nederlandse Waddenzee (als geheel beschouwd)

Als alle zeegraskarteringsgegevens van beide soorten voor alle locaties in de Nederlandse Waddenzee bij elkaar opgeteld worden (Tabel 2.7), ontstaat het beeld van een toename in zeegrasareaal (Figuur 2.11). Er zou dus de voorzichtige conclusie kunnen worden getrokken dat er (over het geheel gesproken) sprake is van een geleidelijk herstel van zeegrasvelden in de Nederlandse Waddenzee. Dit lijkt echter voornamelijk veroorzaakt te worden door de toename in areaal van het zeegrasveld op de Hond-Paap (zie Tabel 2.8 en Figuur 2.12), dat de laatste jaren gemiddeld ca.70% van de totale zeegrasoppervlakte in de Nederlandse Waddenzee voor haar rekening neemt.

Tabel 2.7

Overzicht van de bedekking (%) en verspreiding (ha) van (Groot + Klein) zeegras in de Nederlandse Waddenzee voor de periode 1998-2003. (1998: Hond-Paap geschat dmv interpolatie van karteringsgegevens 1997 en 1999; 1988, 1994, 1995 en 1997: onvolledige karteringen)

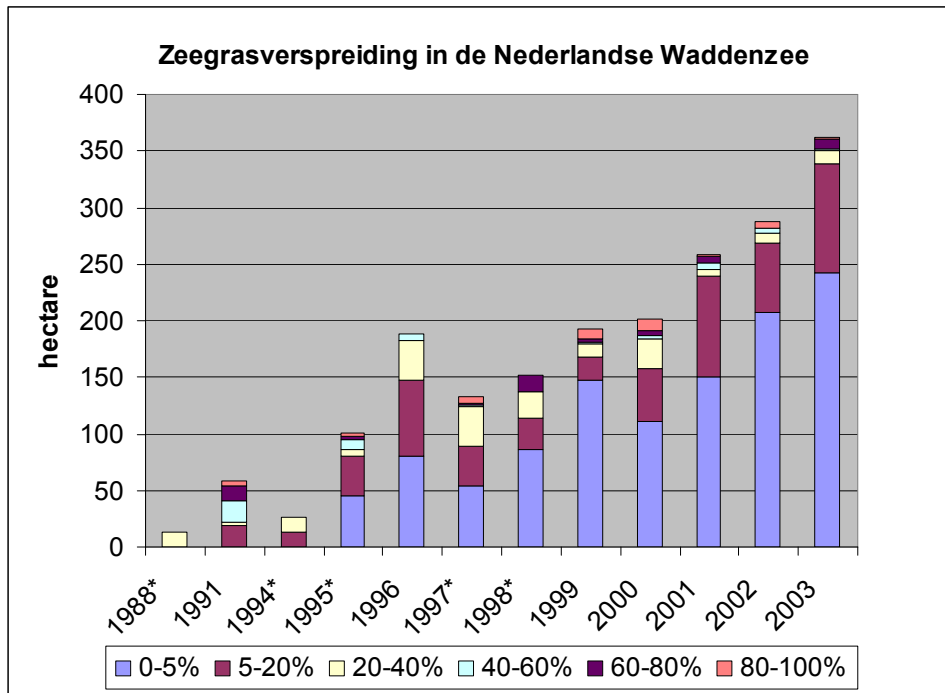
Overzicht zeegrasverspreiding en -bedekking voor de gehele Nederlandse Waddenzee												
Bedekking	1988*	1991	1994*	1995*	1996	1997*	1998*	1999	2000	2001	2002	2003
0-5%	0	0.0	0.0	45.3	80.8	53.7	85.5	148.2	110.7	150.4	207.4	242.9
5-20%	0	19.6	13.6	34.4	66.7	35.8	28.9	20.1	47.0	89.0	61.3	96.4
20-40%	13	2.2	13.1	5.8	35.4	34.9	23.5	11.2	26.0	6.1	8.6	11.7
40-60%	0	19.4	0.0	9.9	5.3	0.7	0.0	1.7	2.5	5.5	4.2	0.1
60-80%	0	13.0	0.0	2.2	0.0	2.2	14.1	2.7	4.7	6.5	0.2	8.9
80-100%	0	4.4	0.0	2.4	0.0	5.3	0.0	8.6	9.9	0.8	5.9	2.0
Totaal (ha):	13.0	58.6	26.7	100.1	188.1	132.6	152.0	192.3	200.8	258.3	287.5	362.0

Het totale zeegrasareaal in de Nederlandse Waddenzee is toegenomen van ca. 13 hectare in 1988 tot meer dan 360 hectare in 2003. Deze toename is duidelijk significant ($p = 0.000028$). Er moet hierbij wel vermeld worden dat het hier gaat om over het algemeen vrij dunbegroeide zeegrasvegetaties met een gemiddelde bedekking van minder dan 20%. Er lijkt voorsnog geen evidente toename op te treden in de **dichtheid** van de zeegrasvegetatie op de diverse locaties, met uitzondering van sommige locaties van begroeiingen van Klein Zeegras langs de Groninger kust.

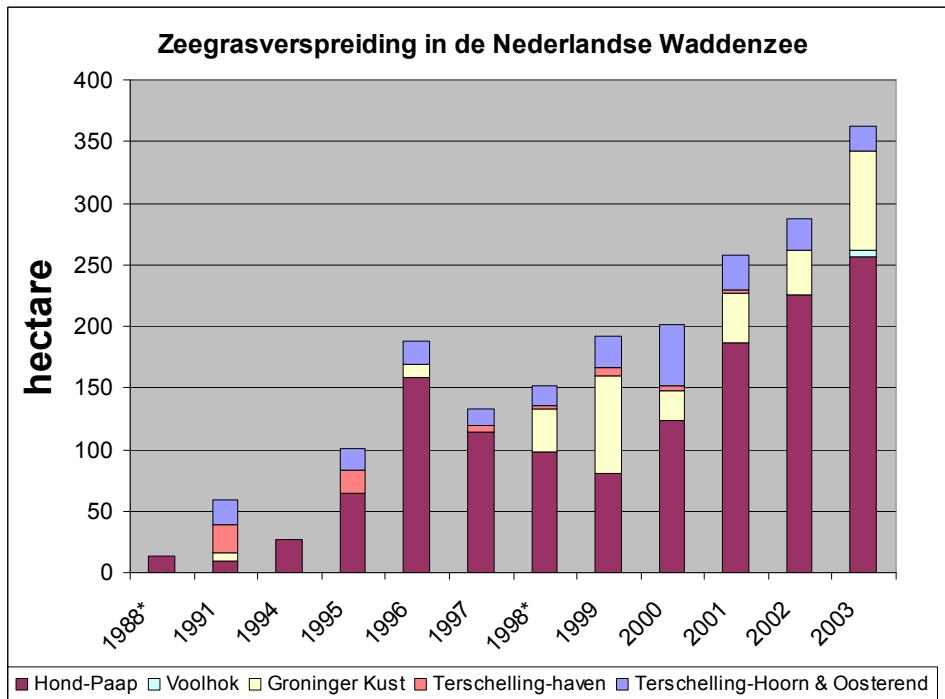
Tabel 2.8

Overzicht van de verspreiding (ha) van (Groot + Klein) zeegras op diverse locaties in de Nederlandse Waddenzee voor de periode 1998-2003. (1998: Hond-Paap geschat dmv interpolatie van karteringsgegevens 1997 en 1999)

Overzicht zeegrasverspreiding op diverse locaties in de Nederlandse Waddenzee												
Lokaties	1988*	1991	1994	1995	1996	1997	1998*	1999	2000	2001	2002	2003
Hond-Paap	13.0	10.0	27.0	64.0	159.0	114.0	97.5	81.0	124.0	187.0	226.0	256.0
Voolhok												6.3
Groninger Kust		5.9			9.8		35.9	79.4	23.7	40.3	35.7	80.0
Terschelling-haven		23.0		18.9	0.0	5.3	1.6	5.8	4.2	1.9	0.0	0.0
Terschelling-Hoorn & Oosterend		20.0		17.6	18.8	13.4	17.1	26.1	48.8	28.8	25.7	19.8
Totaal (ha):	13.0	58.9	27.0	100.5	187.6	132.7	152.1	192.3	200.7	258.0	287.4	362.1



Figuur 2.11 Ontwikkeling van zeegrasareaal en -bedekking (Groot + Klein Zeegras) in de totale Nederlandse Waddenzee (1988 en 1994 en 1997: onvolledige karteringen; 1998: Hond-Paap geïntrapoleerd van karteringgegevens uit 1997 en 1999)



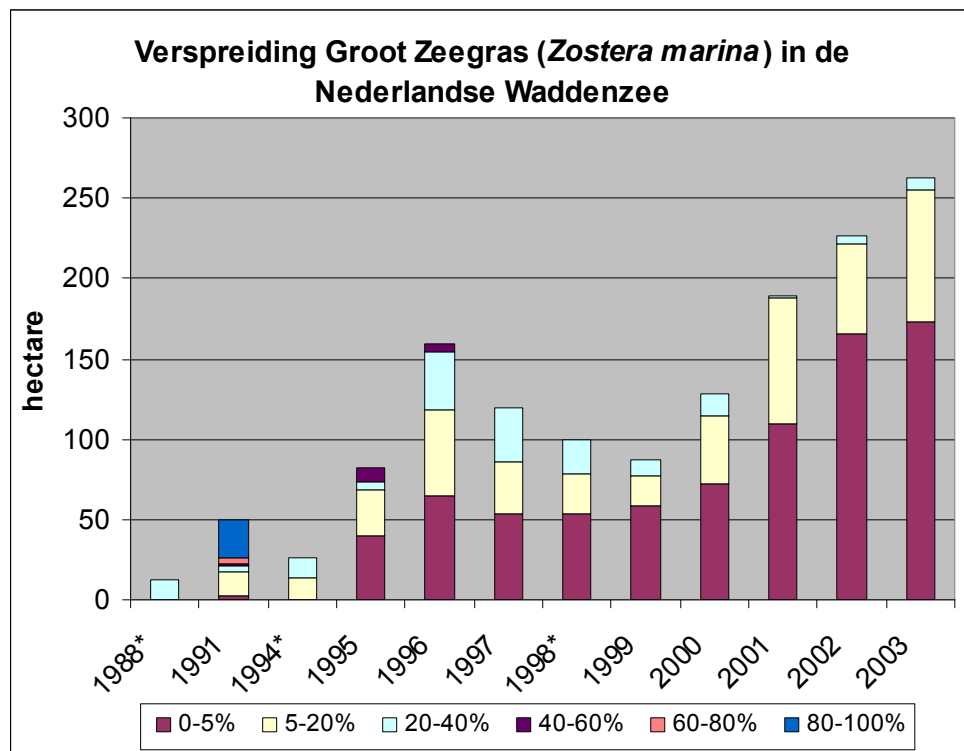
Figuur 2.12 Ontwikkeling van zeegrasareaal (Groot + Klein Zeegras) in de Nederlandse Waddenzee (diverse locaties cumulatief) (1988 en 1994 en 1997: onvolledige karteringen; 1998: Hond-Paap geïntrapoleerd van karteringgegevens uit 1997 en 1999)

De toename in areaal geldt zowel voor Groot Zeegras *Zostera marina* (Tabel 2.9; Figuur 2.13) als voor Klein Zeegras *Zostera noltii* (Tabel 2.10; Figuur 2.14) en deze trend is voor beide soorten significant (Figuur 2.15 en 2.16).

Tabel 2.9

Overzicht van de bedekking (%) en verspreiding (ha) van Groot Zeegras (*Zostera marina*) in de Nederlandse Waddenzee voor de periode 1988-2003. (1998: Hond-Paap arealen geschat dmv interpolatie van karteringsgegevens 1997 en 1999; 1988 en 1994: onvolledige karteringen)

Bedekking (ha) van Groot Zeegras (<i>Zostera marina</i>) in de Nederlandse Waddenzee												
Bedekking	1988*	1991	1994*	1995	1996	1997	1998*	1999	2000	2001	2002	2003
0-5%	0.0	3.0	0.0	40.0	64.4	53.1	53.2	58.4	72.2	109.8	165.9	173.3
5-20%	0.0	14.2	13.6	28.9	54.4	32.5	24.7	18.5	42.7	78.7	56.2	82.0
20-40%	13.0	3.9	13.1	4.3	35.4	33.6	21.2	10.0	13.5	0.7	4.0	7.1
40-60%	0.0	1.8	0.0	9.3	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
60-80%	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
80-100%	0.0	23.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Totaal (ha):	13.0	49.3	26.7	82.5	159.4	119.2	99.1	86.8	128.3	189.2	226.1	262.4

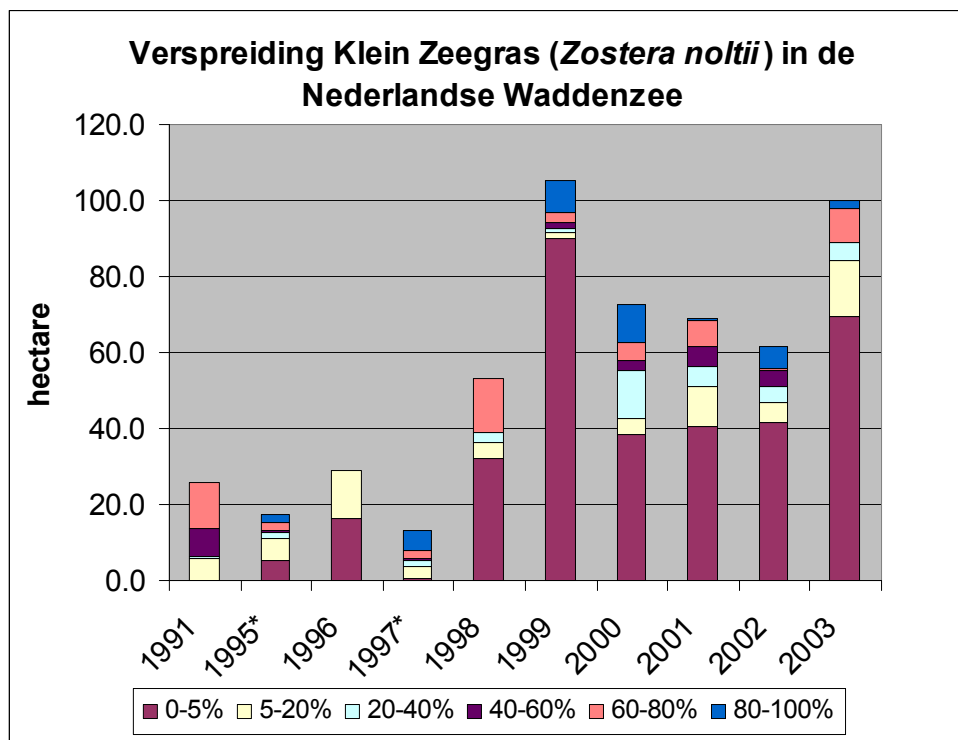


Figuur 2.13 Ontwikkeling van areaal aan Groot Zeegras (*Zostera marina*) in de Nederlandse Waddenzee voor de periode 1988-2003 (1998: Hond-Paap arealen geschat dmv interpolatie van karteringsgegevens 1997 en 1999; 1988 en 1994: onvolledige karteringen)

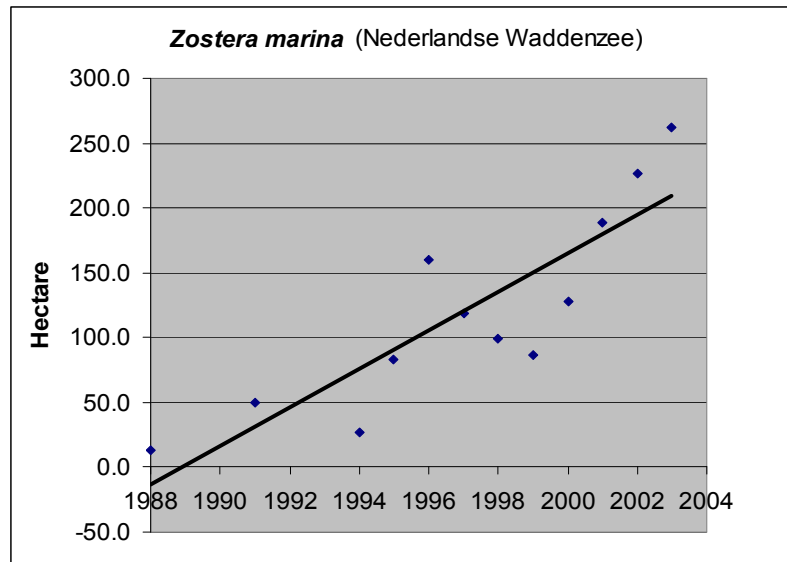
Tabel 2.9

Overzicht van de bedekking (%) en verspreiding (ha) van Klein Zeegras (*Zostera noltii*) in de Nederlandse Waddenzee voor de periode 1991-2003 (geen data voor 1988 en 1994; onvolledige karteringen in 1995 en 1997)

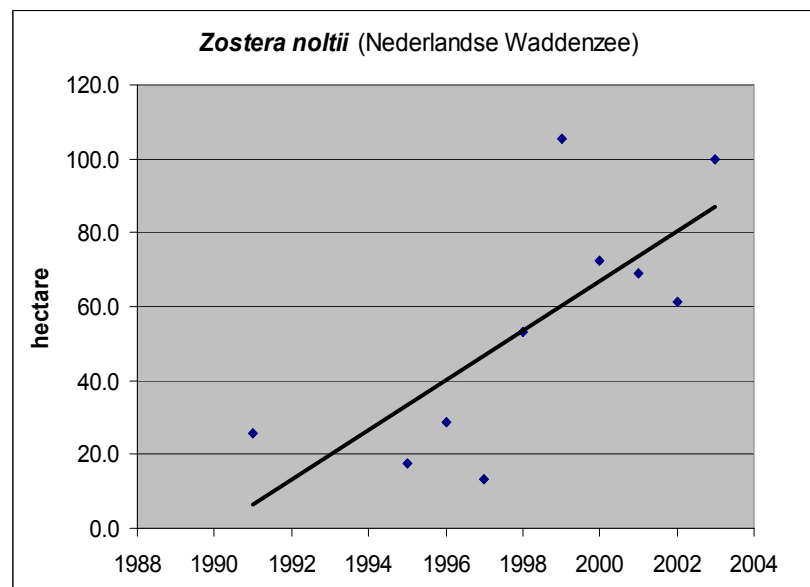
Bedekking (ha) van Klein Zeegras (<i>Zostera noltii</i>) in de Nederlandse Waddenzee										
Bedekking	1991	1995*	1996	1997*	1998	1999	2000	2001	2002	2003
0-5%	0.0	5.3	16.4	0.6	32.3	89.8	38.5	40.7	41.5	69.7
5-20%	5.7	5.5	12.3	3.3	4.3	1.6	4.4	10.3	5.1	14.5
20-40%	0.5	1.6	0.0	1.3	2.3	1.2	12.6	5.3	4.5	4.6
40-60%	7.3	0.6	0.0	0.7	0.0	1.7	2.5	5.5	4.2	0.1
60-80%	12.5	2.2	0.0	2.2	14.1	2.7	4.7	6.5	0.2	8.9
80-100%	0.0	2.4	0.0	5.3	0.0	8.6	9.9	0.8	5.9	2.0
Totaal (ha):	25.9	17.6	28.7	13.4	53.0	105.5	72.5	69.1	61.4	99.8



Figuur 2.16 Ontwikkeling van areaal aan Klein Zeegras (*Zostera noltii*) in de Nederlandse Waddenzee voor de periode 1991-2003 (geen data voor 1988 en 1994; onvolledige karteringen in 1995 en 1997)



Figuur 2.15 Trend in het totale areaal van Groot Zeegras (*Zostera marina*) in de Nederlandse Waddenzee (regressiecoëfficiënt $r^2 = 0.74$; trend is significant: $p = 0.000307$)

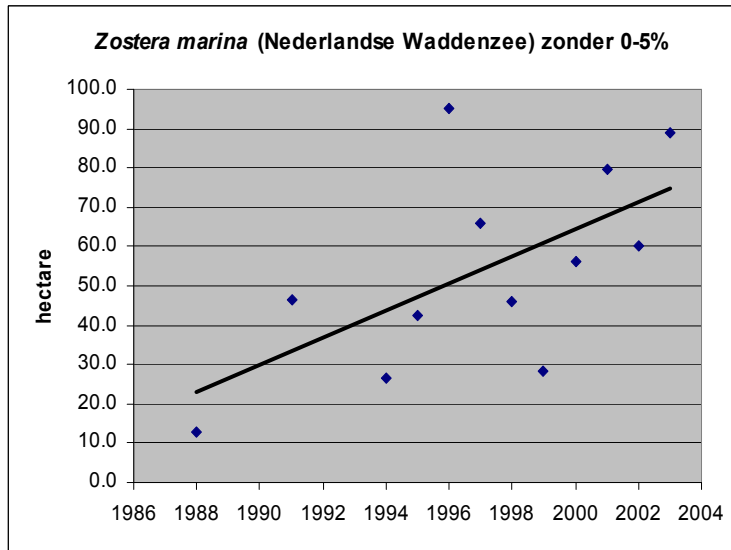


Figuur 2.16 Trend in het totale areaal van Klein Zeegras (*Zostera noltii*) in de Nederlandse Waddenzee (regressiecoëfficiënt $r^2 = 0.54$; trend is significant: $p = 0.0154$)

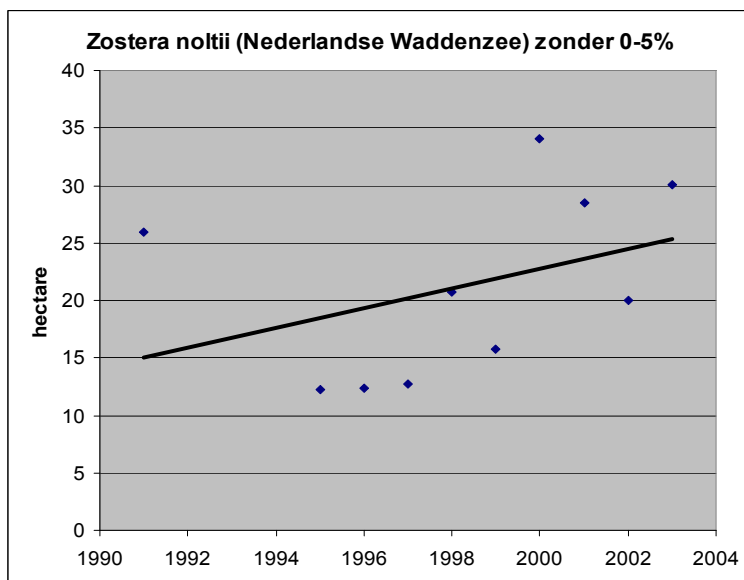
Arealen met een bedekking van 0-5% zijn in principe het minst betrouwbaar in kaart te brengen, maar dragen in aanzienlijke mate bij tot de totaalresultaten. In het beleid t.a.v. zeegrasvraagstukken wordt vaak ‘5% bedekking’ als ondergrens voor ‘zeegrasvelden’ gehanteerd. De arealen met een bedekking groter dan 5% zijn betrouwbaarder te omgrenzen dan <5% tijdens luchtfotoïnterpretatie alsmede in het veld, zijn minder afhankelijk van de ‘grillen’ van de karteerder en geven een stabiel beeld (Dick de Jong, pers. comm.).

Om te voorkomen dat de eindresultaten van de trendanalyse al te zeer worden beïnvloed door de arealen met 0-5% bedekking, zijn de trends in de totale arealen van Groot Zeegras

(*Z. marina*) en Klein Zeegras (*Z. noltii*) nogmaals opnieuw geanalyseerd, waarbij de onderste bedekkingscategorie (0-5%) buiten beschouwing is gelaten. De resultaten hiervan zijn weergegeven in de Figuur 2.17 en Figuur 2.18. Opnieuw is een toename te zien in het areaal zeegras voor beide soorten over de jaren.



Figuur 2.17 Trend in het totale areaal van Groot Zeegras (*Zostera marina*) in de Nederlandse Waddenzee [zonder 0-5% bedekking] (regressiecoëfficiënt $r^2 = 0.38$; trend is significant: $p = 0.034$)



Figuur 2.18 Trend in het totale areaal van Klein Zeegras (*Zostera noltii*) in de Nederlandse Waddenzee [zonder 0-5% bedekking] (regressiecoëfficiënt $r^2 = 0.15$; trend niet significant: $p = 0.268$)

Statistische analyse van deze data geeft aan dat deze trend wel duidelijk significant ($p = 0.034$) is voor Groot Zeegras (*Z. marina*) maar niet significant ($p = 0.268$) voor Klein Zeegras (*Z. noltii*). Indien de data uit 1991 niet worden meegenomen in de analyse, is de toenemende trend ook voor Klein Zeegras significant ($p = 0.017$).

2.4 ‘Schijn’dynamiek ten gevolge onzekerheden en variatie in karteringsmethode en seizoenseffecten

Alvorens over te gaan tot een analyse van mogelijke verklaringen voor de waargenomen trends, zal er allereerst goed moeten worden gekeken naar de vraag in hoeverre de dynamiek (pieken en dalen in de diverse staafdiagrammen) wellicht mede veroorzaakt worden door onzekerheid of variatie in de gebruikte karteringsmethodiek, door onvolledigheid van de datasets of door seizoenseffecten.

Ten eerste is er sprake van onzekerheid in de karteringsdata omdat de timing (datum) van de luchtfoto's en het veldwerk aanzienlijk verschilt van jaar tot jaar (zie Tabel 2.9). De timing van de luchtfoto's varieert van 28 Juli tot 29 September. De timing van het veldwerk varieert van 1 Aug. - 25 Sep. Voor beide geldt dus een maximale spreiding van ca. 2 maanden.

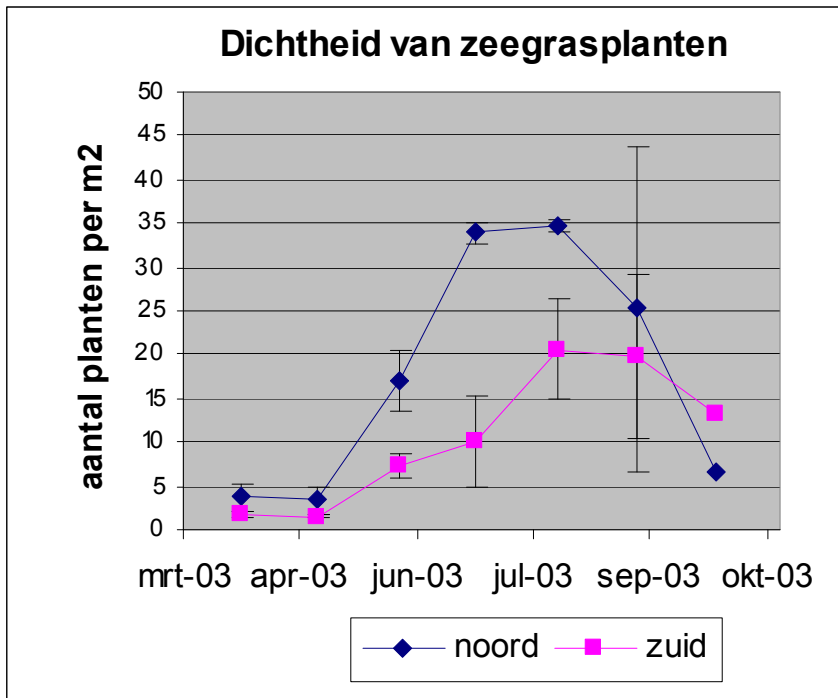
Tabel 2.9 Overzicht van de timing (datum) van de luchtfoto's en veldwerk voor zeegraskarteringen in de Nederlandse Waddenzee

	luchtfoto's Hond-Paap (+Voolhok 2003)	luchtfoto's Groninger kust	luchtfoto's Terschelling	veldwerk Hond-Paap	veldwerk Groninger kust	veldwerk Terschelling
1988	geen	geen	geen			
1991	geen	geen		(sep)	(sep)	
1994	geen	geen	geen	16 aug	15 aug	
1995	2 aug	geen	2 aug	31 aug	1 sep	29 aug - 1 sep
1996	20 aug	geen	geen	25 sep	totaalbeeld Wim Visser	9-13 sep
1997	13 aug	geen	13 aug	12 sep	11 sep	2-16 sep
1998	geen	geen	geen	geen	17-20 en 25-26 aug	17-21 sep
1999	28 jul	geen	30 jun	19 aug	16-20 en 23-25 aug	25-26-27 aug
2000	26 aug	geen	26 aug	22 aug	1-3 en 21-25 en 30 aug	4-8 aug
2001	29 sep	geen	29 sep	29 aug	28 en 30-31 aug + 4-7 en 18-20 sep	9-12 en 20-21 sep
2002	17 aug	geen	17 aug	12 sep	2-11 en 13 en 18-20 sep	17-20 sep
2003	5 aug	5 aug	5 aug	3 sep	18-26 aug + 1-2 en 4 sep	27-29 aug

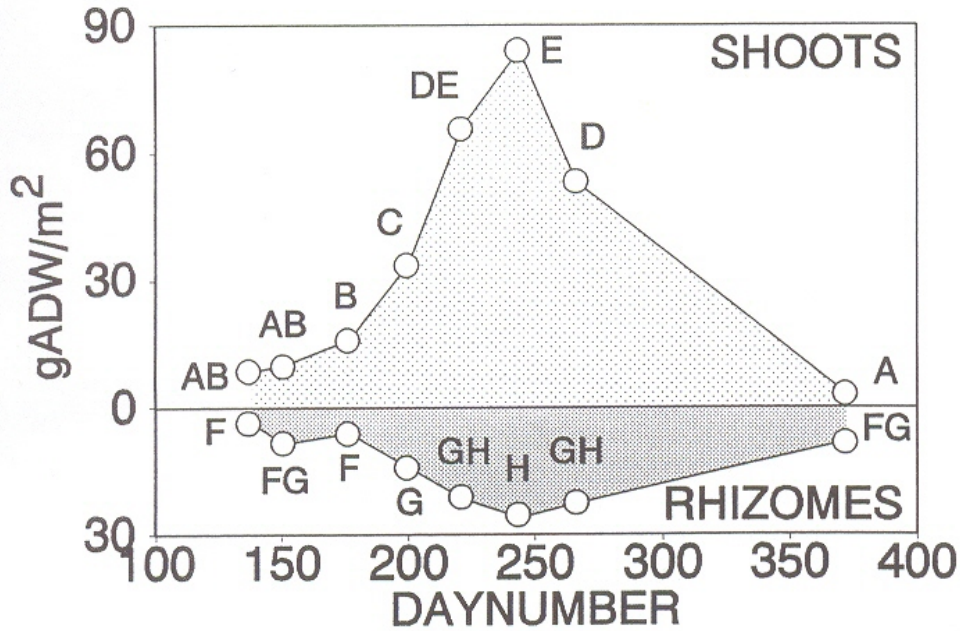
Het effect van een dergelijke spreiding op het uiteindelijke resultaat van de kartering kan aanzienlijk zijn, vanwege het verloop in de zeegrasbedekking gedurende het groeiseizoen. Figuur 2.19 toont de seizoensgebonden ontwikkeling van Groot Zeegras (*Zostera marina*) op twee sub-locaties (noord en zuid) op de Hond-Paap tijdens 2003 (Erftemeijer & Wijsman, 2004). Deze velddata uit 2003 geven aan dat een verschil van twee maanden (in de periode juli-oktober) in het tijdstip van bemonstering een maximaal verschil in zeegrasscheutendichtheid geeft van circa 20 (zuid) tot 35% (noord).

Ook voor Klein Zeegras (*Zostera noltii*) is in de Nederlandse Waddenzee (Terschelling*) een vergelijkbare seizoensdynamiek beschreven (Philippart, 1994). Figuur 2.20 (uit Philippart, 1994) laat zien dat een verschil van twee maanden (60 dagen) in de timing van bemonstering kan leiden tot een maximaal verschil in bovengrondse zeegrasbiomassa van circa 55%.

* Op de locatie Terschelling-haven verdween het zeegras volgens M.M. van Katwijk mozaiksgewijs vanaf begin september en was normaal gesproken half september geheel verdwenen.



Figuur 2.19 Seizoensverloop van plantendichtheid van Groot Zeegras (*Zostera marina*) op twee sub-locaties (noord en zuid) op de Hond-Paap in 2003 (uit Erfemeijer & Wijsman, 2004).



Figuur 2.20 Seizoensverloop van bovengrondse (shoots) en ondergrondse (rhizomes) biomassa van Klein Zeegras (*Zostera noltii*) op Terschelling (uit Philippart, 1994)

Op eenzelfde manier kan er dus een maximaal verschil ontstaan van ongeveer 20-35% (scheutendichtheid Groot Zeegras) of zelfs 55% (biomassa Klein Zeegras) tussen twee opeenvolgende jaren wanneer de luchtfotografie en/of het veldwerk in het ene jaar twee maanden eerder of later is uitgevoerd dan in het andere jaar. Dit betreft welliswaar in eerste instantie de bedekking (of biomassa) van de zeegrasvegetatie, maar indirect zal dit ook een significante invloed hebben op de schatting van het areaal, aangezien gebieden met een zeer geringe bedekking (minder dan 1%) niet zichtbaar zijn op de luchtfoto's (en ook in het veld gemakkelijk kunnen worden gemist). Dit is met name een probleem bij het definiëren van de randen van zeegrasvelden, of bij vegetaties die überhaupt spaars tot zeer spaars begroeid zijn, zoals langs de Groninger kust (zeker in de vroegere jaren).

Op deze wijze kan er dus een aanzienlijke onzekerheidsmarge en jaar-tot-jaar variatie ontstaan in de resultaten van de karteringen. Dit moet in het achterhoofd worden gehouden bij jaar-tot-jaar vergelijkingen en analyses van korte-termijn dynamiek. Overigens is de precieze timing van de piek in zeegrasontwikkeling waarschijnlijk niet ieder jaar precies gelijk, als gevolg van variabele weersomstandigheden (Dick de Jong, pers. comm.). Dit compliceert het effect van de timing van luchtfotografie en veldwerk, en is op zichzelf waarschijnlijk ook nog eens verantwoordelijk voor een verdere onzekerheidsmarge.

De jaar-tot-jaar verschillen in karteringsresultaten worden dus voor een deel veroorzaakt doordat niet precies is gekarteerd tijdens de piek (maximale ontwikkeling) in bedekking en verspreiding van de zeegrasvegetatie. Dit komt deels doordat het karteringswerk niet ieder jaar op eenzelfde tijdstip is uitgevoerd, en deels omdat de timing van die piek van jaar tot jaar verschilt (door weersinvloeden).

Ten tweede is er sprake van inconsistentie/variatie in de gebruikte methodiek. Dit is met name het geval bij de veldkarteringen langs de Groninger kust, waar niet ieder jaar met evenveel (en niet dezelfde) mensen in het veld is gewerkt. Ook is hier niet ieder jaar met eenzelfde consistentie het gehele gebied in het veld afgelopen. Dit is overigens begrijpelijk in verband met de logistieke moeilijkheden bij dit werk en de grootte van het te karteren gebied. In sommige jaren moest door slecht weer, moeheid of opkomend tij het veldwerk voortijdig worden gestaakt.

Aangezien de zeegrasvegetatie langs de Groninger Kust in de loop der jaren steeds dichter begroeid is geraakt, is er door het karteringsteam van RWS-AGI sinds 1999 overgegaan tot het omzetten van clusters van opnamepunten (pollen) in (dunbegroeide) velden (eerst handmatig in GIS op het kantoor, later ook in het veld). De scheidslijn tussen losse pollen en dunbegroeide velden is arbitrair. Deze omslag in methodiek draagt voor een deel bij aan de schijnbaar waargenomen dynamiek in de data van de Groninger kust, en maakt vergelijking tussen de data van voor 1999 en data vanaf 1999 eigenlijk niet goed mogelijk. In 2003 is deze vegetatie voor het eerst in kaart gebracht door middel van luchtfotografie plus veldwerk (net als de Hond-Paap en Terschelling). Plaatselijk is de vegetatie inmiddels zo dichtbegroeid geworden dat er op de foto's voldoende reflectie te zien is om een luchtfotoïnterpretatie mogelijk te maken (NB: Klein Zeegras is minder gemakkelijk op luchtfoto's te zien dan Groot Zeegras). Zo zijn er in 2003 en 2004 testen uitgevoerd met luchtfoto's. De test in 2004, die op fotoschaal 1:2500 werd uitgevoerd, is geslaagd en zal vanaf 2005 worden toegepast op een gebied van 9 kweldervlakken nabij het gasstation (pers. comm., A.G. Groeneweg).

Ook de karteringen van het zeegrasveld op de Hond-Paap in 1988 en 1991 zijn op een geheel andere wijze uitgevoerd (ruwe schatting – snorkelend in 1988; alleen veldwerk per boot in 1991) dan de MWTL karteringen sinds 1994 (luchtfoto's plus veldwerk volgens standaardmethodiek).

2.5 Conclusies aangaande de trends in zeegrasontwikkeling

De trendanalyse van karteringsgegevens van zeegrassen in de Nederlandse Waddenzee over de periode 1988-2003 toont zowel korte-termijn dynamiek als lange-termijn trends. De korte-termijn dynamiek verschilt sterk tussen Groot en Klein Zeegras en tussen verschillende locaties in de Waddenzee. Op grond van een diepgaandere analyse van de gebruikte methodiek is gebleken dat een groot deel van deze korte-termijn dynamiek waarschijnlijk kan worden toegeschreven aan onzekerheid en/of variatie in de gebruikte karteringsmethodiek en seizoenseffecten.

De langere termijn dynamiek tijdens de onderzoeksperiode (1988-2003) toont een gestage toename in de ruimtelijke verspreiding van zeegrassen (zowel Groot als Klein Zeegras) in de Nederlandse Waddenzee, met uitzondering van één locatie (Terschelling-haven) waar een populatie Groot Zeegras sterk is achteruitgegaan en tenslotte geheel is verdwenen.

Het totale areaal van zeegras in de Nederlandse Waddenzee (Groot + Klein Zeegras samen) is toegenomen van 13 ha in 1988 tot ruim 360 ha in 2003. Het betreft hier in 2003 in totaal ca. 100 ha Klein Zeegras *Zostera noltii* (waarvan 30 ha met bedekking >5%) en ca. 260 ha Groot Zeegras *Zostera marina* (waarvan 89 ha met bedekking >5%). Beide soorten zijn in hun huidige verspreiding beperkt tot intergetijdegebieden. Daarnaast is er recentelijk op het Balgzand een uitgebreid (maar dunbegroeid) *Ruppia maritima* veld ontstaan van ca. 264 ha (data 2004).

Op grond van deze bevindingen is de verdere analyse van mogelijke verklaringen voor de trends in deze studie beperkt tot:

- [1] afname en verdwijning van Groot Zeegras populatie bij Terschelling-haven;
- [2] algehele toename van zowel Groot als Klein Zeegras op de overige locaties.

3 Mogelijke verklaringen voor de trends

3.1 Inleiding

Volgens een recent literatuuronderzoek naar wereldwijde achteruitgang van zeegrassen werd in de periode van 1970-1982 ongeveer 50% van de achteruitgang veroorzaakt door natuurlijke factoren zoals orkanen, kusterosie, begrazing en ziekten, terwijl de overige 50% kon worden toegeschreven aan menselijke activiteiten, zoals baggeren, olielozingen en verslechtering van waterkwaliteit (Short & Wyllie-Escheverria, 1996). In de daaropvolgende periode van 1983-1994 was de bijdrage van menselijke activiteiten aan de verdere achteruitgang van zeegrassen toegenomen tot 75%, met verhoogde turbiditeit als belangrijkste oorzaak voor de achteruitgang wereldwijd (Short & Wyllie-Escheverria, 1996).

Over de achteruitgang van zeegrassen in de Nederlandse Waddenzee zijn in de loop der jaren diverse publicaties verschenen. Den Hartog & Polderman (1975) en Polderman & Den Hartog (1975) publiceerden een overzicht van de veranderingen in zeegrasverspreiding in de Nederlandse Waddenzee tussen 1869 en 1975. De relatie tussen achteruitgang van Groot Zeegras met 'wasting disease' en de toegenomen turbiditeit vormde het onderwerp van studies door Giesen (1990) en Giesen et al. (1990). Achteruitgang in de verspreiding van Klein Zeegras in de Nederlandse Waddenzee ten gevolge van eutrofiëring vormde het onderwerp van het promotieonderzoek van Katja Philippart (Philippart, 1994). Bionda Morelissen beschrijft in haar afstudeerscriptie de resultaten van haar onderzoek naar de mogelijke invloed van verschillende milieufactoren op de ontwikkelingen in zeegrasareaal in de Nederlandse Waddenzee tussen 1990 en 2001 (Morelissen, 2002).

Verder zijn er diverse studies en publikaties geweest over de achteruitgang en ontwikkeling van zeegrassen in de Zeeuwse Delta (De Jong & Meulstee, 1989; Nienhuis et al., 1996) alsmede enkele verkennende studies door de Universiteit van Nijmegen voorafgaand aan een zeegrasrestauratieprogramma in de Waddenzee (reviews in Van Katwijk et al., 2002 en Van Katwijk, 2003; Van Katwijk & Wijgengangs, 2004). Ook is er een ecologisch profiel van zeegras beschikbaar (Wijgengangs & de Jong, 1999), gebaseerd op uitvoerig literatuuronderzoek. In 2003 is er bovendien in het kader van het EVA-II onderzoek een studie verricht naar de invloed van mechanische kokkelvisserij op de ontwikkeling van zeegras in de Nederlandse Waddenzee (Essink et al., 2003). Tenslotte heeft RIKZ recentelijk een zeegraskansenkaart (in GIS) vervaardigd op basis van een aantal milieufactoren die de habitatgeschiktheid voor zeegras bepalen (De Jong, 2004; De Jong et al., 2005).

Al deze rapporten en publikaties (aangevuld met informatie uit de internationale wetenschappelijke literatuur) vormden een relevante bron van inspiratie voor de huidige studie bij het onderzoeken van mogelijke factoren die verantwoordelijk zouden kunnen zijn voor de waargenomen trends in zeegrasontwikkeling in de Nederlandse Waddenzee tussen 1988 en 2003. Tenslotte zijn deze bevindingen vergeleken met trends in zeegrasverspreiding in de Duitse en Deense Waddenzee.

3.2 Overzicht van mogelijk sturende factoren

Op basis van de beschikbare (relevante) literatuur, kunnen de volgende milieufactoren en menselijke activiteiten worden beschouwd als mogelijk sturende factoren op het areaal en de bedekking van zeegrassen in de Nederlandse Waddenzee:

diepte / droogvalduur

Zeegrassen moeten in ieder geval op zijn minst bij ieder getij worden overspoeld om uitdroging te voorkomen; dit bepaald de bovengrens tot waar ze kunnen voorkomen. Groot zeegras kan slecht tegen uitdroging en groeit daarom in de getijdenzone met name in kleine depressies waar bij laagwater een dun laagje water achterblijft. Klein zeegras kan juist vrij goed tegen enige uitdroging, en moet eigenlijk bij laagwater echt droogvallen. Daarom groeien de planten juist graag op kleine verhogingen op het slik. De ondergrens van de verspreiding van zeegrassen wordt hoofdzakelijk bepaald door de helderheid van het water, omdat de planten licht nodig hebben voor groei en overleving. Omdat de getijamplitude in de Waddenzee van west naar oost oploopt van gemiddeld 1.4 m bij Den Helder naar 3 m bij Delfzijl, heeft de absolute hoogte weinig ecologische betekenis, maar de periode dat een gebied droog valt wel. Daarom wordt de absolute hoogte ten opzichte van NAP omgerekend naar de droogvalduur, gedefinieerd als de relatieve duur (in % per dag) dat een stuk wadplaat droogvalt. Morfologische veranderingen in de bathymetrie (zowel erosie als opslibbing), bijvoorbeeld ten gevolge van baggeractiviteiten, storten van baggerslib, aanleg van dammen en stuwen, landaanwinningswerken (kwelderwerken) en veranderingen in het beheer van havenkommen e.d. kunnen in de loop der jaren leiden tot veranderingen in de droogvalduur van platen en dus op het voorkomen van zeegrassen.

troebelheid / zwevend stof

Zeegrasplanten hebben licht nodig voor hun groei. In voldoende helder water vindt ook onder water nog fotosynthese plaats, maar bij erg troebel water gaat dat niet meer en kunnen ze alleen fotosynthetiseren tijdens de droogvalperiode. De troebelheid van het water wordt hoofdzakelijk bepaald door de hoeveelheid zwevende stof (mg/l) die in het water aanwezig is. Vooral in gebieden als de Waddenzee en Eems-Dollard is de troebelheid in grote mate afhankelijk van de mate van resuspensie van fijn sediment (vooral bepaald door wind en golfslag) en in mindere mate van algenbloei (vooral in het voorjaar). Baggeractiviteiten, storten van baggerslib, stormen en rivierpluimen kunnen lokaal of seizoensmatig een aanzienlijke vertroebeling veroorzaken.

waterdynamiek

De mate van blootstelling van zeegras aan golfslag en stroming is een andere belangrijke faktor, omdat dit bepaald of de planten kunnen blijven staan. Bij hevige golfslag of te hoge stroomsnelheden kan de bodem eroderen en kunnen de zeegrasplanten worden weggespoeld, of bovengronds afbreken (Van Katwijk & Hermus, 2000). Alleen als er voldoende beschutting is tegen golfslag en stroming kan zeegras ergens groeien. Ook de afzetting van zaden kan achterwege blijven in een te sterk dynamisch milieu.

sedimentsamenstelling

Sedimentsamenstelling is sterk gerelateerd aan de blootstelling aan stroming en golfslag. Het voorkomen van zeegras is positief gecorreleerd met het slibgehalte (tenminste 2%) van het sediment. Vooral Groot Zeegras is gevoelig voor de samenstelling van het sediment (Philippart et al., 1992). Deze vermeende relatie sediment – zeegras is mogelijk echter een

schijnrelatie, door het effect van de waterdynamiek. Waarschijnlijk is het niet het sediment-type zelf, maar eerder de waterdynamiek die voor deze relatie verantwoordelijk is (Dick de Jong, pers. comm.). Van Katwijk & Wijgengangs (2004) vonden overigens wel een trendmatig ($p=0.10$) hogere kieming in modderig dan zandig substraat.

saliniteit

Saliniteit (zoutgehalte) is een erg belangrijke parameter voor het voorkomen van zeegras in de Nederlandse wateren (Van Katwijk et al., 1999 & 2000b; de Jong et al., 2004). Een te hoog zoutgehalte (> 29.5 ‰ of 16.5 g Cl/l) leidt tot sterfte en verdwijnen van beide soorten zeegras (de Jong et al., 2004). In erg brakke omstandigheden wordt het opgevolgd door *Ruppia* en eventueel *Zanichellia*, twee brakke soorten waterplanten. In Nederland is voor beide soorten zeegras een ondergrens gevonden van ca. 16 ‰ (ca. 9 g Cl/l). Het zoutgehalte is van invloed op de verschillende stadia van zeegras gedurende de levenscyclus. Een hoge saliniteit heeft mogelijk een negatief effect op het bloeipcentage, de zaadproductie en de zaadkieming. Vestiging en herstel van de populatie worden dan ook waarschijnlijk bemoeilijkt door hoge saliniteit. Voor een goede zaadkieming en opgroei uit wortelstokken in het voorjaar enerzijds en zaadafzetting in de zomer anderzijds lijkt een niet te hoge saliniteit vereist (Wijgengangs & De Jong, 1999). Ook blijkt dat populaties in milieus met een lagere saliniteit minder worden aangetast door ziektes als 'wasting disease' en sneller herstellen dan populaties die bij hoge saliniteit groeien (Wijgengangs & De Jong, 1999). Bij een lager zoutgehalte blijken de kiemplanten ook beter te overleven, de opgroei van kiemplanten uit zaden is beter onder deze omstandigheden. Het optimum van deze kiemplanten ligt tussen de 10 en 18 ‰; boven de 18 ‰ zijn de overlevingskansen voor kiemplanten beduidend minder. Zeegrasplanten volgen bovendien een andere groeistrategie (meer kleinere laterale scheuten, leidend tot een vergroting van het zeegrasareaal) bij een lager zoutgehalte (Kamermans et al., 1997). Het zoutgehalte varieert met het seizoen, afhankelijk van de het tijdstip en de hoeveelheid neerslag (polderafwatering en rivierinput) en kan lokaal aanzienlijk worden beïnvloed door menselijke activiteiten, zoals actief peilbeheer, spui-sluizen, afsluiten van uitlaten voor polderafwatering, de aanleg van dammen, dijken en stormvloedkeringen, en het creëren van zout-zoetovergangen.

nutriënten

Over het algemeen wordt de verspreiding van zeegras in de Waddenzee beperkt tot wateren met lage tot matige nutriënt concentraties. Zeegras is gevoelig voor hoge concentraties van nitraat of ammonium (Burkholder et al., 1992; Van Katwijk et al., 1997, 1999). Eutrofiëring (verhoging van nutriëntenconcentraties) leidt bovendien tot planktonbloei en verhoogde epifytenontwikkeling op de zeegrasbladeren wat kan leiden tot een aanzienlijke vermindering van de hoeveelheid licht die beschikbaar is voor de groei van de zeegrasplanten. De achteruitgang van Groot Zeegras in de Waddenzee (met name rond het begin van de 70er jaren) wordt voor een deel toegeschreven aan de toegenomen nutriëntenvracht (De Jonge & De Jong, 1992). Ook de achteruitgang van Klein Zeegras wordt wel toegeschreven aan de gevolgen van eutrofiëring door een toename in de dichtheid van het perifyton (Philippart, 1994).

macroalgenbloei

Eutrofiëring leidt ook vaak tot macroalgenbloei, met name van opportunistische groenwieren zoals *Ulva*, *Chaetomorpha* en *Enteromorpha* (Schramm & Nienhuis, 1996). Dichte massa's groenwieren kunnen leiden tot sterfte van zeegrasplanten door verstikking en overwoekering (den Hartog, 1994). Afbraak van dichte wierpakketten leidt soms ook tot

episodes van zuurstofloosheid in het water en verhoogde sulfidegehalten in het bodemwater, wat overleving van zeegrassen belemmerd. Overmatige groei van macroalgen vormde ook een probleem bij transplantatieexperimenten van Groot Zeegras op het Balgzand (Bos et al., 2005).

temperatuur

In strenge winters kan zowel direct door de vorst als indirect door ijsgang grote schade worden aangericht aan zeegrasvelden. In de Waddenzee treedt regelmatig ijsvorming op. Vorst kan directe schade aanrichten door bevroering van de wortelstokken en zaden, met name in het hogere deel van het getijdengebied. IJs kan op twee manieren invloed uitoefenen op litoraal voorkomende één- en meerjarige zeegraspopulaties. In de eerste plaats kan bij laag water ijsvorming op het wadoppervlak optreden, waardoor het oppervlakesediment samen met het zeegras bevroren raakt. Tijdens de vloed kan deze bevroren laag door de stroming losraken, zodat de bovenlaag van het sediment, samen met wortelstokken en zaden, volledig uit de bodem wordt losgetrokken. In de tweede plaats kunnen overwinterende planten uit de bodem worden gewerkt door kruiend ijs. In beide gevallen kunnen de plantdelen en zaden over grote afstanden worden verplaatst. Het kruiende ijs kan grote schade aanrichten aan zeegrasvelden. Ook een te hoge temperatuur in de zomer kan een negatieve invloed hebben op het zeegras. Doordat de temperatuur van het water omhoog gaat, kan er bijvoorbeeld mobilisatie van fosfor vanuit het interstitiële bodemwater optreden, waardoor de fosforconcentratie in de waterkolom toeneemt. Dit kan uiteindelijk leiden tot een verhoogde mate van eutrofiëring. Ook zijn de effecten van ammonium toxiciteit duidelijker bij hogere temperaturen. Een hoge watertemperatuur kan de vitaliteit van het zeegras aantasten. Hierdoor hebben ziekten, zoals de “wasting disease” meer kans om toe te slaan. Door hoge temperaturen wordt bovendien de kans op uitdroging van de droogvallende platen sterk verhoogd.

verontreinigingen

Verontreiniging van het water met bestrijdingsmiddelen, zware metalen, PCB's, aangroeiwerende middelen als TBT en dergelijke, kan een effect hebben op de groei van zeegras. Voor sommige stoffen, zoals kwik en atrazine, is dit aangetoond, maar voor de meeste stoffen is geen informatie voorhanden (Morelissen, 2002). Ook indirect kunnen toxische stoffen invloed uitoefenen op zeegras. Zo kunnen begrazers van epifyten op het zeegras, zoals het wadslakje, ook schade ondervinden van bepaalde toxische stoffen. Bij een sterke afname van deze begrazers kan de concentratie van epifyten op de bladeren toenemen, gevolgd door een verminderde vitaliteit van zeegras. Recentelijk zijn in de Duitse Waddenzee aanwijzingen gevonden voor een mogelijke link tussen de achteruitgang van zeegras en het toegenomen gebruik van herbiciden zoals triazine en phenyl-urea verbindingen in landbouwgebieden langs de kust (Bester, 2000). Deze vermeende correlatie lijkt beslist niet overal juist te zijn (Van Katwijk et al., 2002). Schwarzschild et al. (1994) toonden echter aan dat *Zostera marina* geheel ongevoelig was voor atrazine, de pesticide die in de Waddenzee de hoogste concentraties bereikt in vergelijking met andere pesticiden. Ook herbiciden die gebruikt worden in anti-fouling verf, zoals Irganol en Diuron, lijken een negatief effect te hebben op de groei en overleving van Groot Zeegras (Scarlett et al., 1999; Chesworth et al., 2004). Ook in de Verenigde Staten zijn dergelijke indirecte ('non-target') effecten op *Zostera marina* van herbicidegebruik in het veld aangetoond (Major et al., 2004).

ziekten

Er is uitgebreid onderzoek verricht naar de effecten van de ‘wierziekte’ (wasting disease) op de achteruitgang en sterfte van zeegras in de Waddenzee (zie o.a. Giesen, 1990). Deze ziekte wordt veroorzaakt door een parasitair levend eencellig organisme, *Labyrinthula macrocystis*. Het lijkt inmiddels aannemelijk dat deze parasieten pas actief worden wanneer door wijzigingen in de leefomstandigheden de vitaliteit van het zeegras afneemt. Daarnaast zijn er aanwijzingen dat andere natuurlijke factoren de vitaliteit van de parasiet beïnvloeden, b.v. verhoging van de watertemperatuur in zeer warme zomers en verhoging van het zoutgehalte. Onder deze omstandigheden kan de parasiet toeslaan en het zeegras doden. In de Zeeuwse Delta zijn aanwijzingen gevonden voor infectie en aantasting van zeegrasplanten, zeegraszaden en enkele wiersoorten met de schimmelsoort *Phytophthora* sp. (de Cock, 1986; J. van Soelen et al., pers. comm.), maar het is nog onduidelijk in hoeverre deze schimmelinfectie heeft bijgedragen tot een achteruitgang van zeegrassen aldaar.

begrazing

Zeegras is een voedselbron voor diverse soorten eenden en ganzen. Het zeegras boven de laagwaterlijn wordt vooral begraasd door de Rotgans. Deze gans consumeert zowel bovengrondse als ondergrondse delen van de plant, waardoor de hele plant verdwijnt en er bovendien kleine ontgrondingskuilen ontstaan, die weer aanleiding zijn voor verdere erosie. Hoge aantallen ganzen kunnen een negatieve invloed hebben op het herstel van het zeegras.

wadpieren

Tijdens onderzoek op het wad bij Terschelling en in experimentele systemen werd gekeken naar de mogelijke invloed van wadpieren op Klein Zeegras. Uit het onderzoek bleek dat bij zeer hoge dichtheden van de wadpieren (meer dan 50 pieren per vierkante meter) de aangeplante zeegrasplantjes werden begraven en dood gingen als gevolg van de graaactiviteiten van de pieren (Philippart, 1993). Ook uit de Oosterschelde is informatie verkregen dat zeer hoge dichtheden pieren en Klein Zeegras elkaar slecht verdragen. Anderszijds bleek in het Klein Zeegrasveld in de Zandkreek zo'n 70 wadpierfaeces per m² voor te komen (Van Katwijk et al., 2000a). Het is niet duidelijk in welke mate wadpieren bedreigend zijn voor Groot Zeegras. In bestaande velden bleken telkens iets minder wadpierfaeces voor te komen in de begroeide delen dan in de onbegroeide. Het gemiddelde aantal faeces varieerde tussen de 3 en 45 per m² (Van Katwijk et al., 2000a). Ook pierensteken kan lokaal een bedreiging voor zeegrasvelden vormen, zoals bijvoorbeeld beschreven voor de Oosterschelde (Bellemakers & De Jong (1995), in: Van Katwijk et al., 2002).

zaadverspreiding

Het merendeel van het Groot Zeegras in de Nederlandse Waddenzee bestaat uit eenjarige planten, die hoofdzakelijk overwinteren als zaad. De planten bloeien in de zomer en produceren zaad in het najaar. Tegen het einde van het seizoen vallen de gerijpte zaden uit de bloemschedes en komen in het sediment terecht. Het kan echter ook gebeuren dat complete bloeistengels afbreken en op drift raken, onderweg hun zaden verliezend. Door dit transport kan het zaad over grote afstanden worden verspreid (Erfemeijer & Van Beek, 2004). Doordat de planten boven de laagwaterlijn meestal eenjarig zijn, moeten de zeegrasvelden daar ieder jaar opnieuw worden opgebouwd uit kiemplanten. Klein Zeegras is een meerjarige soort die vrijwel uitsluitend in de getijdzone voorkomt. Overwintering geschiedt voornamelijk via de wortelstokken en is daardoor in het algemeen minder afhankelijk van de weersomstandigheden dan bij Groot Zeegras. Als meerjarige soort met

een geringe zaadproductie kan Klein Zeegras zich minder gemakkelijk uitbreiden en verplaatsen naar nieuwe locaties. Westwaartse verspreiding van zaden van Groot Zeegras vanuit de Hond-Paap naar andere delen van de Waddenzee komt wel voor, maar wordt sterk gelimiteerd door de overheersende westenwind en resulterende oppervlaktestromingen (Erfemeijer & Van Beek, 2004).

baggerwerken

Baggeroperaties en onderhoud van vaargeulen, alsmede het storten van baggerslib hebben in delen van de Waddenzee bijgedragen tot een geleidelijke toename van de troebelheid van het water. In het Eems-Dollard gebied (Nederlandse + Duitse deel samen) wordt jaarlijks (verspreid over 10 stortlokalaties) gemiddeld 9.4 miljoen ton (natgewicht) aan baggerspecie gestort (Erfemeijer, 2002). Hoewel het storten van baggerspecie in het estuarium reeds plaatsvindt sinds het midden van de vorige eeuw, is het volume van gebaggerd materiaal na 1950 enorm toegenomen. Zo meldt De Jonge (1983) een 4-voudige toename tussen 1950-1970 in het estuarium. Ook elders in de Waddenzee neemt de hoeveelheid baggerwerk jaarlijks toe. De totale hoeveelheid gebaggerde specie in havens en geulen in en om de Nederlandse Waddenzee bedroeg in 2002 bijna 6 miljoen m³ (Rijkswaterstaat, 2003). Bovendien zijn er aanwijzingen dat de baggerwerkzaamheden in de nabijheid van de Rotterdamse haven ook een grote invloed hebben op de troebelheid van de (westelijke) Waddenzee (De Jonge & De Jong, 2002).

schelpdiervisserij

In de Waddenzee vindt lokaal intensieve kokkelvisserij plaats in het najaar. Deze kokkelvisserij is beperkt tot door de overheid aangewezen gebieden. Mechanische kokkelvisserij in zeegrasvelden is verboden. Er dient een afstand te worden gehouden van 40 meter tot bestaande zeegrasvelden. Van de diverse zeegrasgroeilocaties in de Nederlandse Waddenzee, loopt alleen het zeegrasareaal langs de Groninger kwelderwerken enigszins gevaar. Het oostelijke gedeelte van de Groninger noordkust is niet gesloten voor de kokkelvisserij. Het is hier echter wel verboden om te vissen binnen de palenrijen van de kwelderwerken, maar buiten deze rijen is kokkelvissen toegestaan. De andere locaties waar zeegras voorkomt (Terschelling en de Hond/Paap) zijn geheel gesloten voor de kokkelvisserij. Een recente studie in het kader van het EVA-II onderzoek naar de mogelijke effecten van kokkelvisserij op de ontwikkeling van zeegras heeft aangetoond dat kokkelvisserij plaatselijk (o.a. Terschelling) heeft geleid tot een kleine afname van het zeegrasareaal (Essink et al., 2003). De studie stelde bovendien dat kokkelvisserij vermoedelijk verhindert dat bestaande zeegrasvegetaties zich uitbreiden, met name in het gebied ten westen van Noordpolderzijl langs de Groninger kust, dat thans niet is gesloten voor schelpdiervisserij (Essink et al., 2003). Ook mosselzaadvissers en andere vormen van bodemberoerende visserij kunnen lokaal potentiële schade toebrengen aan zeegrasvelden (De Jonge, 1990; De Jonge & De Jong, 1992).

beheersveranderingen

Zoals hierboven reeds onder de verschillende sturende factoren is genoemd, is het mogelijk dat sommige veranderingen in het beheer en intensiteit van onderhoud van kwelderwerken, havenkommen, polderafwatering, waterpeil, (spui-)sluizen, bagger- en stortactiviteiten, en bodemberoerende visserij een effect (positief of negatief) hebben gehad op de verspreiding en dichtheid van de zeegrasvegetaties in de Waddenzee. Het gaat hier met name om beheersmaatregelen die een effect hebben op de waterkwaliteit en bathymetrie, of die directe mechanische schade hebben veroorzaakt (dan wel voorkomen).

3.3 Verklaring voor de afname en verdwijning van Groot Zeegras bij Terschelling - haven

Dit voormalig zeegrasveld is gelegen op ‘de Plaat’ in de beschutte havenkom van Terschelling. De sterke achteruitgang en tenslotte het geheel verdwijnen van dit zeegrasveld kon door Morelissen (2002) niet eenduidig worden toegeschreven aan een specifieke oorzaak. Morelissen (2002) noemt sedimentatie, hoge saliniteit in 1996, en afname in doorzicht ten gevolge van het staken van onderhoud van de vaargeul (Schuitengat) als mogelijke factoren die hierbij een rol kunnen hebben gespeeld, maar kon dit niet aantonen. De Jonge (1990) en Wijgergangs & De Jong (1999) vermelden bovendien nog dat in 1990 schade is toegebracht aan dit veld door kokkelvisserij, maar het lijkt onwaarschijnlijk dat deze eenmalige schade de achteruitgang in de daarop volgende 10 jaar heeft veroorzaakt.

De oorzaak van de achteruitgang en verdwijning van het zeegras in de havenkom van Terschelling moet gezocht worden in factoren die zeer lokaal verschilden van de overige zeegrasgebieden in de Nederlandse Waddenzee (incl. de zuidkust van Terschelling), waar het zeegras juist is toegenomen. Het is het meest waarschijnlijk dat het hier gaat om bepaalde beheersmaatregelen, die de leefomstandigheden voor het zeegras hier hebben verslechterd.

Veranderingen in het beheer van de havenkom (die voorheen regelmatig werd gebaggerd met behulp van een baggermolen of ‘ploeg’ om de havenkom op diepte te houden) en het stopzetten van de onderhoudswerkzaamheden van de vaargeul (‘het Schuitengat’) lijken de meest waarschijnlijke oorzaak te zijn van de achteruitgang van het zeegras in dit gebied. Het water in de geul is nu minder diep en het slib kan daardoor sneller door sloopschroeven in beweging worden gebracht. Sinds het geulonderhoud is gestopt lijkt er steeds meer troebel en slibrijk water de Plaat op te stromen bij hoogwater; dit slib blijft met afgaand water op de Plaat liggen (Art Groeneweg, in brief van Karel Essink, 5 September 2002). Dit wordt ondersteund door veldobservaties van diverse onderzoekers over de jaren (Karin Hermus, Art Groeneweg, Katja Philippart, M.M. van Katwijk; pers. comm.). Het is thans in de havenkom van Terschelling zo’n “stinkende prut” dat herstel van zeegrasgroei in dit gebied op de korte termijn ondenkbaar is.

3.4 Verklaring voor de toename van Groot en Klein Zeegras elders in de Nederlandse Waddenzee

De hierna volgende discussie is gebaseerd op expert judgment en literatuur, inclusief de bevindingen van Morelissen (2002). Er zijn geen statistische correlaties berekend.

Het is **onwaarschijnlijk** dat de overwegend toenemende trend in zeegrasareaal (zowel Groot als Klein Zeegras) op de overige groeilocaties in de Nederlandse Waddenzee over de afgelopen 15 jaar is te wijten aan de volgende factoren:

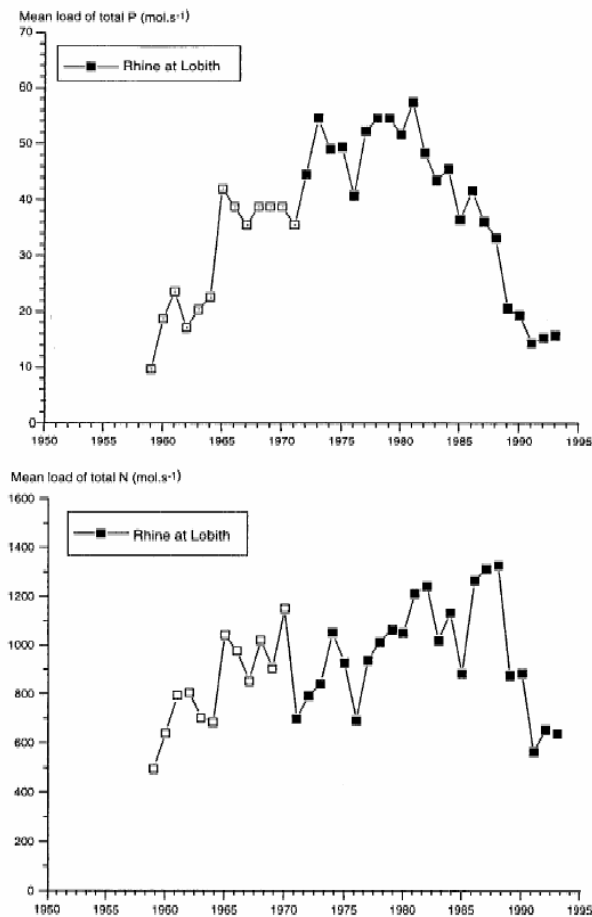
- **ziekten:** er zijn al meer dan 60 jaar geen hernieuwde uitbraken van ‘wasting disease’ in de Waddenzee waargenomen;

- **verontreinigingen:** er zijn geen aanwijzingen dat er tijdens de afgelopen 15 jaar een vermindering is opgetreden van de hoeveelheid pesticiden, herbiciden of anti-fouling (zoals TBT) in de Nederlandse Waddenzee (De Jong et al., 2000);
- **waterdynamiek:** er zijn geen aanwijzingen dat er sprake is geweest van een substantiele verandering in golfslag of stroming in de Nederlandse Waddenzee tijdens de laatste 15 jaar. Een eventuele toename in stormactiviteit (een van de verwachte aspecten van de voorspelde klimaatsverandering) kan ook niet verantwoordelijk zijn voor een toename in zeegrasareaal. Stormen hebben overigens in het algemeen relatief weinig negatieve effecten op bestaande zeegrasvelden (Reusch & Chapman, 1995);
- **sedimentsamenstelling:** er zijn geen aanwijzingen dat de sedimentsamenstelling in de Nederlandse Waddenzee substantieel gewijzigd is in de laatste 15 jaar;
- **begrazing:** de populatiegrootte van ganzen in West Europa is, na een sterke teruggang in het begin van de 20^e eeuw, sinds 1955 weer sterk toegenomen (tot ruim het 10-voudige). Hiermee is dus tevens de potentiële begrazingsdruk op zeegrasvelden de laatste jaren eerder toe- dan afgenomen. Het lijkt dus niet aannemelijk dat deze factor een significante rol heeft gespeeld bij de waargenomen toename in zeegras;
- **wadpieren:** er zijn geen aanwijzingen dat de dichtheden van wadpieren in de Waddenzee tijdens de afgelopen 15 jaar substantieel zijn afgenomen (Jaap de Vlas, pers. comm. – op grond van monsterdata);
- **baggerwerken:** de jaarlijkse hoeveelheden baggerspecie die in de Waddenzee zijn gestort zijn in de afgelopen decennia significant toegenomen (De Jong et al., 2000). Zo is de totale hoeveelheid gebaggerde specie in havens en geulen in en om de Waddenzee (incl. Eems) in 2002 toegenomen tot bijna 6 miljoen m³ (Rijkswaterstaat, 2003). Het is onlogisch om te veronderstellen dat een toename in baggerspecie verantwoordelijk is voor een toename in zeegrasareaal. Wel zou het mogelijk kunnen zijn dat een significante afname van de hoeveelheid gestort baggerslib (afkomstig van onderhoudsbaggerwerkzaamheden in en rond de Rotterdamse haven) bij Loswal Noord en Loswal Noord-west vanaf begin 80er jaren heeft bijgedragen aan een verbeterd doorzicht in het westelijke deel van de Nederlandse Waddenzee, al lijkt dit ook deels afhankelijk te zijn van het jaarlijkse debiet van de Rijn (De Jonge & De Jong, 2002).

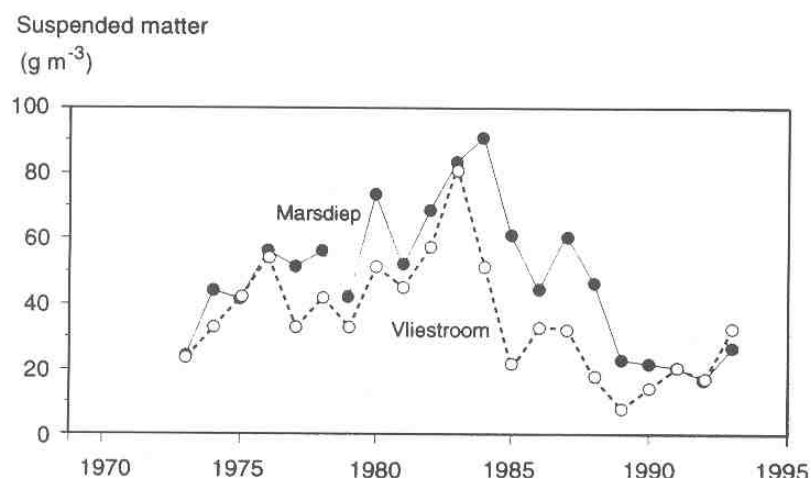
Factoren die wel **mogelijk** in verband zouden kunnen worden gebracht met de waargenomen trend van vooruitgang zijn:

- **nutriënten en troebelheid:** er is een duidelijke afname in de nutriëntentoevoer naar de Nederlandse Waddenzee sinds het midden/eind van de tachtiger jaren (De Jonge et al., 1996; De Vries et al., 1998; Marijnissen et al., 2001; De Jong et al., 2000). De afname in de vracht aan nutriënten (Figuur 3.1) heeft geleid tot lagere gehalten aan chlorofyl en zwevend stof (Figuur 3.2) en daardoor tot een verbeterd doorzicht. Deze reductie in eutrofiëring heeft vermoedelijk ook een verminderde epifytenbedekking op de zeegrasbladeren tot gevolg gehad, maar hierover zijn geen data beschikbaar. Overigens vertoont de aanvoer van nutriënten via de Eems over de periode 1985-1999 geen duidelijke trend (Marijnissen et al., 2001). Door de reductie in eutrofiëring is ook de

verspreiding van opportunistische groenwieren afgenomen. Deze afname geldt met name voor de periode 1991-94 na een aanvankelijke toename aan het eind van de tachtiger jaren (De Jong et al., 2000; Van Katwijk et al., 2000b).



Figuur 3.1 Verloop van de vrachten in totaal fosfor (boven) en stikstof (onder), gemeten bij de grens tussen Nederland en Duitsland (uit: De Jonge et al., 2002)



Figuur 3.2 Verloop van de gemiddelde concentratie zwevend stof op twee locaties in de Waddenzee (Marsdiep en de Vlie) over de periode 1973-1994 (uit: De Jonge et al., 1996)

- **temperatuur:** de winters van 1989-1994 behoren tot de zachtste jaren in de afgelopen 50 jaar wat betekent dat niet alleen de gemiddelde wintertemperatuur van het water maar ook de zomertemperatuur toen significant hoger was. De winters van 1995/96 en 1996/97 waren echter uitzonderlijk koud, droog en zonnig met een temperatuur die 4.5 °C onder het gemiddelde lag (De Jong et al., 2000; Armonies et al., 2001). Met name de winter van 1996/97 was erg koud, met veel ijsgang in Januari. Ijsgang heeft ook plaatsgevonden op Terschelling in januari 1991 (Kennis & de Vries, 1992). Er kan voornamelijk dus geen eenduidige correlatie worden aangetoond tussen klimaatsveranderingen en de toename van zeegras, zonder een diepgaandere analyse van beschikbare datasets.
- **saliniteit:** De Jong et al. (2004) wezen op het feit dat in de huidige situatie in Nederlandse wateren zeegrasgroei vooral nog voorkomt op plekken waar sprake is van zoetwaterinvloed. Deze vermeende relatie tussen zoetwateraanvoer en zeegrasgroei verdient aanvullende analyse, bijvoorbeeld in verband met mogelijke veranderingen in het spuiregime van spuisluisen langs de afsluitdijk en het debiet van de Eems. In de Grevelingen met name een verhoogde saliniteit in combinatie met lage temperaturen (en mogelijk ook lage silicaat- en nutriëntenconcentraties) verantwoordelijk te zijn geweest voor de achteruitgang en verdwijning van zeegras (zie o.a. Nienhuis et al., 1996).
- **diepte / droogvalduur:** het is mogelijk dat plaatselijke veranderingen (bijv. op de Hond-Paap, bij het Voolhok en langs de Groninger kust) in de bathymetrie door aanslibbing tijdens de laatste 15 jaar, een voor zeegrassen gunstig effect hebben gehad op de droogvalduur van platen en slikken. In hoeverre dit mee heeft gespeeld in de toename van zeegrasareaal op de diverse locaties verdient verdere analyse.
- **beheer kwelderwerken:** Sinds begin jaren 90 is het beheer in de buitenste vakken van de kwelderwerken geëxtensiverd (dwz. niet meer jaarlijks greppelen). Hierdoor is er rust gekomen in die buitenste vakken. Het is waarschijnlijk dat dit een essentiële rol heeft gespeeld bij de grotere kansen voor zeegras langs de Groninger kust (Dick de Jong, pers. comm.).
- **zaadverspreiding:** Uit onderzoek van Erftemeijer & Van Beek (2004) blijkt dat de huidige populatie van Groot Zeegras op de Hond-Paap een belangrijk brongebied te zijn vanwaaruit het Groot Zeegras zich, door middel van zaadverspreiding potentieel kan uitbreiden naar andere voor zeegras geschikte gebieden in het oostelijk deel van de Nederlandse Waddenzee. De zaadverspreiding is wel afhankelijk van de windrichting, die in dit gebied hoofdzakelijk uit het zuidwesten komt, waardoor westwaarts transport van zeegraszaden beperkt is. Incidentele oosterstormen zouden het zaadmateriaal echter over aanzienlijke afstanden westwaarts kunnen verplaatsen (Erftemeijer & Van Beek, 2004). Voor Klein Zeegras is zaadverspreiding waarschijnlijk van ondergeschikt belang, omdat deze soort zich hoofdzakelijk vegetatief lijkt te vermeerderen en als meerjarige soort met behulp van reserves in rhizomen overwintert.
- **schelpdiervisserij:** Sinds 1994 zijn de meeste gebieden waar in 1993 zeegras stond gesloten voor schelpdiervisserij. Sindsdien is het zeegrasareaal in die gebieden toegenomen. In de recente EVA-II studie werd ook geconcludeerd dat de voor

kokkelvisserij afgesloten gebieden een gunstig effect hebben gehad op de ontwikkeling en instandhouding van de zeegrasvegetaties in de Nederlandse Waddenzee (LNV, 2004a). Het is vooralsnog onduidelijk in hoeverre kokkelvisserij de kans op kolonisatie en uitbreiding van zeegras buiten de gesloten gebieden heeft belemmerd. De eenmalige mosselzaadvisserij op de Hond-Paap door Duitse vissers in 2001, die aan Nederlandse zijde tot felle kritiek leidde, lijkt vooralsnog geen significant effect te hebben gehad op de zeegrasontwikkelingen aldaar. Het publiekelijk beschikbaar stellen van gegevens over zeegrasverspreiding op de Hond-Paap heeft hiertoe mogelijk bijgedragen.

Samenvattend:

De afname van eutrofiëring, een geleidelijke klimaatsverandering (minder strenge winters, meer warme voorjaren) en het afsluiten van gebieden voor schelpdiervisserij hebben vermoedelijk alledrie bijgedragen tot het beginnend herstel van zeegrassen in de Waddenzee. Bovendien lijkt zaadverspreiding vanuit de huidige groeilocatie van Groot Zeegras op de Hond-Paap goede kansen te bieden voor een verdere uitbreiding van het zeegrasareaal naar andere geschikte locaties in het oostelijk deel van de Nederlandse Waddenzee.

Conclusie:

We zijn op de goede weg met instellen van beschermde gebieden en de vermindering van eutrofiëring. Het is nog onduidelijk in hoeverre pogingen tot zeegrasrestauratie en het herstellen van zout-zoet gradienten in de nabije toekomst tot een verder zeegrasherstel in de Nederlandse Waddenzee zouden kunnen bijdragen.

Hoe verhoudt zich dit tot trends in Duitse en Deense Waddenzee?

In de Nedersaksische Waddenzee in Duitsland wordt al jaren (sinds ca. 1970) een ernstige achteruitgang van de zeegrasbestanden gemeld. Recente kaarten die in 1997 zijn gemaakt, laten zien dat het zeegras hier nog steeds afneemt. In Nedersaksen is het totale gebied dat met zeegrasvelden is bedekt, afgenomen van 35.5 km² in 1970 tot 8.2 km² in 1994 (De Jong et al., 2000). Ook het oppervlak aan eulitorale zeegrasvelden buiten de Noordfriese kust (Duitsland) is geleidelijk afgenomen van 129 km² in 1991 tot 26 km² in 1996.

Voor Denemarken zijn sinds 1990 geen substantiele aanwijzingen voor een achteruitgang van de litorale zeegraspopulaties. Het totale zeegrasareaal in Denemarken bedroeg in 1997 ca. 8.5 km² (De Jong et al., 2000). Frederiksen et al. (2004) beschrijven hoe zeegraspopulaties in Denemarken, na een time-lag van ca. 10 jaar, zich redelijk snel hebben hersteld van de gevolgen van 'wasting disease'. Alle onderzochte zeegraspopulaties vertoonden duidelijke jaar-tot-jaar fluctuaties. In tegenstelling tot sublitorale zeegrasvelden, die door toedoen van eutrofiëring aanzienlijk zijn afgenomen, bleken zeegrasvelden in het intergetijdegebied zich op de lange termijn min of meer stabiel te handhaven, en zich stochastisch te gedragen. Redukties en herstel volgden elkaar op binnen periodes van minder dan 6 jaar (Frederiksen et al., 2004).

Als factoren die mogelijk verantwoordelijk worden geacht voor de waargenomen dynamiek en achteruitgang van zeegrasbestanden in de Duitse en Deense Waddenzee worden o.a. genoemd: combinaties van lokale fysische veranderingen (sedimentatie/erosie) en biotische interacties (bioturbatie en begrazing), bedijking, landreclamatie, eutrofiëring, blootstelling

aan golfslag door toegenomen frequentie van westerstormen, en gebruik van herbiciden (Bester, 2000; Borum et al., 2004; Reise et al., 2004).

3.5 Suggesties voor verder onderzoek

Op grond van de bevindingen van de in het huidige rapport beschreven trendanalyse wordt nader onderzoek naar de volgende (potentiëel sturende) factoren aanbevolen:

- relatie tussen nutriëntenbelasting (eutrofiëring) en zeegrasverspreiding / -bedekking in de (Nederlandse) Waddenzee;
- relatie tussen saliniteitsveranderingen en zeegrasverspreiding / -bedekking (met name focus op locaties waar dit potentieel een rol kan hebben gespeeld, zoals in de Eems en in de omgeving van spuisluisen);
- relatie tussen mogelijke aanslibbing (bijv. Hond-Paap, Voolhok, Groninger kust) en de hierdoor veranderde droogvalduur van slikken en platen met de zeegrasverspreiding / -bedekking op die locaties;
- effecten van het afsluiten van bepaalde gebieden in de Waddenzee voor schelpdiervisserij op de regeneratie van de zeegrasvegetatie in die gebieden;

Daarnaast zou de jaar-tot-jaar dynamiek in de zeegrasvegetatie aan een nader onderzoek kunnen worden onderworpen, bijvoorbeeld om meer inzicht te verkrijgen in de potentiële rol die meteorologische condities (bijv. strenge winters, windrichting, etc.) hierbij spelen, o.a. door het bepalen van de overleving van de winterperiode en het beïnvloeden van het zaadtransport. Bovendien zou een dergelijke analyse ook kunnen bijdragen tot een betere argumentatie voor een eventuele uitbreiding van voor schelpdiervisserij afgesloten gebieden.

Het zou bijzonder waardevol zijn indien de bij het RWS-AGI aanwezige false-colour luchtfoto's van de afgelopen jaren konden worden geanalyseerd op het voorkomen en de verspreiding van groenwieren (eventueel inclusief calibratie met veldgegevens uit een nieuw jaar). Hieruit zou een eventuele toe- of afname in de loop van de jaren van de aanwezigheid van groenwieren kunnen worden gededuceerd die mogelijk in verband zou kunnen worden gebracht met een toe- of afname van eutrofiëring en met de waargenomen zeegrasdynamiek.

Tenslotte wordt het ten sterkste aanbevolen om de nauwkeurigheid van de karteringsgegevens (effect van de timing van luchtfotografie en veldwerk: zie 2.4) nader te bestuderen door (bijvoorbeeld van de Hond-Paap) in één jaar twee- of driemaal een luchtfoto te maken (met telkens een maand ertussen) en in twee of drie opeenvolgende maanden veldwerk uit te voeren. Uit zorgvuldige analyse van de verschillen kan dan de betrouwbaarheid van de karteringsresultaten worden afgeleid, wat toekomstige interpretaties van trends en dynamiek ten goede zal komen.

4 Aanbevelingen voor beheer

Mede op basis van de bevindingen in deze studie wordt het volgende aanbevolen:

- De niet te bevissen zone rondom bestaande groeilocaties van zeegras zou moeten worden verruimd van 40 meter (niet adequaat) naar bijvoorbeeld 500 meter (dit is recentelijk ook voorgesteld door de stuurgroep zeegras in een memo aan de ICW als wijziging in de nieuwe (draft) PKB en Beheerplan voor de Waddenzee);
- De belangrijkste potentiële groeilocaties voor zeegras (met name in het oostelijke deel van de Waddenzee, waar zich veel kansrijke vestigingslocaties voor zeegras bevinden en waar de kans op herstel van met name Groot Zeegras door zaadverspreiding vanuit de Eems populatie groot is) zouden eveneens moeten worden afgesloten voor schelpdiervisserij in jaren dat er aanwijzingen gevonden zijn dat zich in die gebieden nieuwe zeegraszaailingen hebben gevestigd; dit zou jaarlijks in de zomer kunnen worden bevestigd door middel van veld-inspectie door onafhankelijke deskundigen onder toezicht van LNV;
- De reductie van nutriënten-toevoer naar de Waddenzee over de afgelopen 2 decennia heeft voor zeegrassen waarschijnlijk gunstige gevolgen gehad. Het huidige beleid en beheer met betrekking tot het terugdringen van eutrofiëring dient te worden voortgezet, zodat op den duur het zeegras zich ook tot op grotere diepten kan herstellen (mits de duur van blootstelling aan waterdynamiek dit niet belemmeren – zie Van Katwijk & Hermus, 2000);
- Mogelijkheden voor het bespoedigen van zeegrasherstel door middel van ‘kunstmatig’ transport van zaden vanuit de Hond-Paap naar geschikte gebieden in het oostelijk deel van de Nederlandse Waddenzee zouden kunnen worden onderzocht en uitgetest;
- De effecten van het beoogde herstel van zout-zoet overgangen verdienen nauwlettende aandacht om te bezien in hoeverre deze plannen en maatregelen zeegrasherstel bevorderen danwel belemmeren;
- De karteringen van zeegrasverspreiding en bedekking in de Nederlandse wateren hebben zeer waardevolle informatie opgeleverd. De karteringen zouden dan ook in hun huidige vorm moeten worden voortgezet. De karteringen zouden het beste altijd in 1 en dezelfde maand moeten worden uitgevoerd om methodologische ruis (zoals besproken in hoofdstuk 2.4) tot een minimum te beperken. Om verbanden tussen jaarlijkse fluctuaties in zeegrasareaal met klimatologische en biologische variaties te kunnen ontdekken dienen de karteringen ieder jaar uitgevoerd te worden;
- De verspreiding van *Ruppia maritima* (zoals recentelijk in kaart gebracht voor het Balgzand) zou eveneens in het MWTL monitoringsprogramma moeten worden opgenomen en jaarlijks moeten worden voortgezet. Deze bijzondere en zeldzame brakwaterplant (door sommigen ook als zeegrassoort beschouwd – zie bijv. Green & Short, 2003) vervult in vele West-Europese wateren een belangrijke ecologische functie (Kantrud, 1991). In Nederland is deze soort als ‘kwetsbaar’ opgenomen in de Rode Lijst van verdwenen, ernstig bedreigde,

bedreigde, kwetsbare en gevoelige dier- en plantensoorten, waaraan bijzondere aandacht moet worden besteed voor de instandhouding (LNV, 2004b).

- De in dit rapport als potentiëel aangegeven verklaringen voor de trends in zeegrasverspreiding in de Nederlandse Waddenzee verdienen een verdergaande analyse en nader (waar nodig experimenteel) onderzoek. Dit is met name van belang voor een juiste aansturing van beheersmaatregelen voor het behalen van de ecologische doelstellingen binnen de Kaderrichtlijn Water. Een overzicht van suggesties voor verder onderzoek is opgenomen in paragraaf 3.5 van dit rapport.

5 Literatuur

- Armonies, W., E. Herre & M. Sturm, 2001. Effects of the severe winter 1995/96 on the benthic macrofauna of the Wadden Sea and the coastal North Sea near the island of Sylt. *Helgol. Mar. Res.* 55: 170-175.
- Bester, K., 2000. Effects of pesticides on seagrass beds. *Helgol. Mar. Res.* 54(2-3): 95-98.
- Borum, J., C.M. Duarte, D. Krause-Jensen & T.M. Greve, 2004. European seagrasses: an introduction to monitoring and management. M&MS Project, September 2004. 88 pp.
- Bos, A.R., D.C.R. Hermus & M.M. van Katwijk, 2005. Herintroductie van *Zostera marina* in de westelijke Waddenzee (2002-2006). Resultatenrapportage 2004. Report Dep. of Environmental Studies, University of Nijmegen.
- Burkholder, J.M., Mason, K.M., Glasgow, H.B., 1992. Water-column nitrate enrichment promotes decline of eelgrass *Zostera marina*: Evidence from seasonal mesocosm experiments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 81, 163-178.
- Chesworth, J.C., M.E. Donkin & M.T. Brown, 2004. The interactive effects of the antifouling herbicides Irgarol 1051 and Diuron on the seagrass *Zostera marina* (L.). *Aquat. Toxicol.* 66(3): 293-305.
- De Cock, A.W.A.M., 1986. Marine Pythiaceae from decaying seaweeds in the Netherlands. *Mycotaxon* 25(1): 101-110.
- Duarte, C.M., 1995. Submerged aquatic vegetation in relation to different nutrient regimes. *Ophelia* 41, 87-112.
- Erftemeijer, P.L.A., 2002. Evaluatie ecologische effecten van baggerwerkzaamheden in de Eems voor het ingraven van een bestaande 42 inch gasleiding voor de NV Nederlandse Gasunie. WL | Delft Hydraulics, Eindrapport Z3401, 78 pp.
- Erftemeijer, P.L.A. & J.K.L. van Beek, 2004. Herstel van Nederlandse zeegrasvelden: de rol van zaadtransport. WL | Delft Hydraulics, Research Report Z3756, 33 pp. (+ appendices).
- Erftemeijer, P.L.A. & J.Wijsman, 2004. Monitoring van vogelstand, zeegrassen en mosselbanken op de Hond-Paap tijdens baggerwerkzaamheden voor het dieper leggen van de Eemzinker (gasleiding) in 2003. Studie voor de N.V. Nederlandse Gasunie. WL | Delft Hydraulics, Eindrapport Z3540, 97 pp.
- Essink, K., J. de Vlas, R. Nijssen & G.J.M. Poot, 2003. Heeft mechanische kokkelvisserij invloed gehad op de ontwikkeling van zeegras in de Nederlandse Waddenzee? Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ), Rapport RIKZ/2003.026.
- Frederiksen, M., D. Krause-Jensen, M. Holmer & J.S. Laursen, 2004. Long-term changes in area distribution of eelgrass (*Zostera marina*) in Danish coastal waters. *Aquat. Bot.* 78: 167-181.
- Giesen, W.B.J.T., 1990. Wasting disease and present eelgrass condition. University of Nijmegen, Laboratory of Aquatic Ecology, The Netherlands, 138 pp.

- Giesen, W.B.J.T., M.M. van Katwijk & C. den Hartog, 1990. Eelgrass condition and turbidity in the Dutch Wadden Sea. *Aquat. Bot.* 37: 71-85.
- Green, E.P. & F.T. Short, 2003. *World Atlas of Seagrasses*. University of California Press, Berkeley, 298 pp.
- Groeneweg, A.H., 2002. Zeegraskartering Waddenzee 2002 t.b.v. het 'Evaluatieonderzoek schelpdiervisserij' EVA-II, deels op basis van false colour luchtfoto's 1:10.000. Rijkswaterstaat, Meetkundige Dienst. 20 pp. + bijlagen.
- Groeneweg, A.H., 2004. Rapportage zaadplanten kartering Balgzand & Breehorn 2004. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, DG Rijkswaterstaat, Adviesdienst Geo-informatie en ITC, technisch rapport AGI/1104/GAE003, December 2004, 15 pp + bijlagen.
- Den Hartog, C., 1994. Suffocation of a littoral *Zostera* bed by *Enteromorpha radiata*. *Aquat. Bot.* 47: 21-28.
- Den Hartog, C., 1996. Sudden declines of seagrass beds: "wasting disease" and other disasters. In: Kuo J, Phillips RC, Walker DI, Kirkman H (eds) *Seagrass Biology: Proceedings of an International Workshop*. Rottneest Island, Western Australia, 25-29 January 1996. University of Western Australia, Nedlands, p 307-314.
- Den Hartog, C. & P.J.G. Polderman, 1975. Changes in the seagrass populations of the Dutch Waddenzee. *Aquatic Botany* 1: 141-147.
- Hermus, D.C.R., 1995. Herintroductie van zeegras in de Waddenzee. Het verloop van de beplantingen in 1992-1994 & zaadexperimenten. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen, pp. 1-94.
- De Jong, D.J. & C. Meulstee, 1989. Wieren en weiden in de Oosterschelde – de verspreiding van zeegrassen en wieren in de Oosterschelde en de gevolgen van de afbouw van de Oosterscheldedekering hierop. Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Middelburg, 40 pp.
- De Jong, F., J. Bakker, C. van Berkel, K. Dahl, N. Dankers, C. Gätje, H. Marencic & P. Potel, 2000. Wadden Sea Quality Status Report 1999. Rapport RIKZ/2000.008, 246 pp.
- De Jong, D.J., 2004. Kanskaart zeegras Waddenzee. Memo (versie 2.3), Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ, Middelburg, April 2004, 5 pp.
- De Jong, D.J., M.M. van Katwijk & Z. Jager, 2004. Zeegras in Nederland. *De Levende Natuur* 105(5): 209-211.
- De Jong et al., 2005. Groot Zeegras terug in de Waddenzee. Experiment in de westelijke Waddenzee. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat (brochure, incl. zeegras-kanskaart).
- De Jonge, V.N., 1983. Relations between annual dredging activities, suspended matter concentrations and the development of the tidal regime in the Ems estuary. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40 (Suppl.1): 289-300.
- De Jonge, V.N., 1990. Schade door kokkelvisserij en mosselzaadvisserij aan restanten van zeegrasvoorkomens in Waddenzee en Eems estuarium. Notitie GWWS-90.12062, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, 11 pp.
- De Jonge, V.N. & D.J. De Jong, 1992. Role of tide, light and fisheries in the decline of *Zostera marina* L. in the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Institute for Sea Research Publ. Ser. No. 20*: 161-176.

- De Jonge, V.N. & D.J. De Jong, 2002. 'Global change' impact of inter-annual variation in water discharge as a driving factor to dredging and soil disposal in the River Rhine system and of turbidity in the Wadden Sea. *Est. Coast. Shelf Sci.* 55: 969-991.
- De Jonge V.N., D.J. de Jong & J. van den Bergs, 1996. Reintroduction of eelgrass (*Zostera marina*) in the Dutch Wadden Sea; review of research and suggestions for management measures. *J. Coast Conserv.* 2: 149-158.
- De Jonge, V.N., M. Elliot & E. Orive, 2002. Causes, historical developments, effects and future challenges of a common environmental problem: eutrophication. *Hydrobiologia* 475/476: 1-19.
- Kamermans, P., M.A. Hemminga, D. de Jong & K.S. Dijkema, 1997. De betekenis van het zout- en silicaatgehalte in Nederlandse kustwateren voor het zeegrasareaal. BEON Rapport nr. 97-4 (NIOO 96 EH 07), 22 pp.
- Kantrud, H.A., 1991. Widgeongrass (*Ruppia maritima* L.): A Literature Review. U.S. Fish and Wildlife Service. Fish & Wildlife Research No. 10: 58 pp.
- Van Katwijk, M.M., 2000. Possibilities for restoration of *Zostera marina* beds in the Dutch Wadden Sea. PhD. thesis, Katholieke Universiteit Nijmegen, 151 pp.
- Van Katwijk, M.M., 2003. Reintroduction of eelgrass (*Zostera marina* L.) in the Dutch Wadden Sea: a research overview and management vision. In: Wolff, W.J., K. Essink, A. Kellermann & M. van Leeuwe (Eds.) Challenges to the Wadden Sea. Proceedings of the 10th International Scientific Wadden Sea Symposium, Groningen 2000. Ministry of Agriculture, Nature Management & Fisheries / University of Groningen, Dept. of Marine Biology, Den Haag, pp. 173-197.
- Van Katwijk, M.M. & D.C.R. Hermus, 2000. Effects of water dynamics on *Zostera marina*: transplantation experiments in the intertidal Dutch Wadden Sea. *Marine Ecology Progress Series* 208: 107-118.
- Van Katwijk, M.M. & L.J.M. Wijgengangs, 2004. Effects of locally varying exposure, sediment type and low-tide water cover on *Zostera marina* recruitment from seed. *Aquat. Bot.* 80: 1-12.
- Van Katwijk, M.M., Vergeer, L.H.T., Schmitz, G.H.W. & J.G.M. Roelofs, 1997. Ammonium toxicity in eelgrass *Zostera marina*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 157, 159-173.
- Van Katwijk, M.M., Schmitz, G.H.W., Gasseling, A.M. & P.H. Van Avesaath, 1999. The effects of salinity and nutrient load and their interaction on *Zostera marina* L. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 190, 155-165.
- Van Katwijk, M.M., Wijgengangs, L.J.M. & D.C.R. Hermus, 2000a. Standplaatsonderzoek Groot zeegras (*Zostera marina* L.). Vergelijking van vier Nederlandse zeegrasvelden. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen.
- Van Katwijk, M.M., Hermus, D.C.R., de Jong, D.J., Asmus, R.M. & V.N. de Jonge, 2000b. Habitat suitability of the Wadden Sea for restoration of *Zostera marina* beds. *Helgol. Mar. Res.* 54, 117-128.
- Van Katwijk, M.M., S. van Pelt & N. Dankers, 2002. Herintroductie van Groot Zeegras in de westelijke Waddenzee (2002-2006). Inventarisatie van bestaande kennis, selectie van locaties en plan van aanpak. Werkdocument RIKZ/OS/2002.609x, 75 pp.

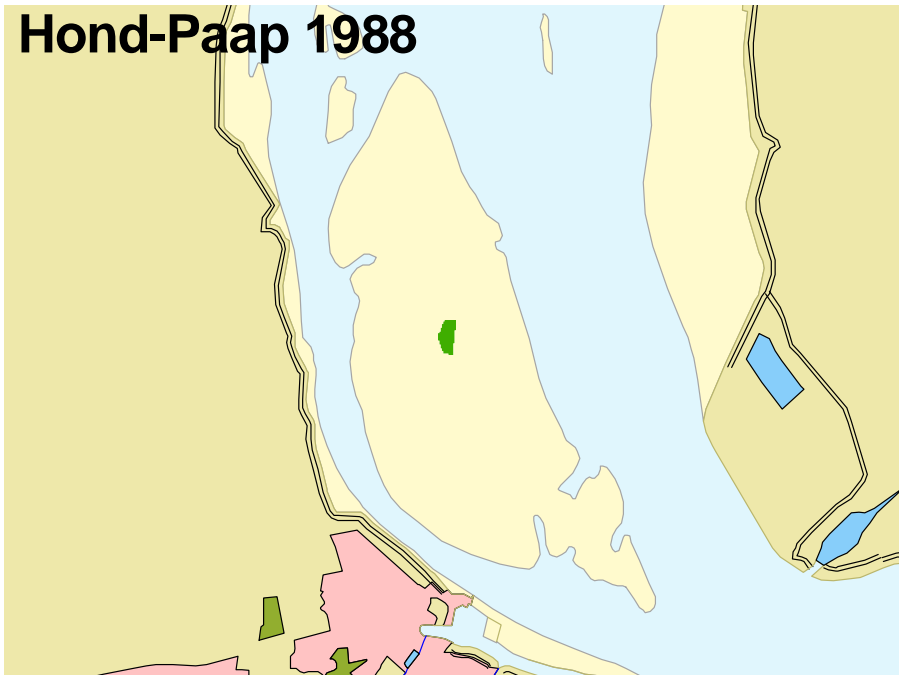
- Kennis, P. & R. de Vries, 1992. De overwintering van *Zostera marina* L. op Terschelling en Sylt en kiemingsexperimenten met *Zostera marina* L. populaties. Doctoraalverslag Aquatische Oecologie KUN No. 334.
- Koppejan, H., A.H. Groeneweg & B.J.M. Jansen, 2001. Standaardvoorschrift macrophytobenthoskartering in de Waddenzee en Oosterschelde. Ministerie van Verkeer en Waterstaat – Meetkundige Dienst, rapport MD-GAE-2001.24, Juni 2001, 38 pp.
- LNV, 2004a. Resultaten wetenschappelijk onderzoek EVA II – publieksversie. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag, 42 pp.
- LNV, 2004b. Besluit Rode lijsten flora en fauna. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, document noo. TRCJZ/2004/5727. (zie www9.minlnv.nl/.../SOORTENBESCHERMING/MLV_DOCS_RODE_LIJSTEN/BESLUITRODELIJSTEN.PDF).
- Major, W.W., C.E. Grue, J.M. Grassley & L.L. Conquest, 2004. Non-target impacts to eelgrass from treatments to control *Spartina* in Willapa Bay, Washington. *J. Aquat. Plant Mgt.* 42: 11-17.
- Marijnissen, S., B. Frederiks, T. Smit & K. van de Ven, 2001. Emissies naar de Waddenzee 1985-1999. Rapport RIKZ/2001.048.
- Nienhuis, P.H., B.H.H. de Bree, P.M.J. Herman, A.M.B. Holland, J.M. Verschuure & E.G.J. Wessel, 1996. Twentyfive years of changes in the distribution and biomass of eelgrass, *Zostera marina*, in Grevelingen Lagoon, The Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 30(2-3): 107-117.
- Philippart, C.J.M., K.S. Dijkema & J. van der Meer, 1992. Wadden Sea seagrasses: where and why? *Neth. Inst. Sea Res. Publ. Ser.* 20: 177-191.
- Philippart, C.J.M. 1994. Eutrophication as a possible cause of decline in the seagrass *Zostera noltii* of the Dutch Wadden Sea. Ph.D thesis, University of Wageningen, 157 pp.
- Polderman, P.J.G. & C. den Hartog, 1975. De zeegrassen in de Waddenzee. *Wetensch. Meded. K.N.N.V.*, 107: 1-32.
- Reise, K. et al., 2004. Chapter 8.3 Seagrasses. Wadden Sea Quality Status Report QSR8.3, draft document. 3 pp.
- Reusch, T.B.H. & A.R.O. Chapman, 1995. Storm effects on eelgrass (*Zostera marina* L.) and blue mussel (*Mytilus edulis* L.) beds. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 192: 257-271.
- Rijkswaterstaat, 2003. Jaarboek Waddenzee 2002. Rijkswaterstaat – Directie Noord-Nederland, Haren, November 2003, 84 pp.
- Scarlett, A., P. Donkin, T.W. Fileman, S.V. Evans & M.E. Donkin, 1999. Risk posed by the antifouling agent Irgarol 1051 to the seagrass *Zostera marina*. *Aquat. Toxicol.* 45: 159-170.
- Schramm, W. & P.H. Nienhuis (Eds.), 1996. *Marine Benthic Vegetation: Recent Changes and the Effects of Eutrophication*. Springer, Berlin, 470 pp.
- Schwarzschild, A.C., W.G. Macintyre, K.A. Moore & E.L. Libelo, 1994. *Zostera marina* L. growth response to atrazine in root-rhizome and whole plant exposure experiments. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 183: 77-89.

- Short, F.T. & S. Wyllie-Echeverria, 1996. Natural and human induced disturbance of seagrasses. *Environ. Conserv.* 23: 17-27.
- Vries, I. de, R.N.M. Duin, J.C.H. Peeters, F.J. Los, M. Bokhorst & R.W.P.M. Laane, 1998. Patterns and trends in nutrients and phytoplankton in Dutch coastal waters: comparison of time-series analysis, ecological model simulation, and mesocosm experiments. *ICES Journal of Marine Science* 55: 620-634.
- Wijgergangs, L.J.M. & D.J. de Jong, 1999. Een ecologisch profiel van zeegras en de verspreiding in Nederland. Katholieke Universiteit Nijmegen (in opdracht van Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ), 75 pp.

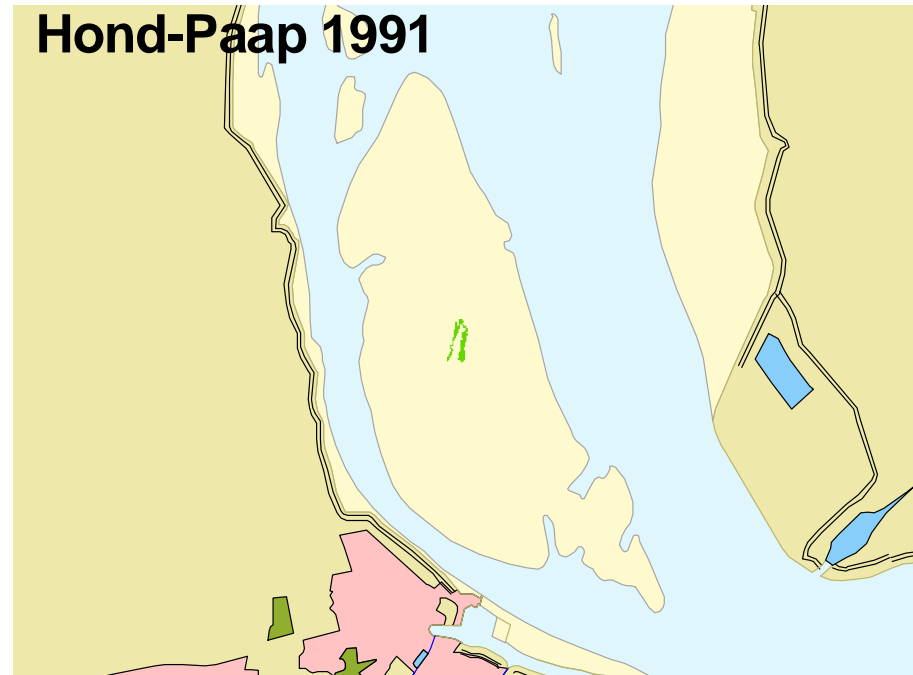
Appendices

A.1 Verspreidingskaartjes van zeegras op diverse locaties in de Nederlandse Waddenzee

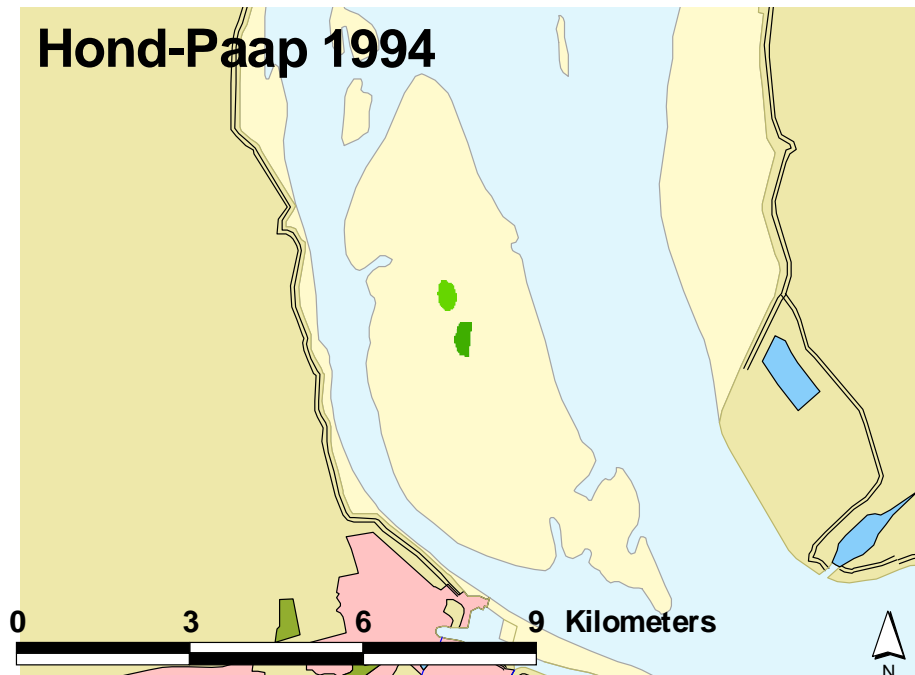
Hond-Paap 1988



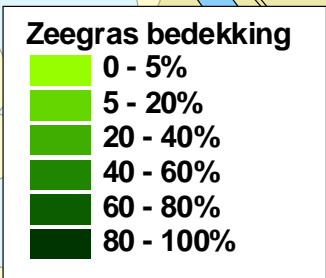
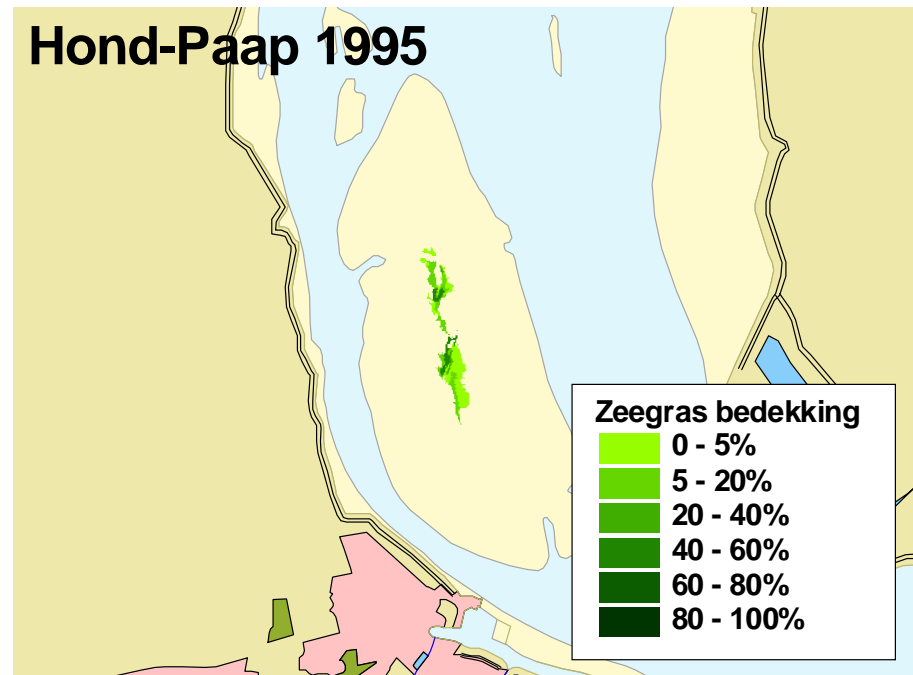
Hond-Paap 1991



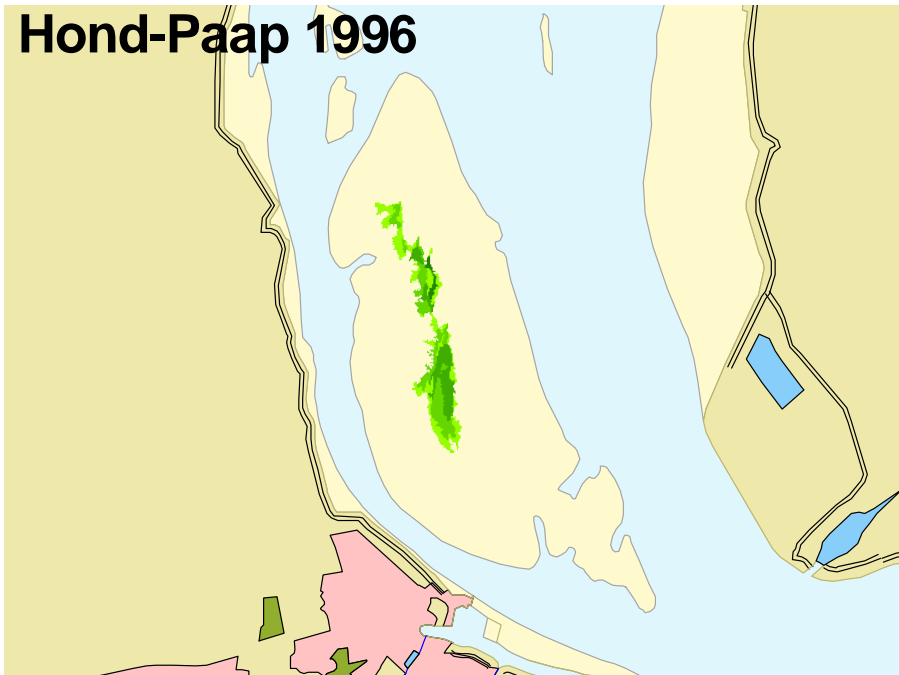
Hond-Paap 1994



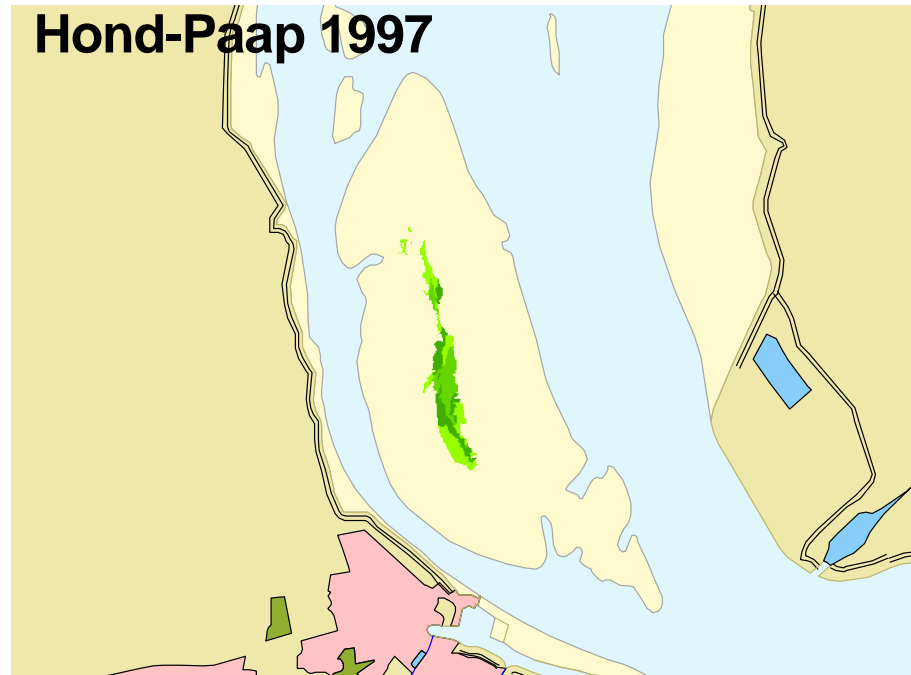
Hond-Paap 1995



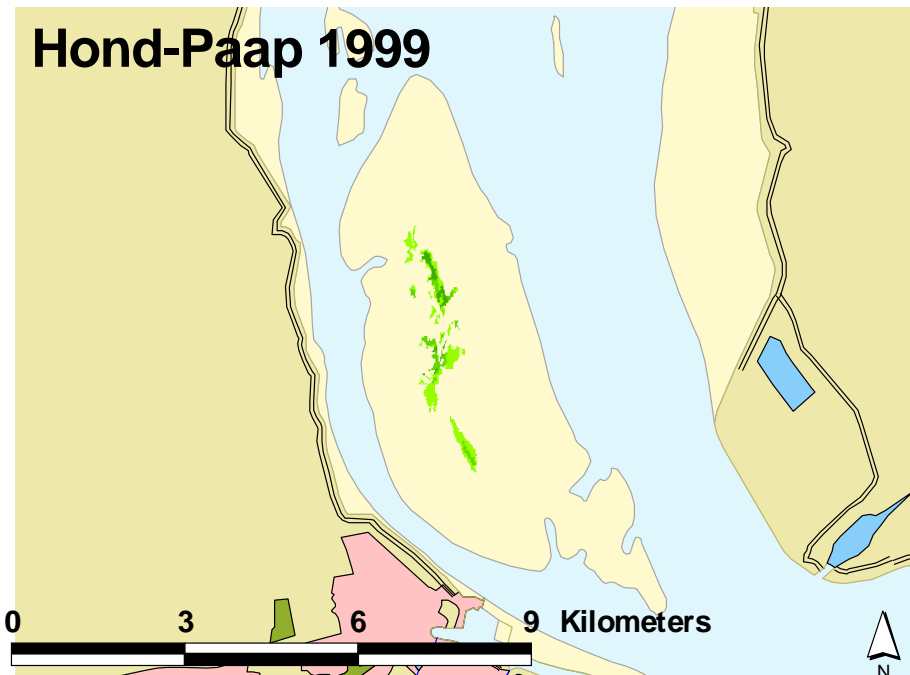
Hond-Paap 1996



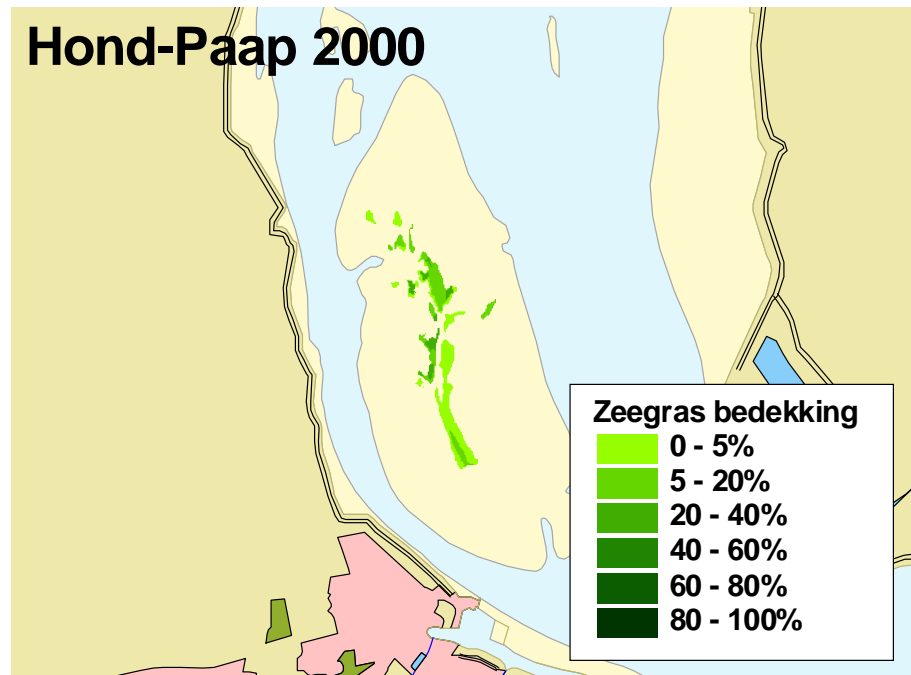
Hond-Paap 1997



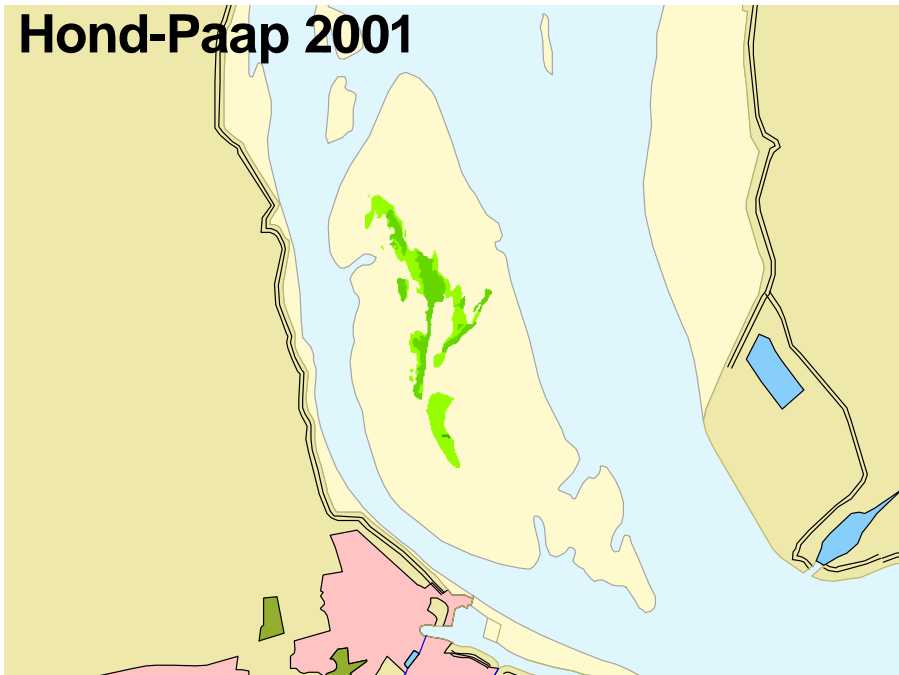
Hond-Paap 1999



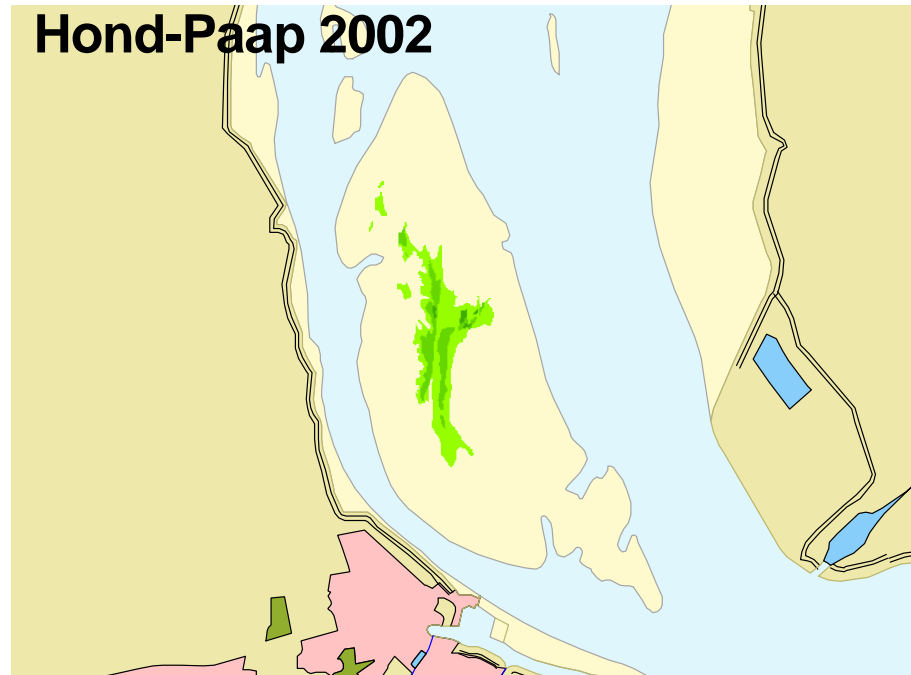
Hond-Paap 2000



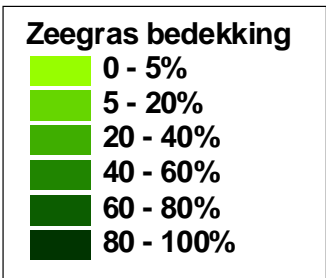
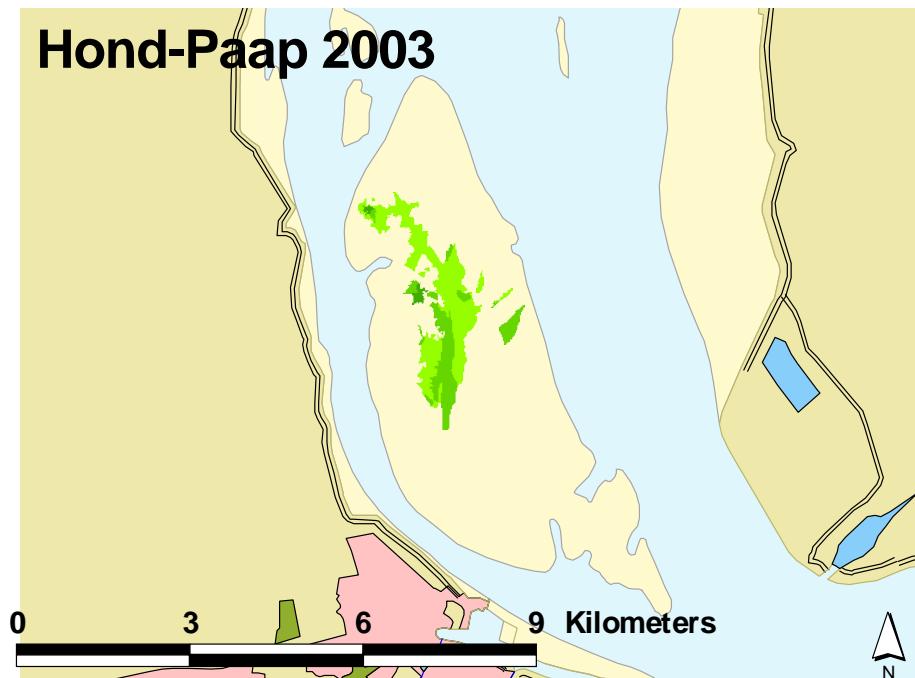
Hond-Paap 2001



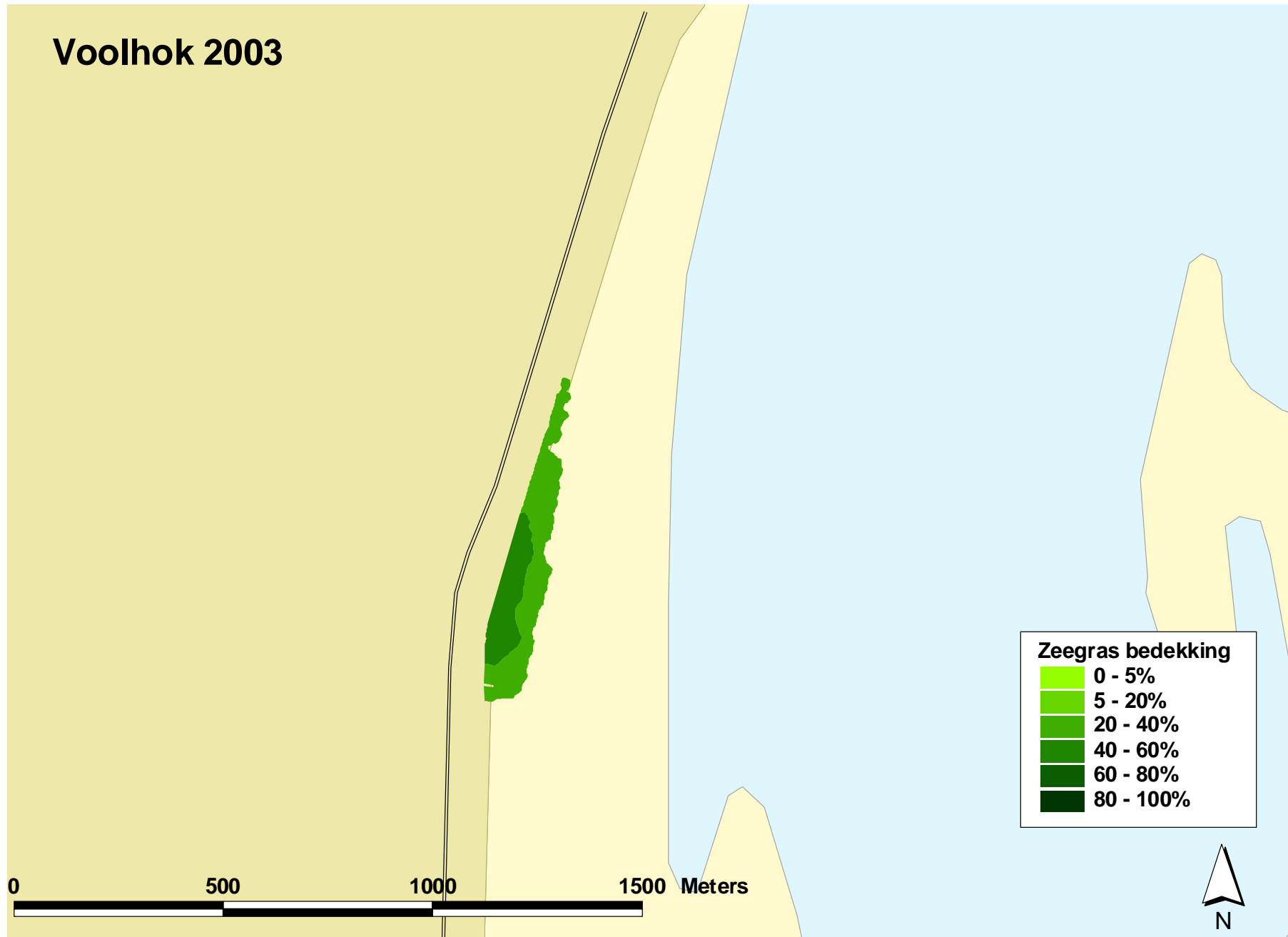
Hond-Paap 2002



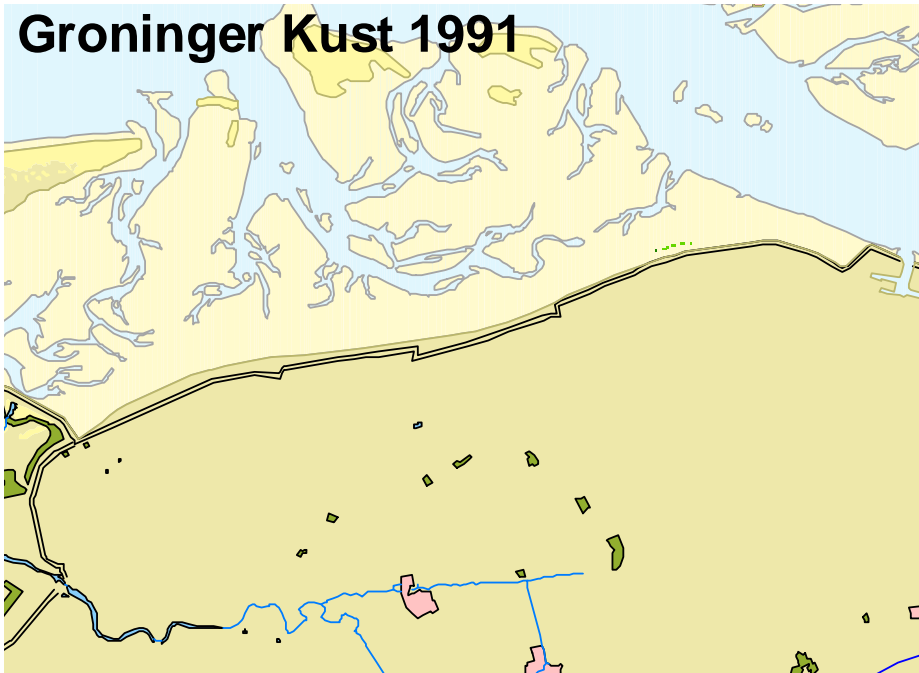
Hond-Paap 2003



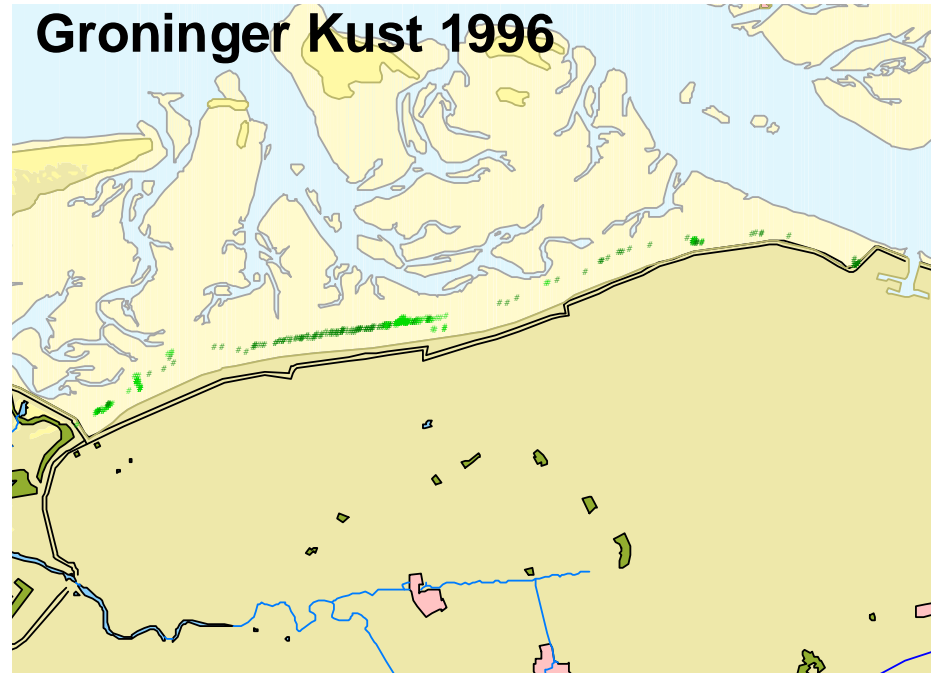
Voolhok 2003



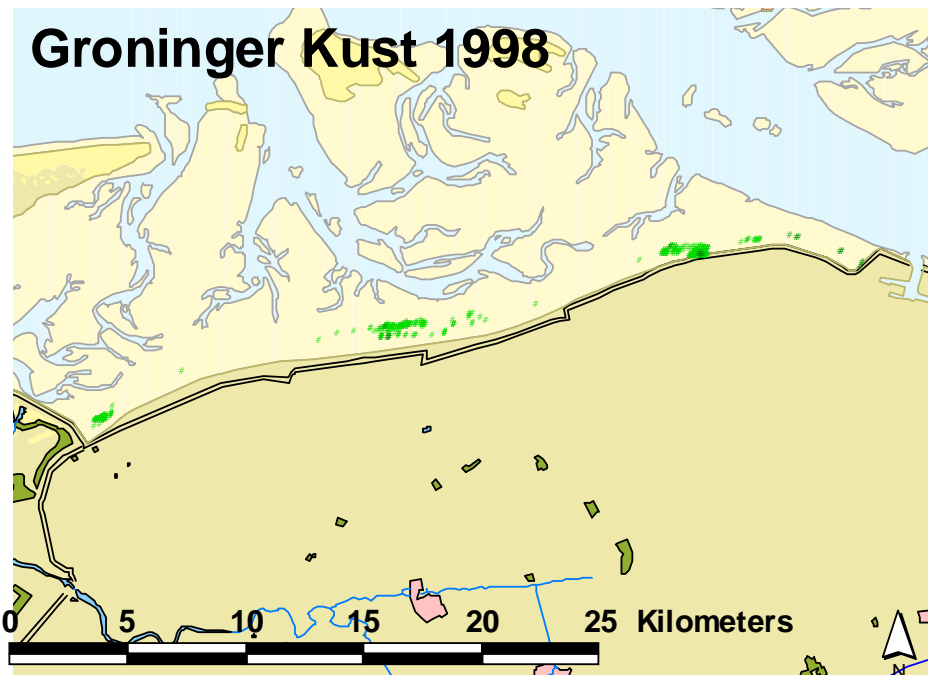
Groninger Kust 1991



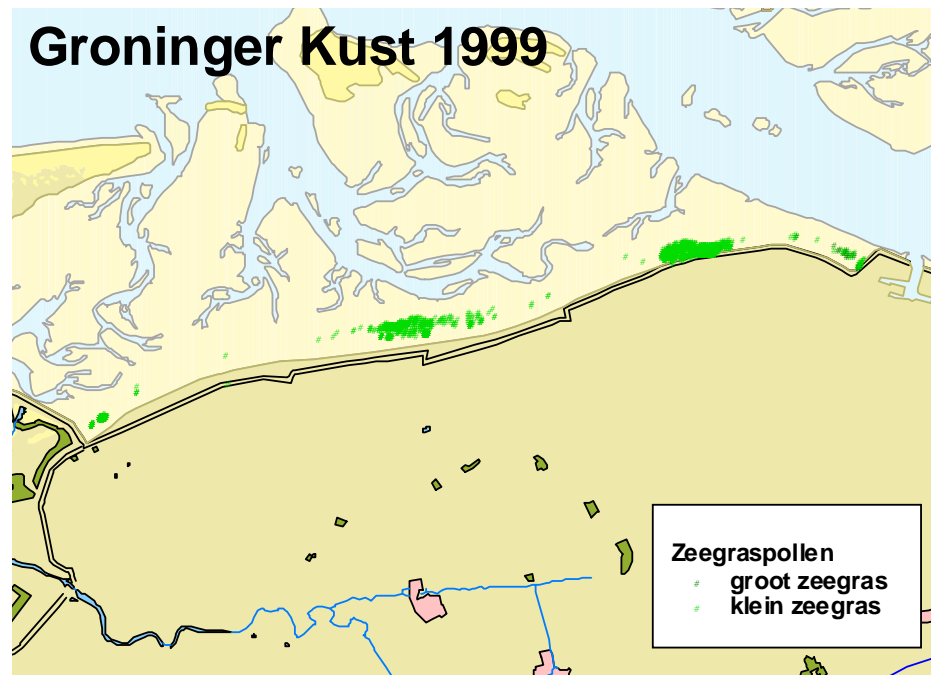
Groninger Kust 1996



Groninger Kust 1998

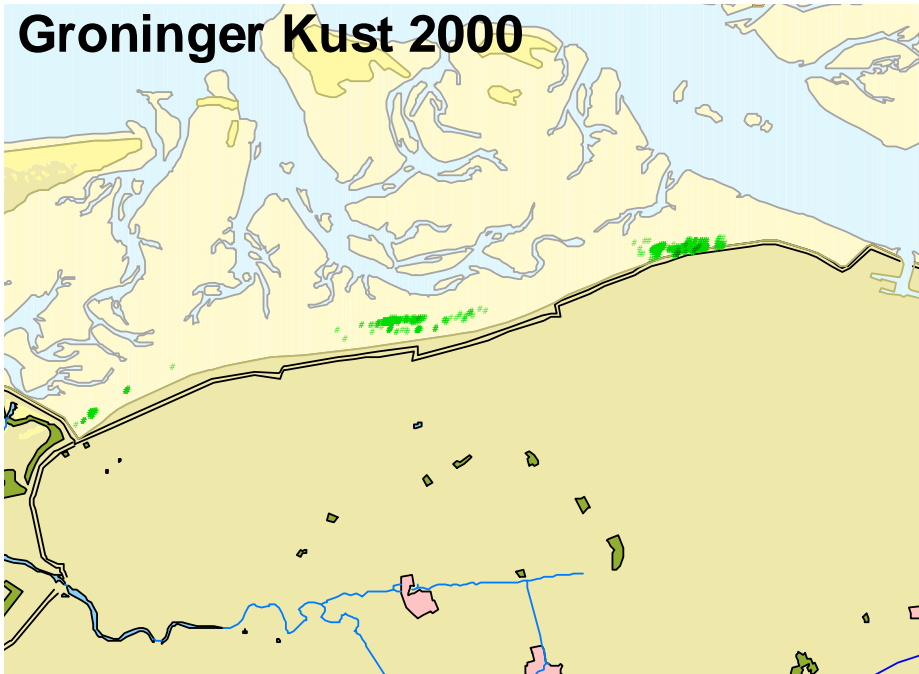


Groninger Kust 1999

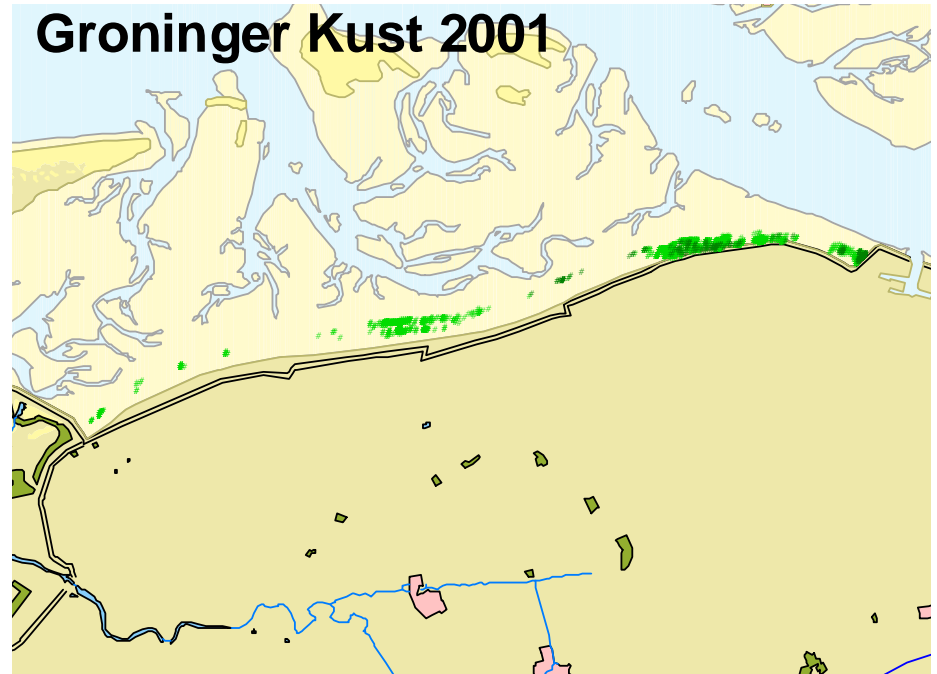


Zeegraspollen
groot zeegras
klein zeegras

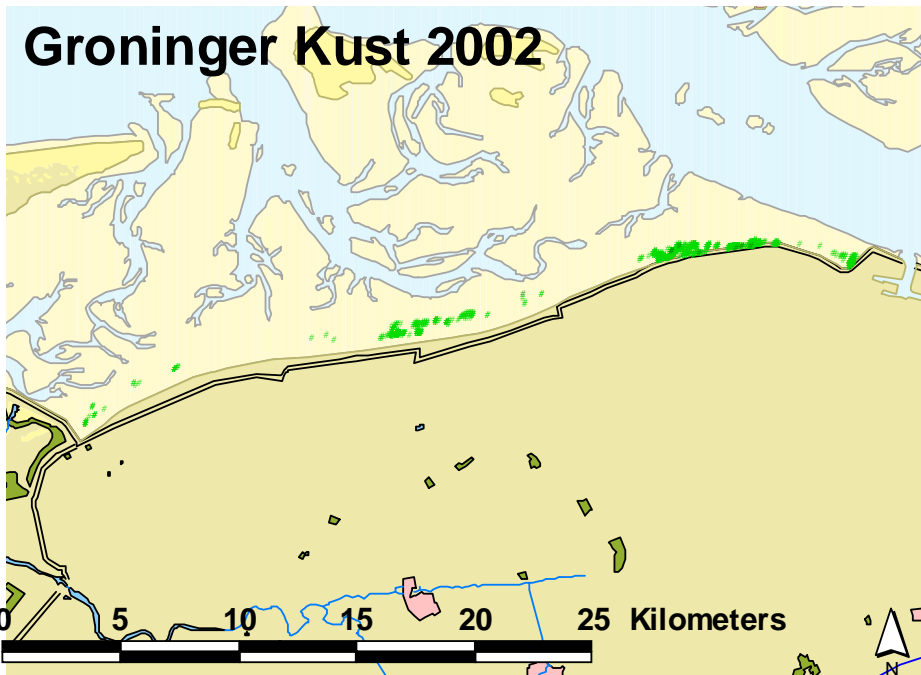
Groninger Kust 2000



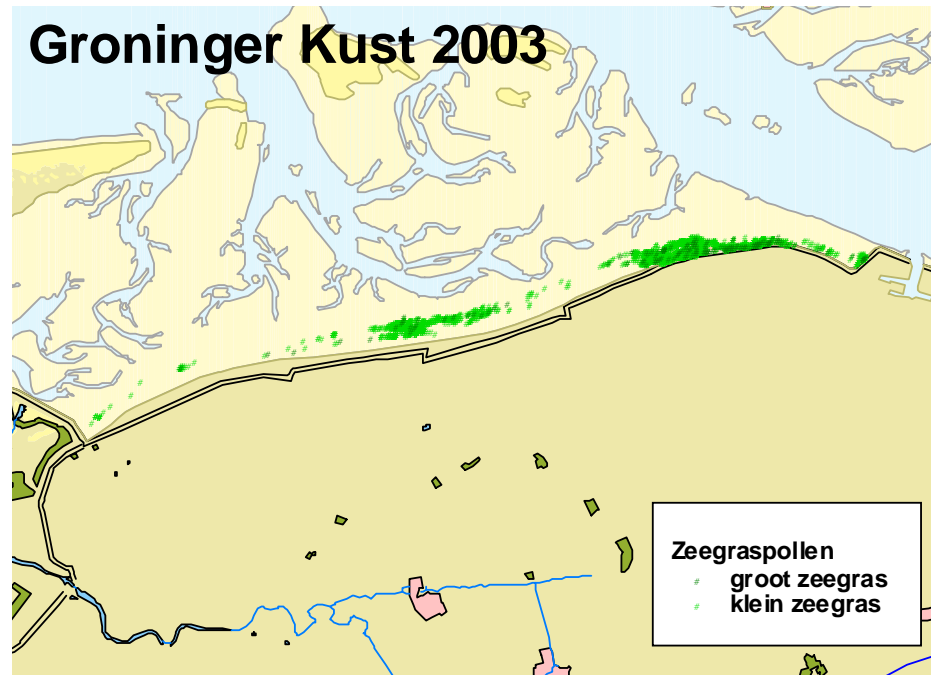
Groninger Kust 2001

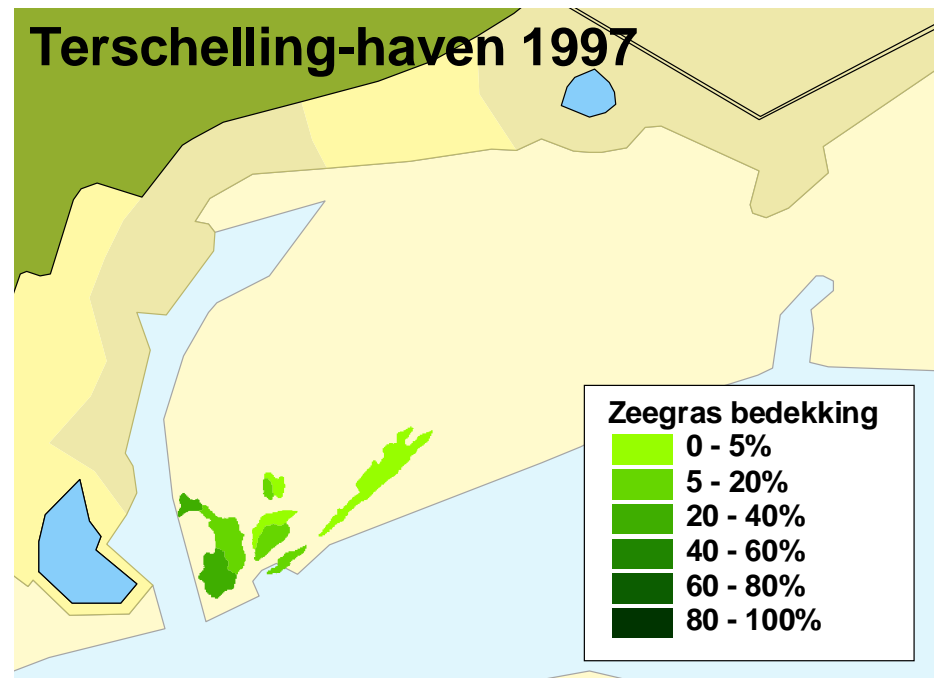
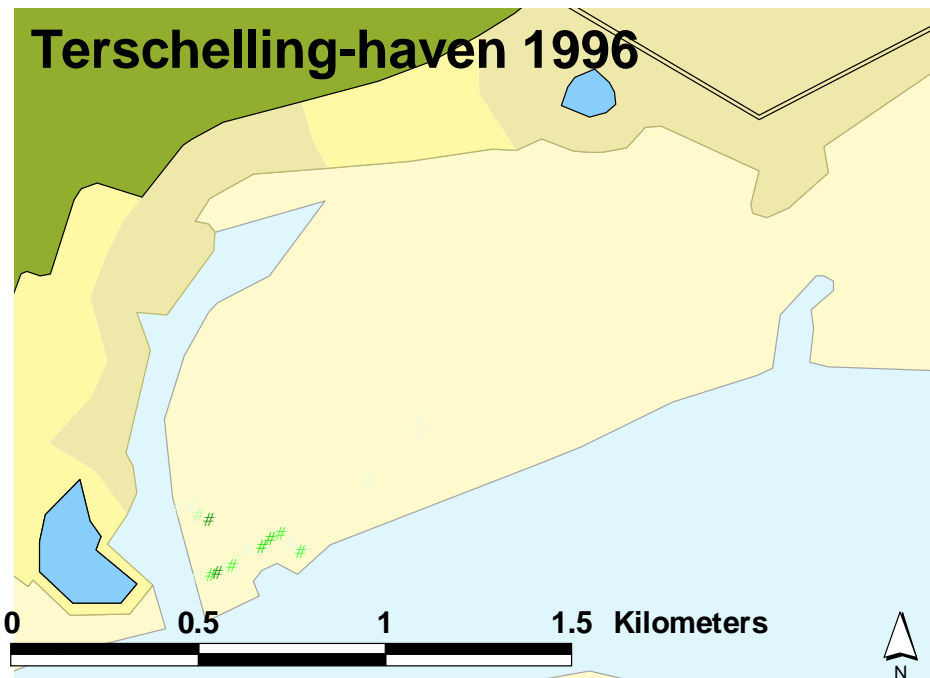
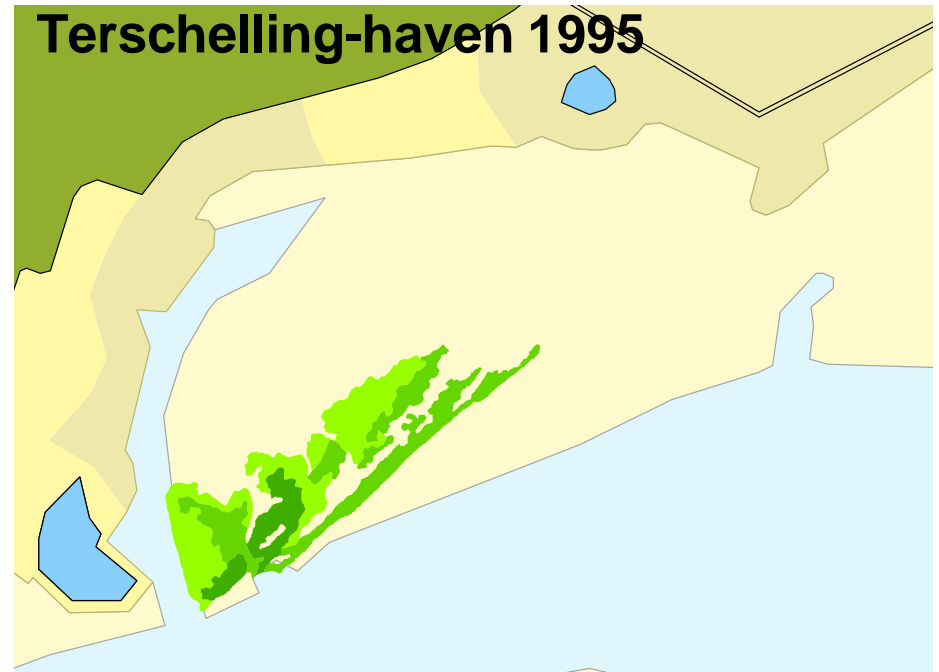
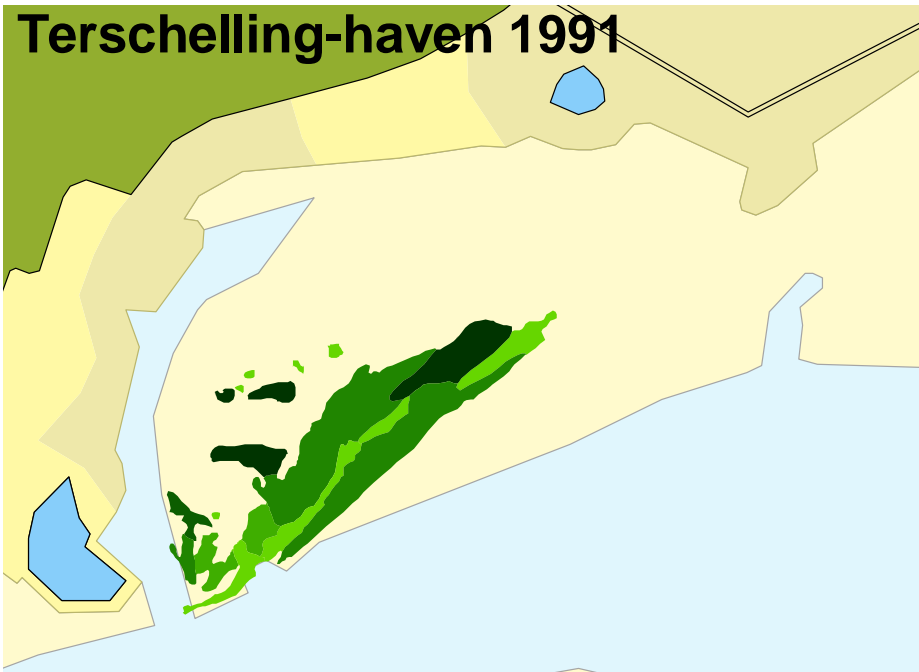


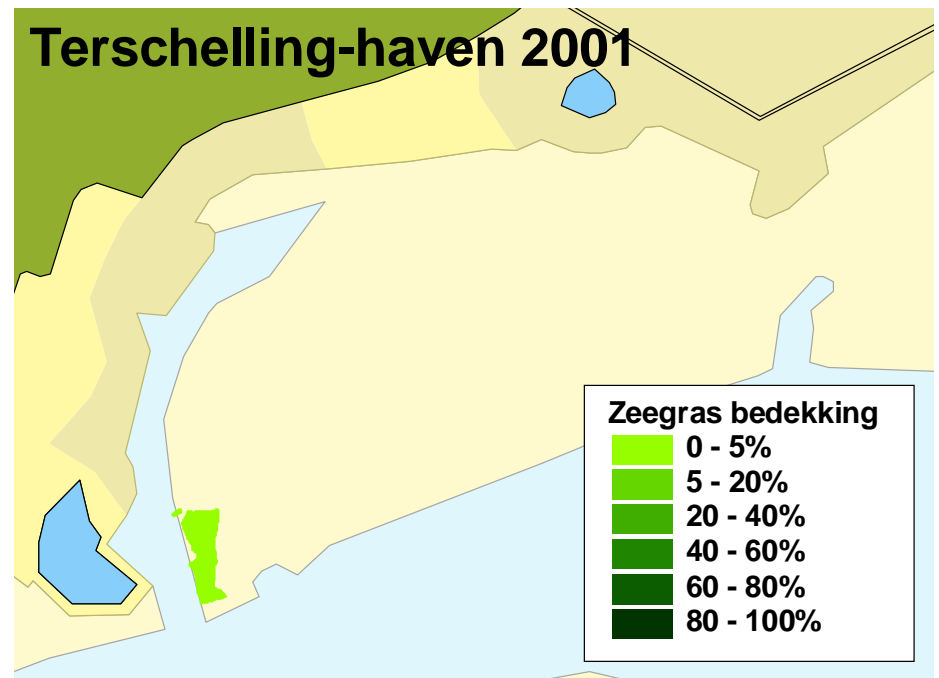
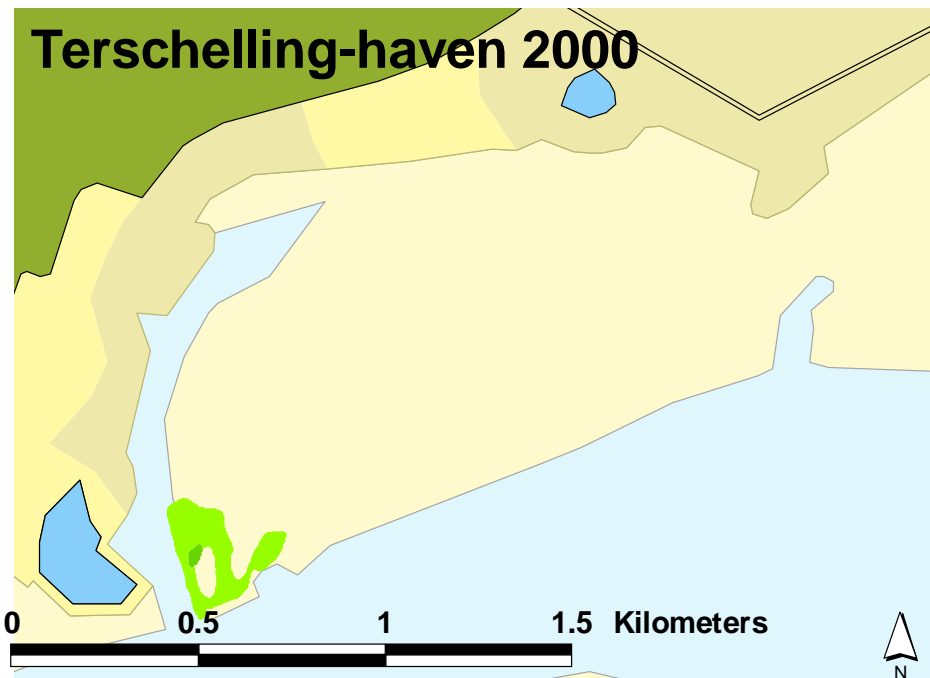
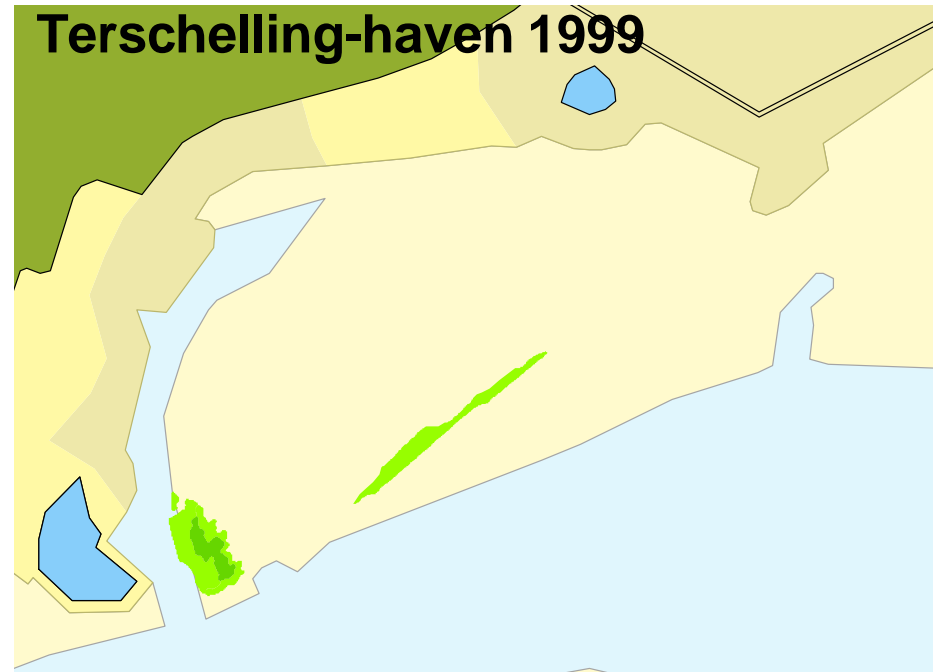
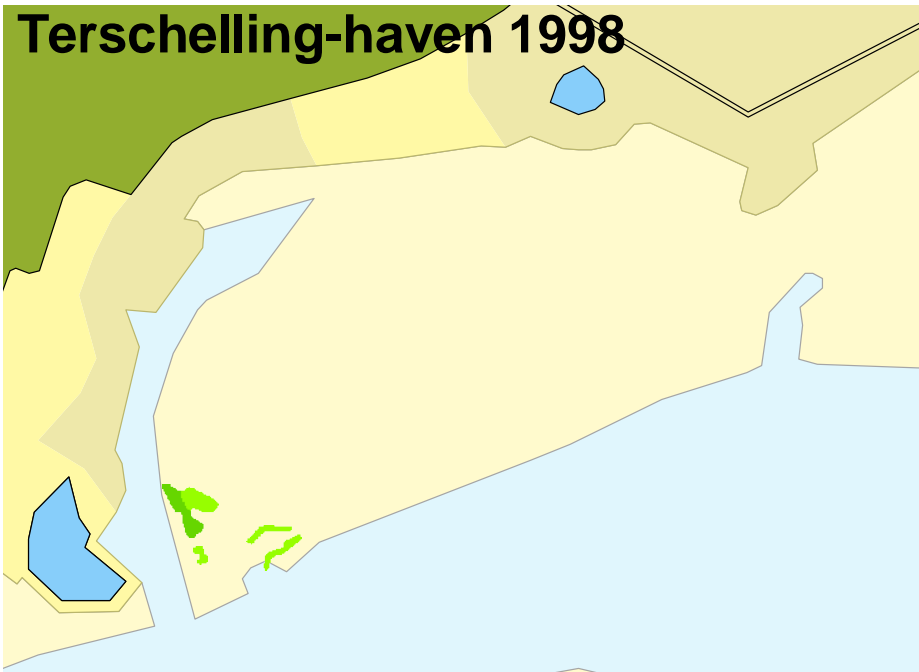
Groninger Kust 2002



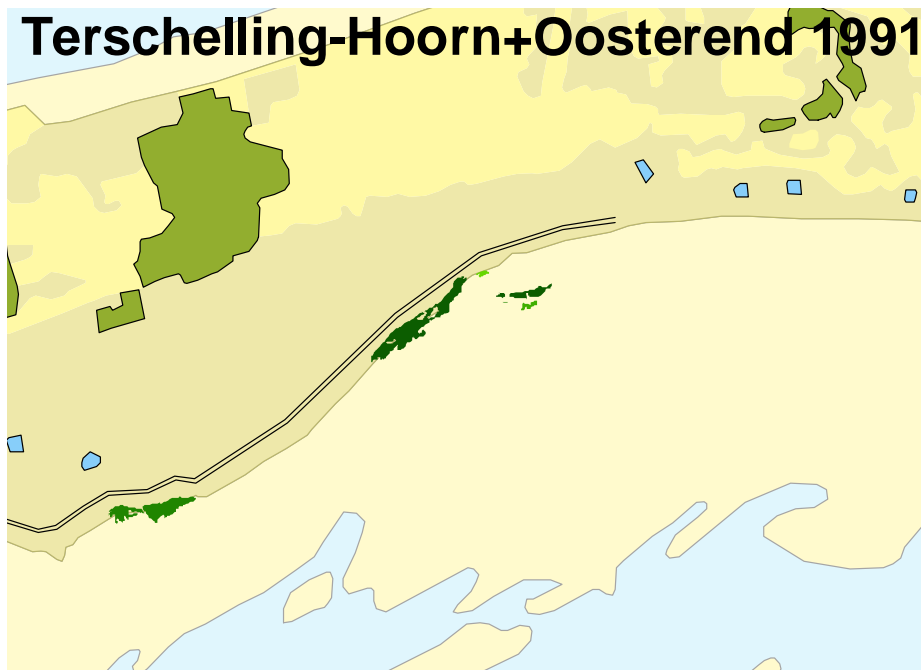
Groninger Kust 2003



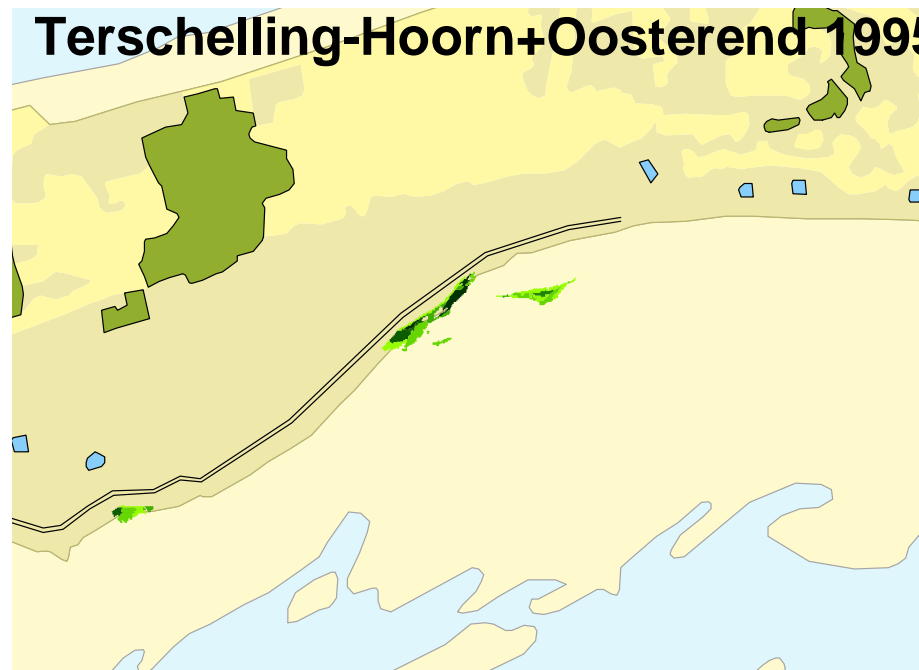




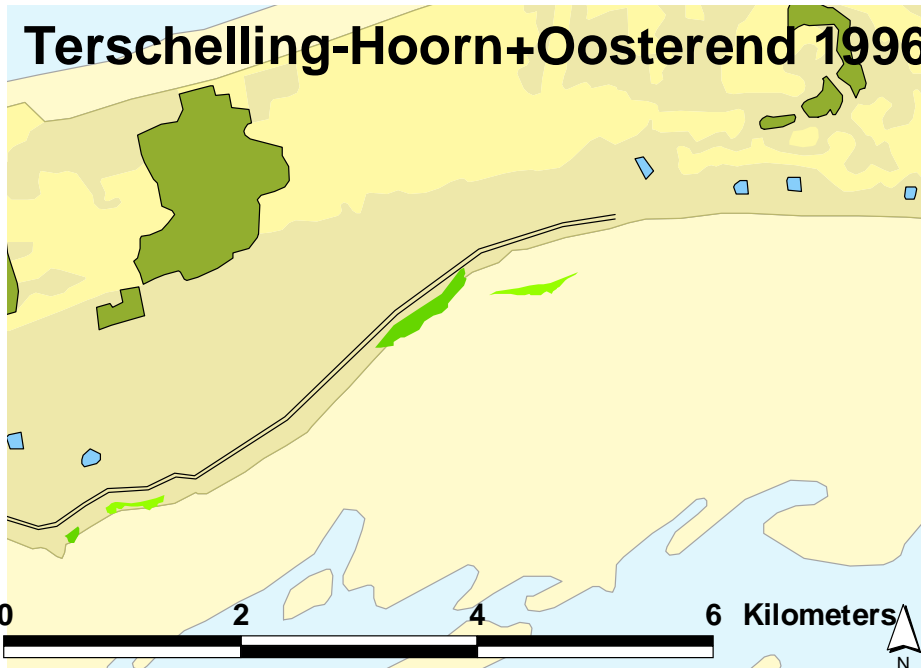
Terschelling-Hoorn+Oosterend 1991



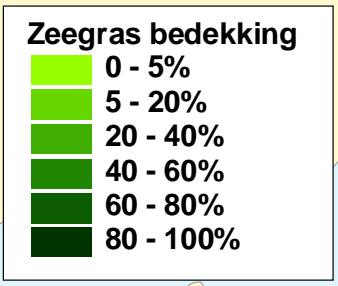
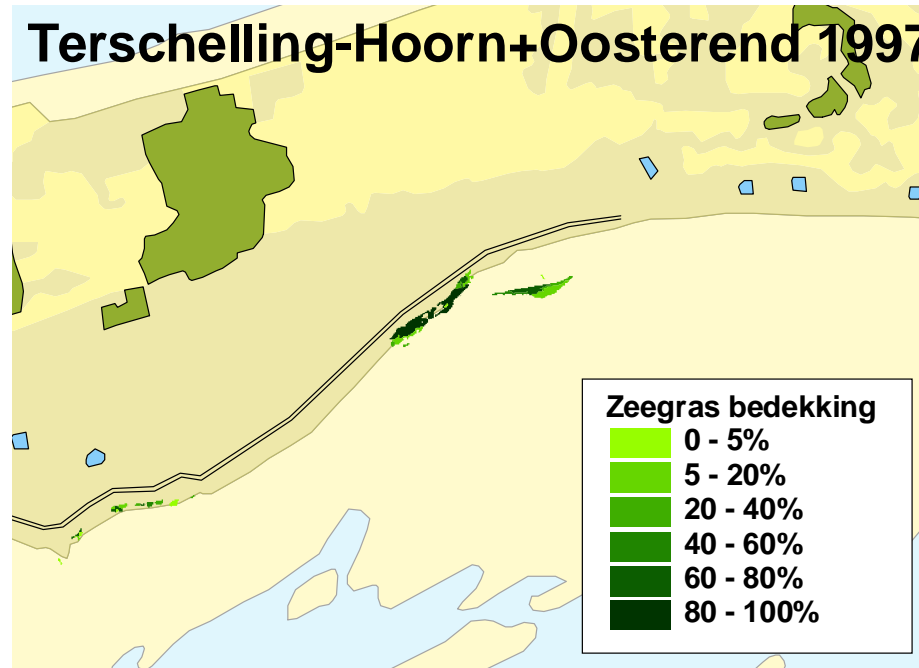
Terschelling-Hoorn+Oosterend 1995



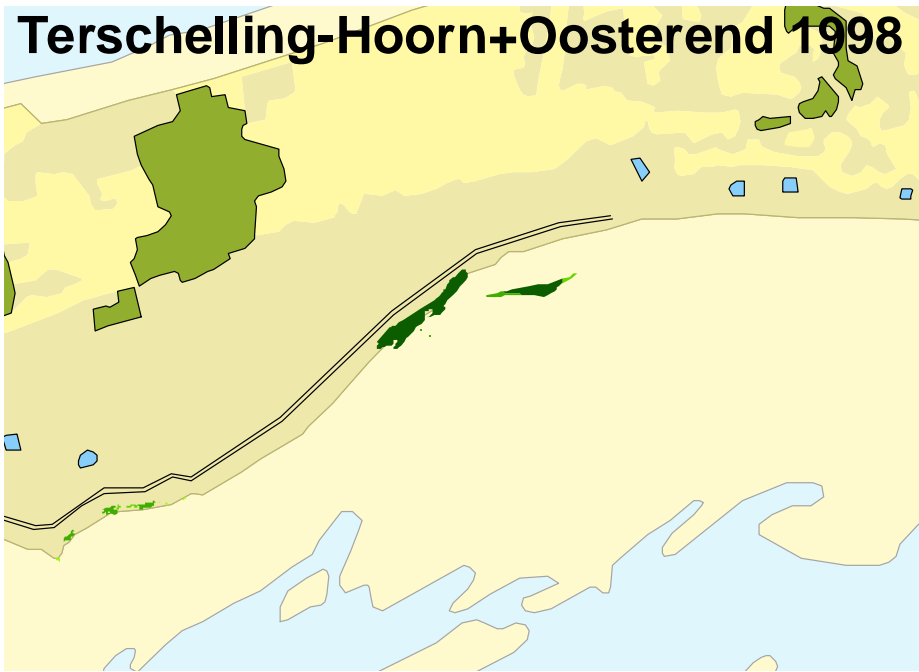
Terschelling-Hoorn+Oosterend 1996



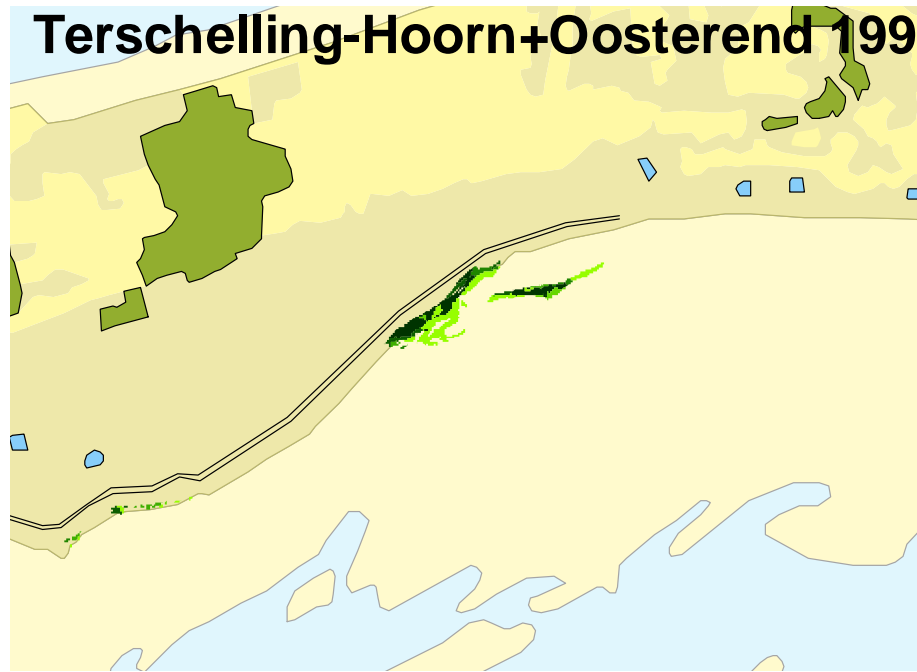
Terschelling-Hoorn+Oosterend 1997



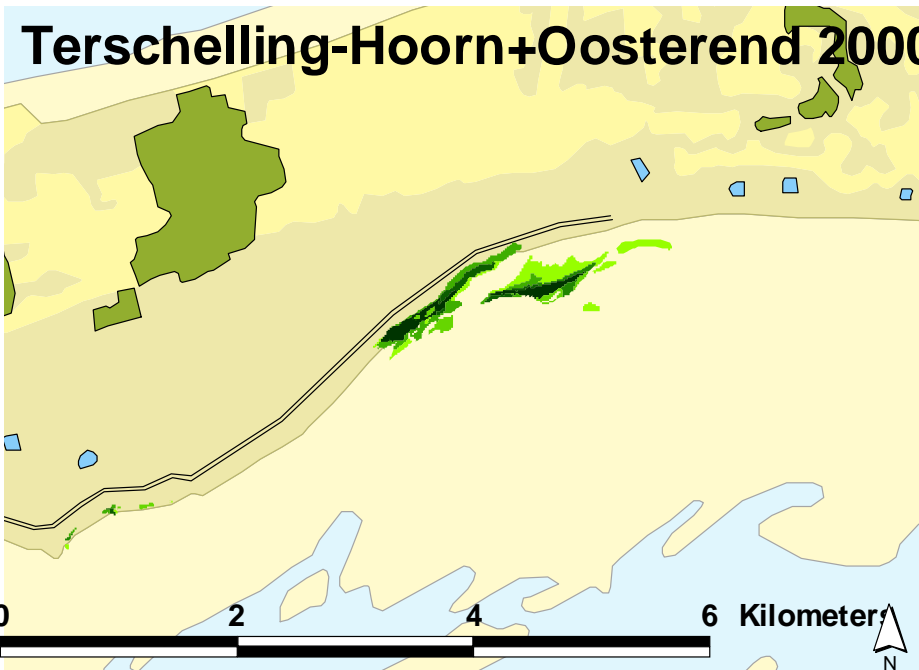
Terschelling-Hoorn+Oosterend 1998



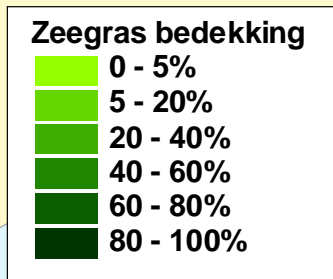
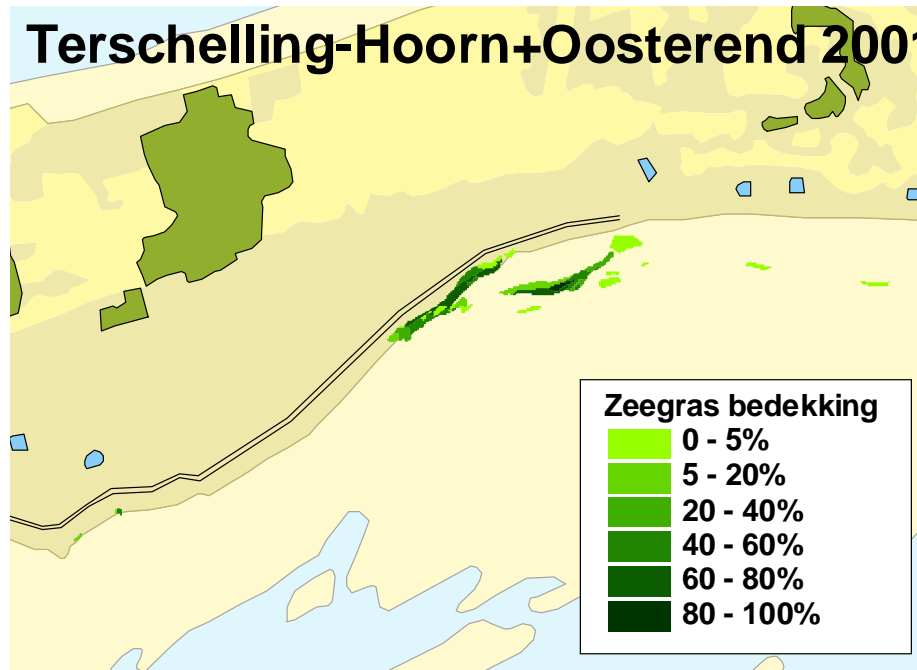
Terschelling-Hoorn+Oosterend 1999



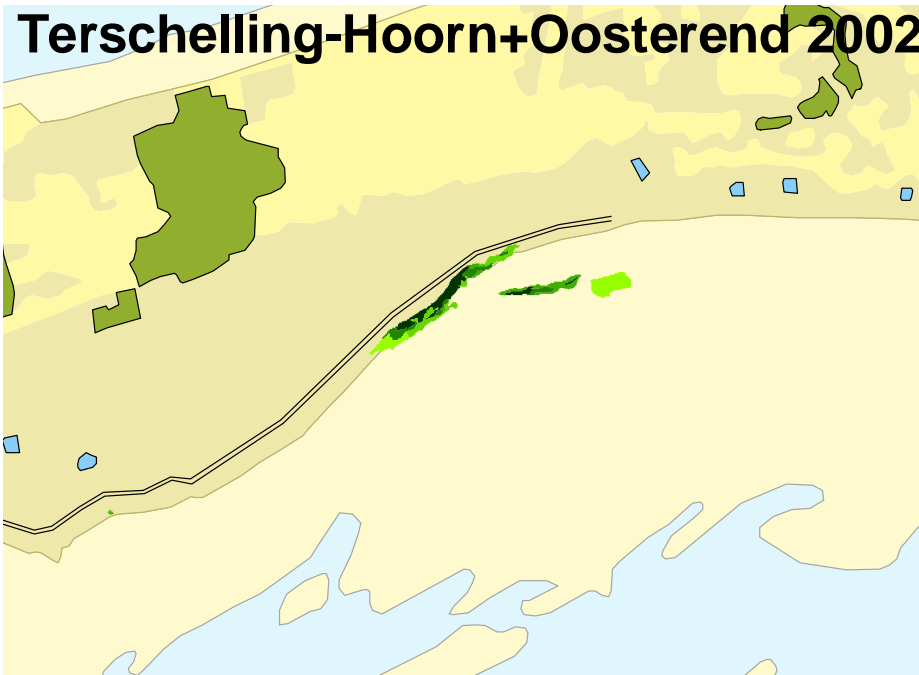
Terschelling-Hoorn+Oosterend 2000



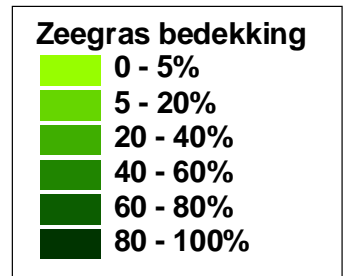
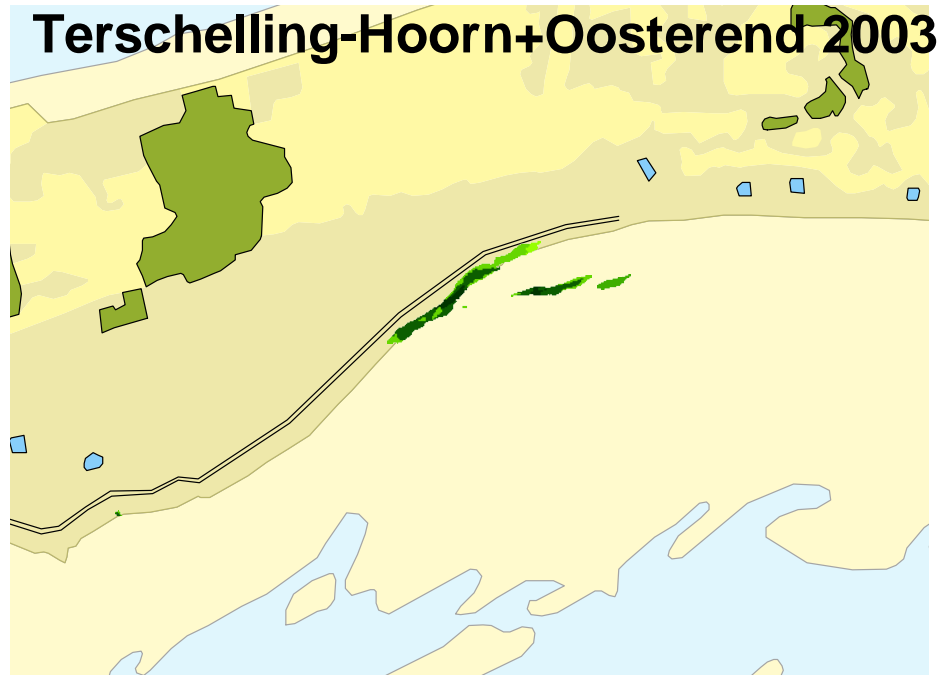
Terschelling-Hoorn+Oosterend 2001



Terschelling-Hoorn+Oosterend 2002

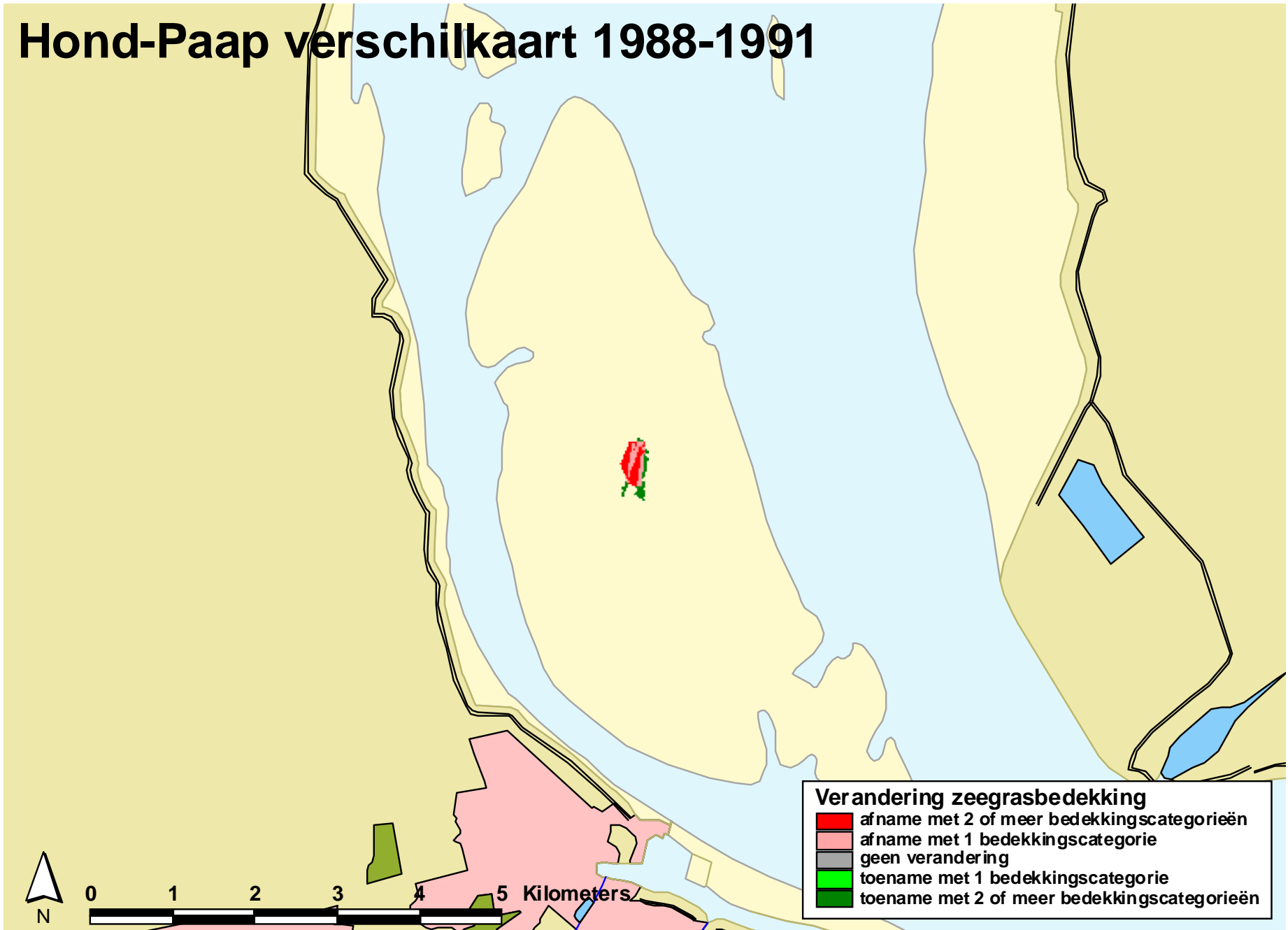


Terschelling-Hoorn+Oosterend 2003

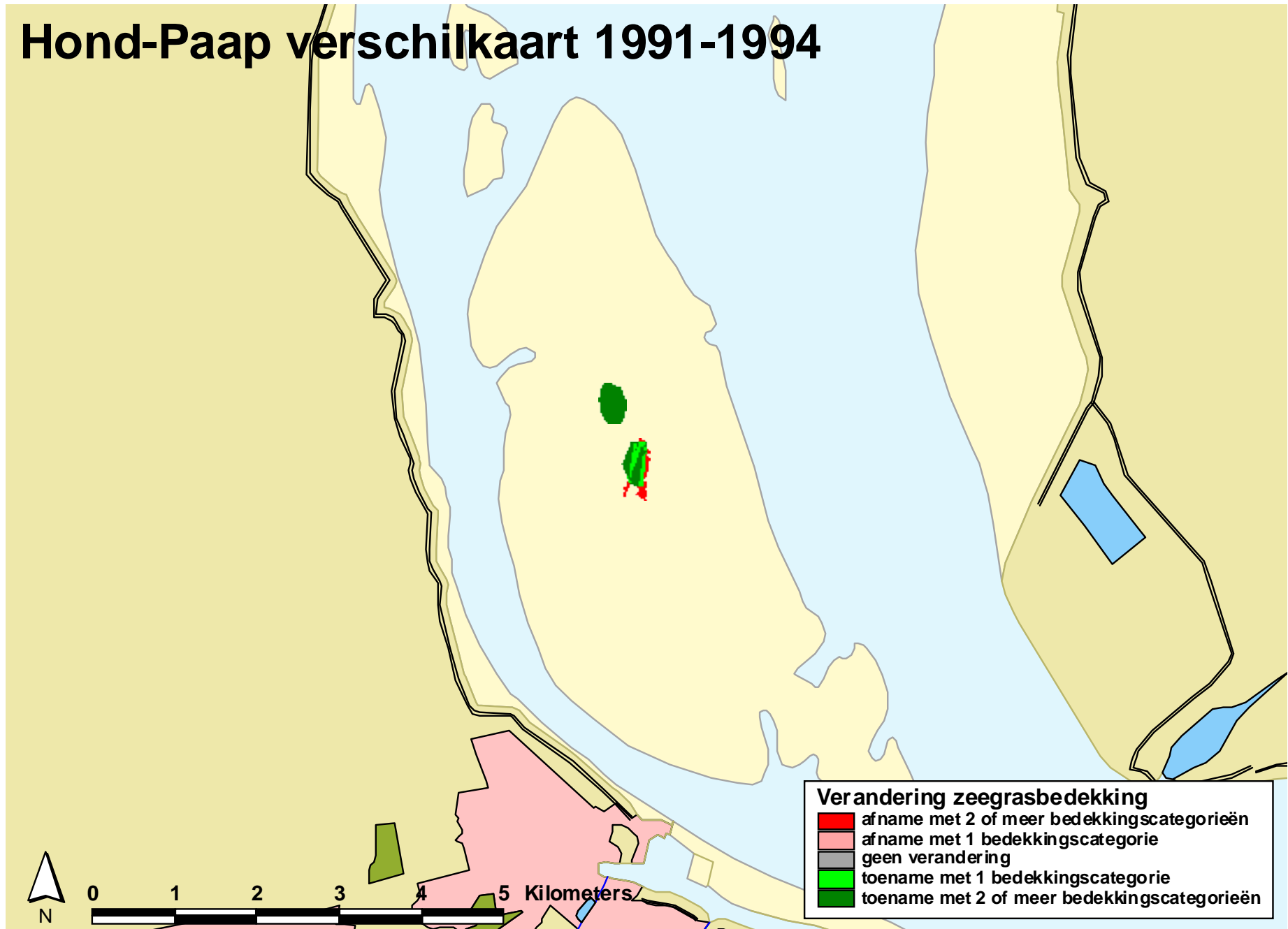


A.2 Verschilkaartjes van jaar-tot-jaar in zeegrasvoorkomen op diverse locaties in de Nederlandse Waddenzee

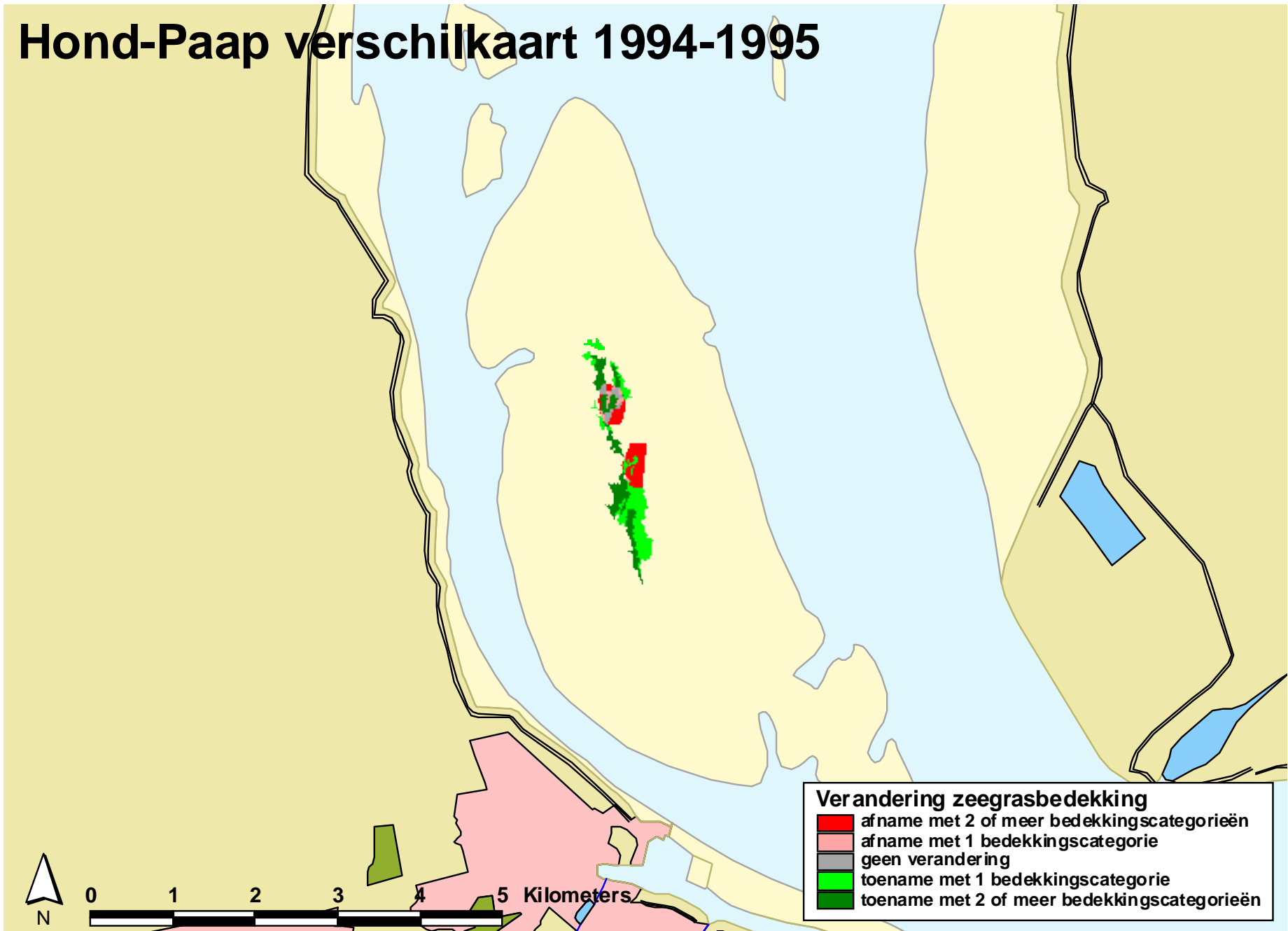
Hond-Paap verschilkaart 1988-1991



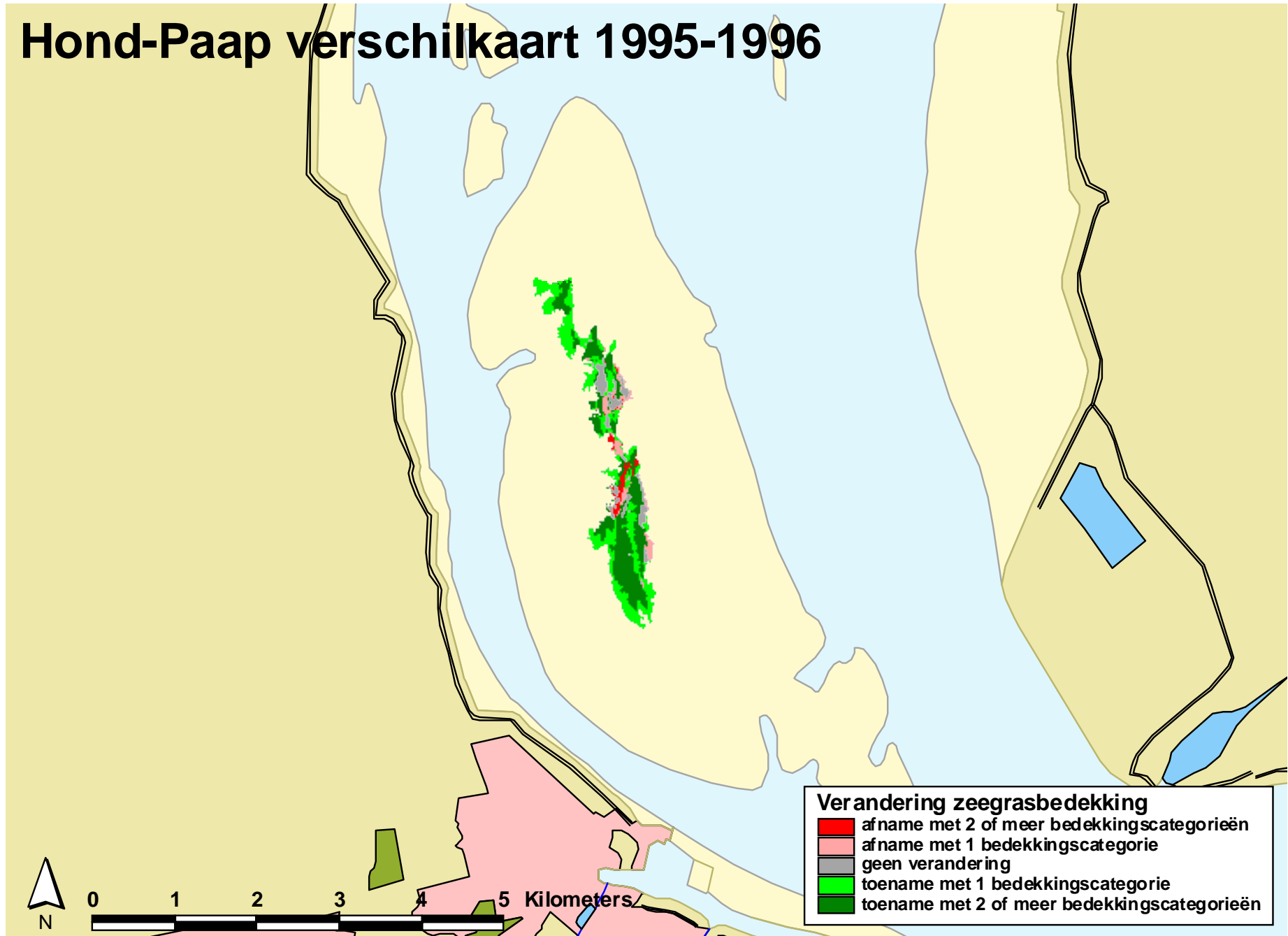
Hond-Paap verschilkaart 1991-1994



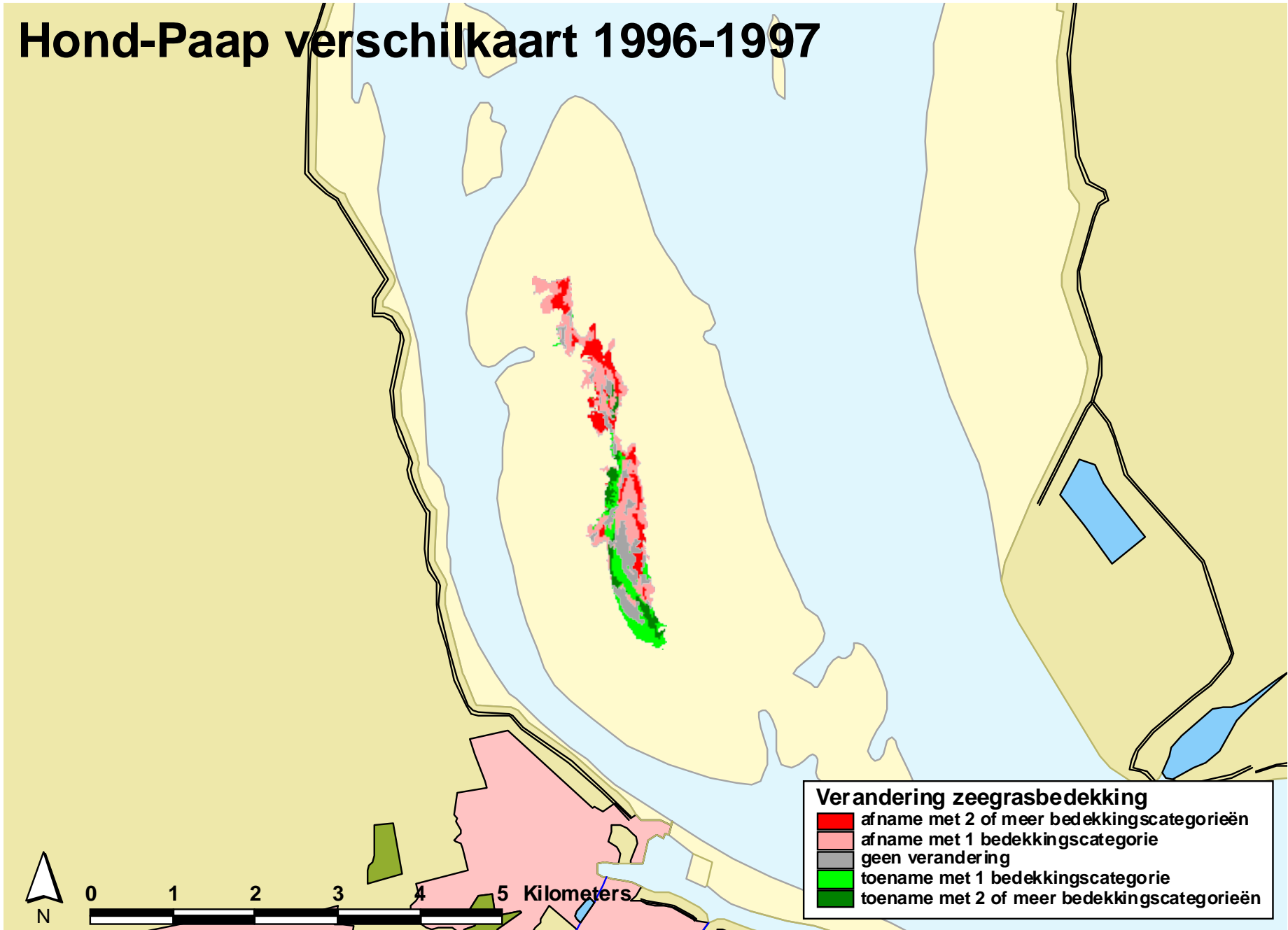
Hond-Paap verschilkaart 1994-1995



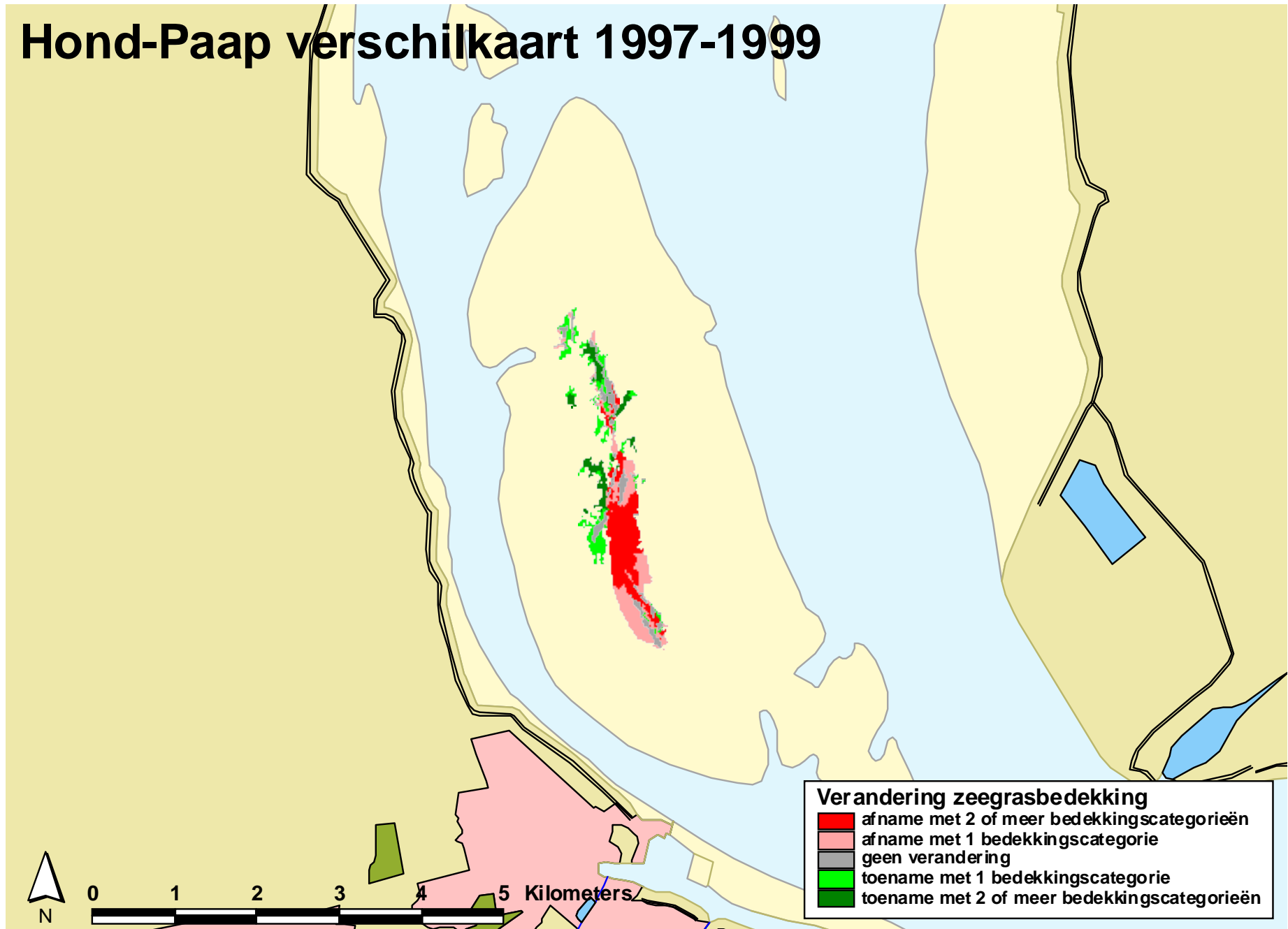
Hond-Paap verschilkaart 1995-1996



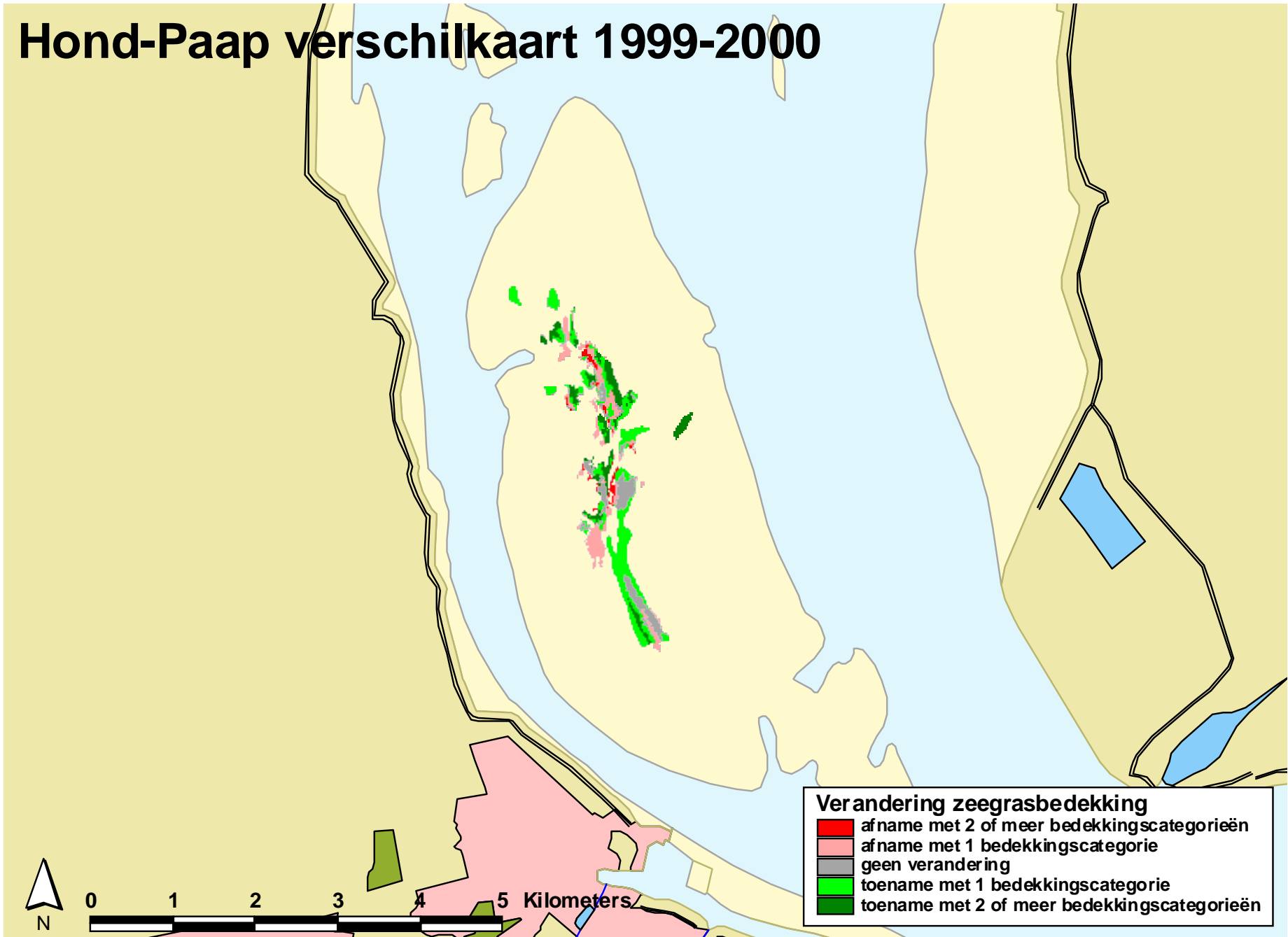
Hond-Paap verschilkaart 1996-1997



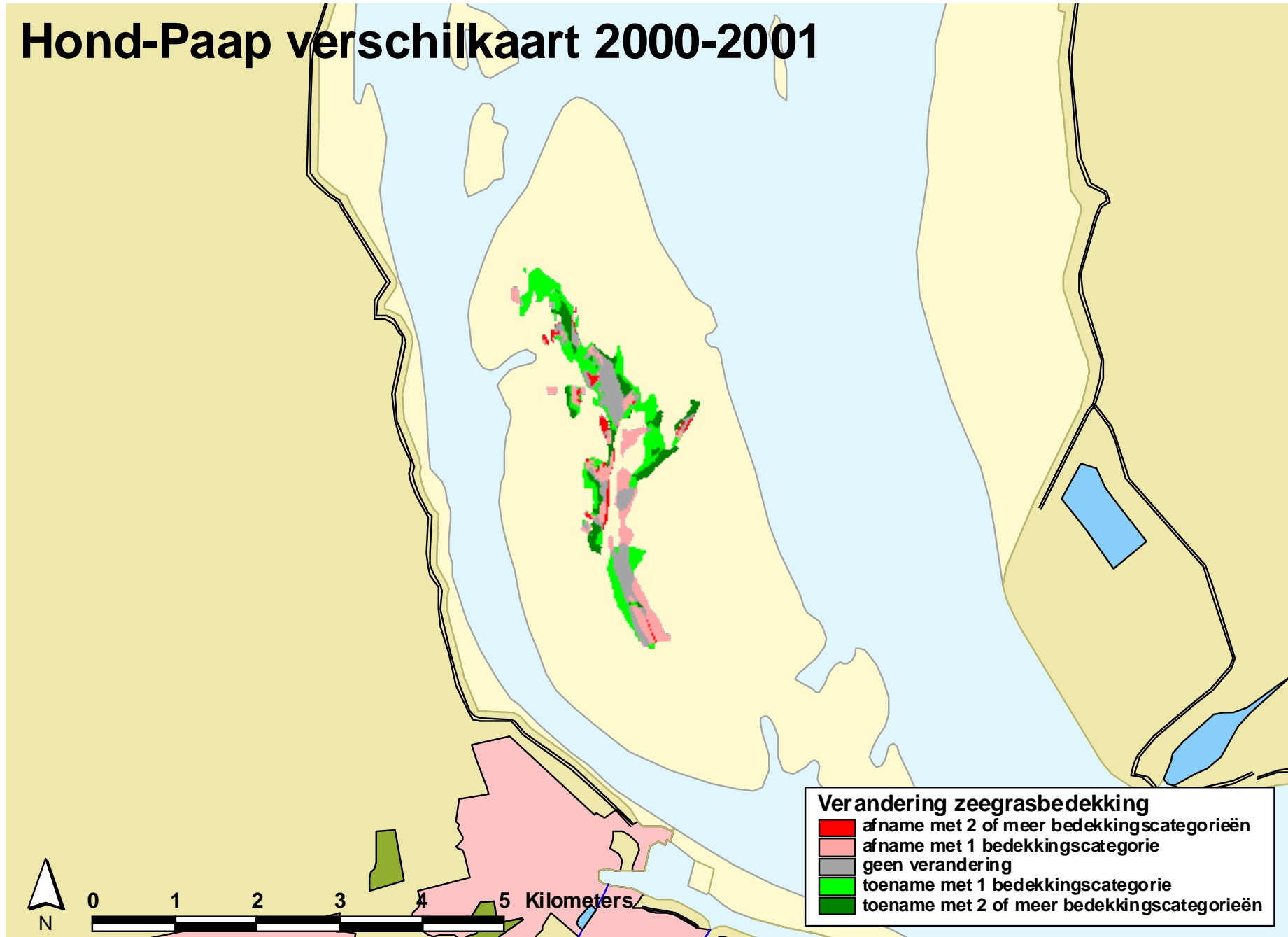
Hond-Paap verschilkaart 1997-1999



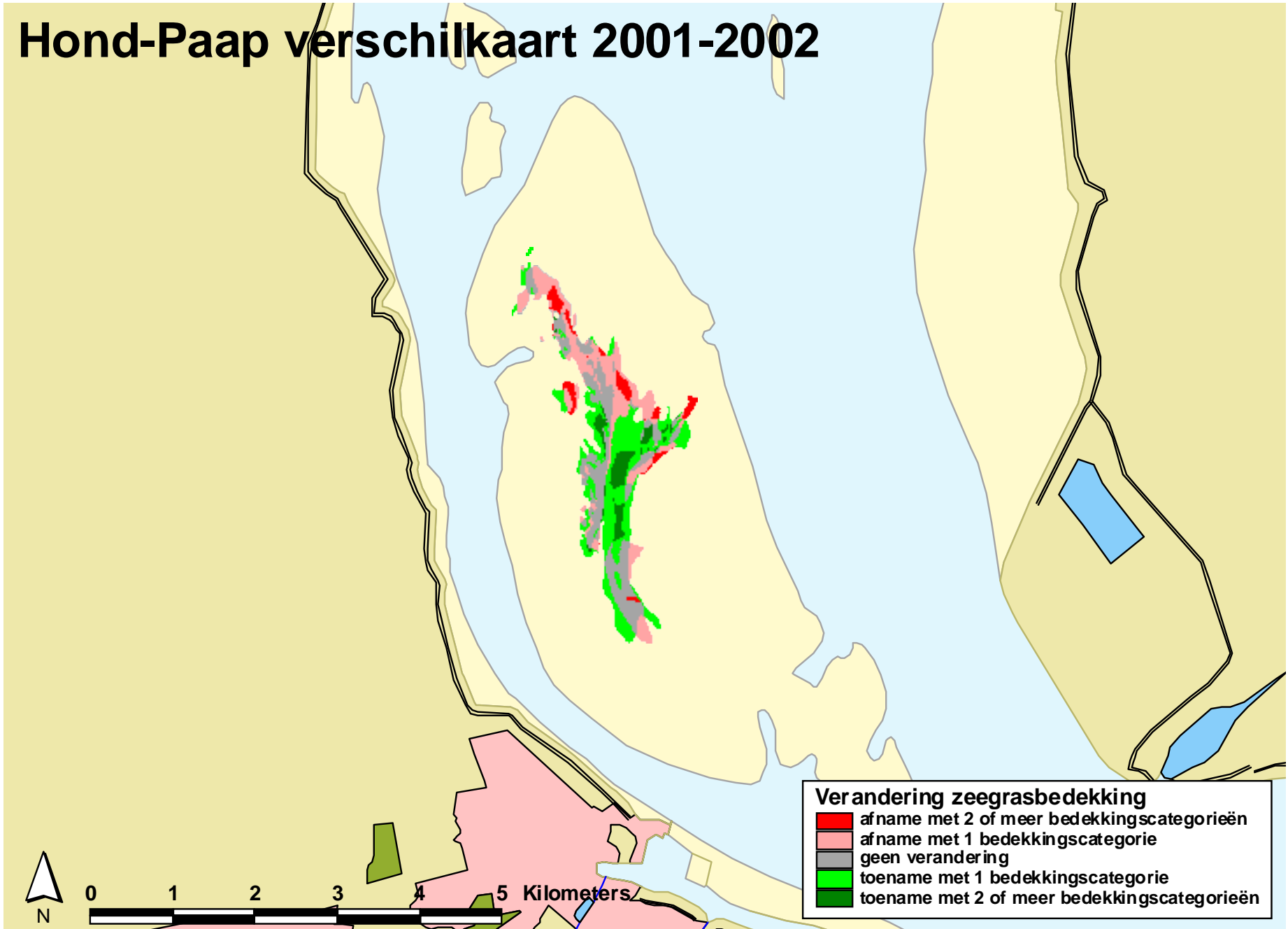
Hond-Paap verschilkaart 1999-2000



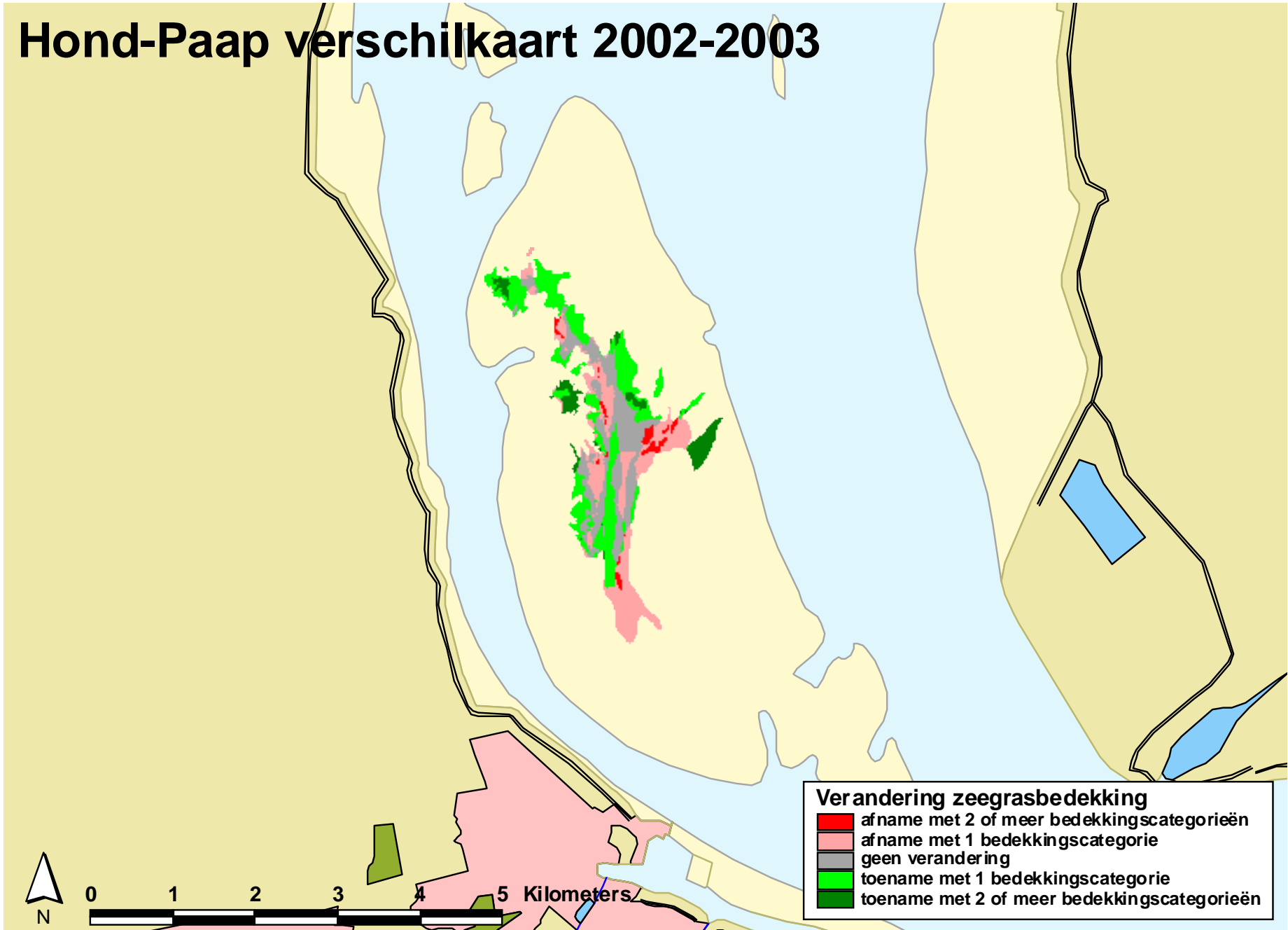
Hond-Paap verschilkaart 2000-2001



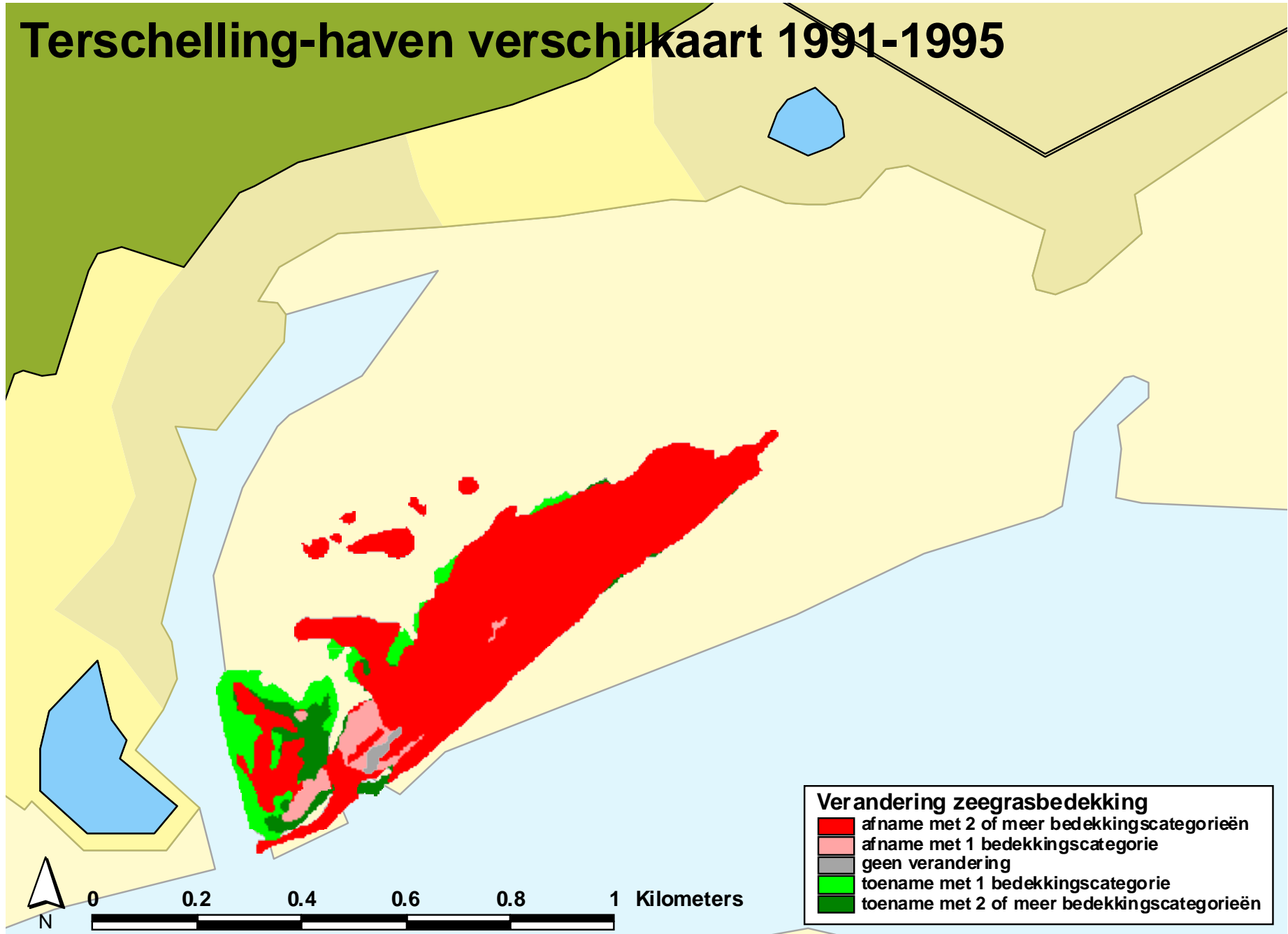
Hond-Paap verschilkaart 2001-2002



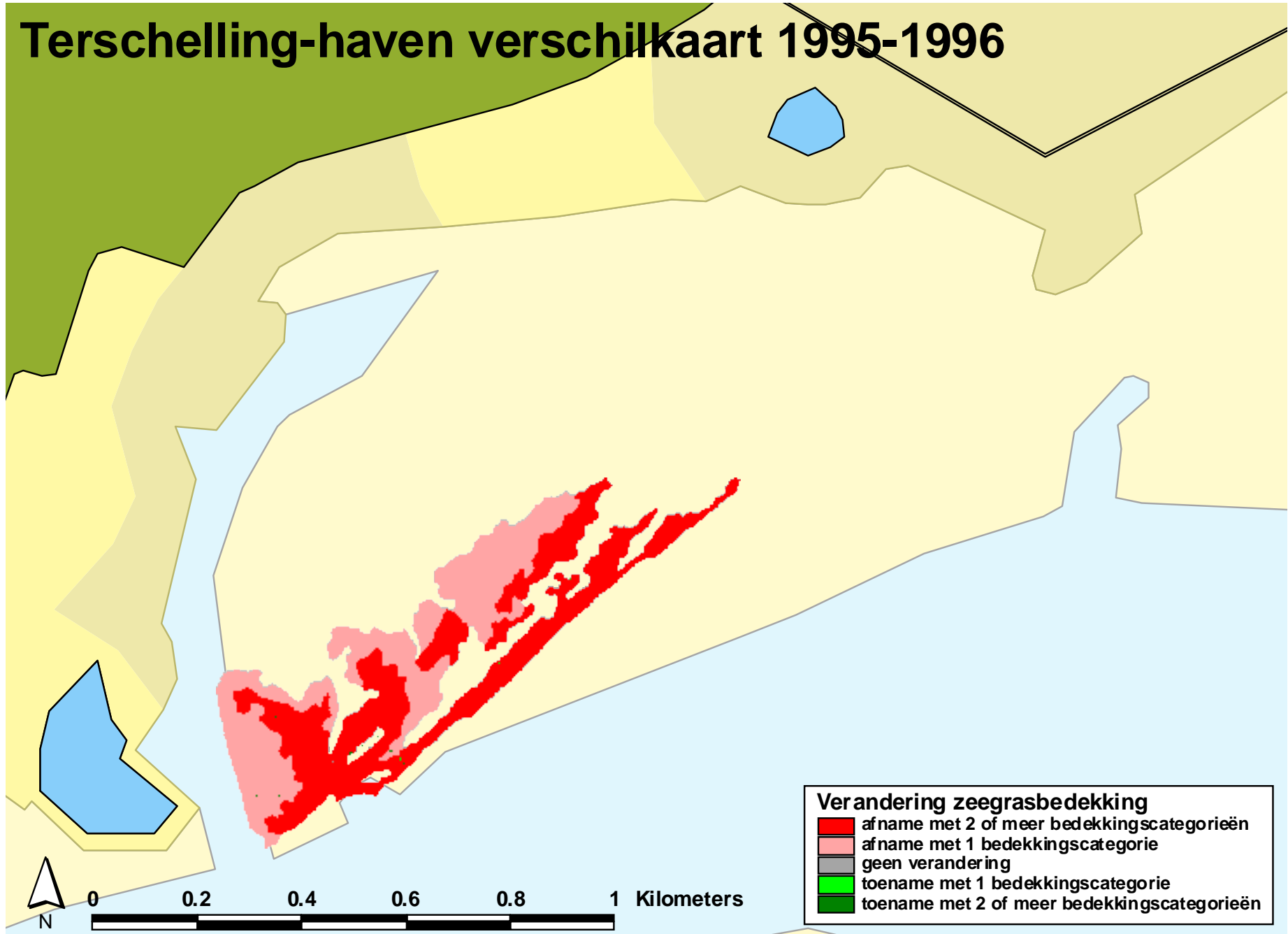
Hond-Paap verschilkaart 2002-2003



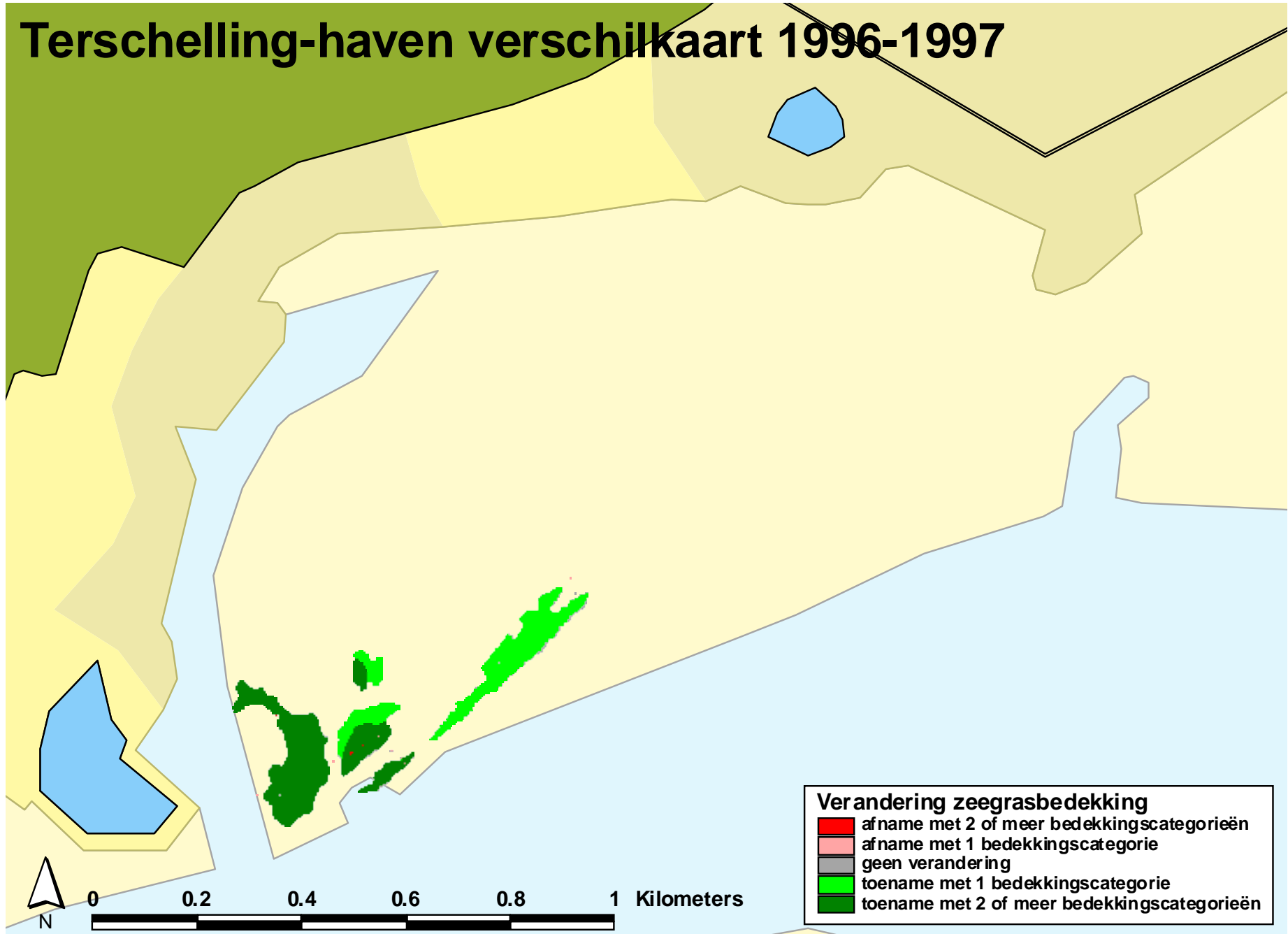
Terschelling-haven verschilkaart 1991-1995



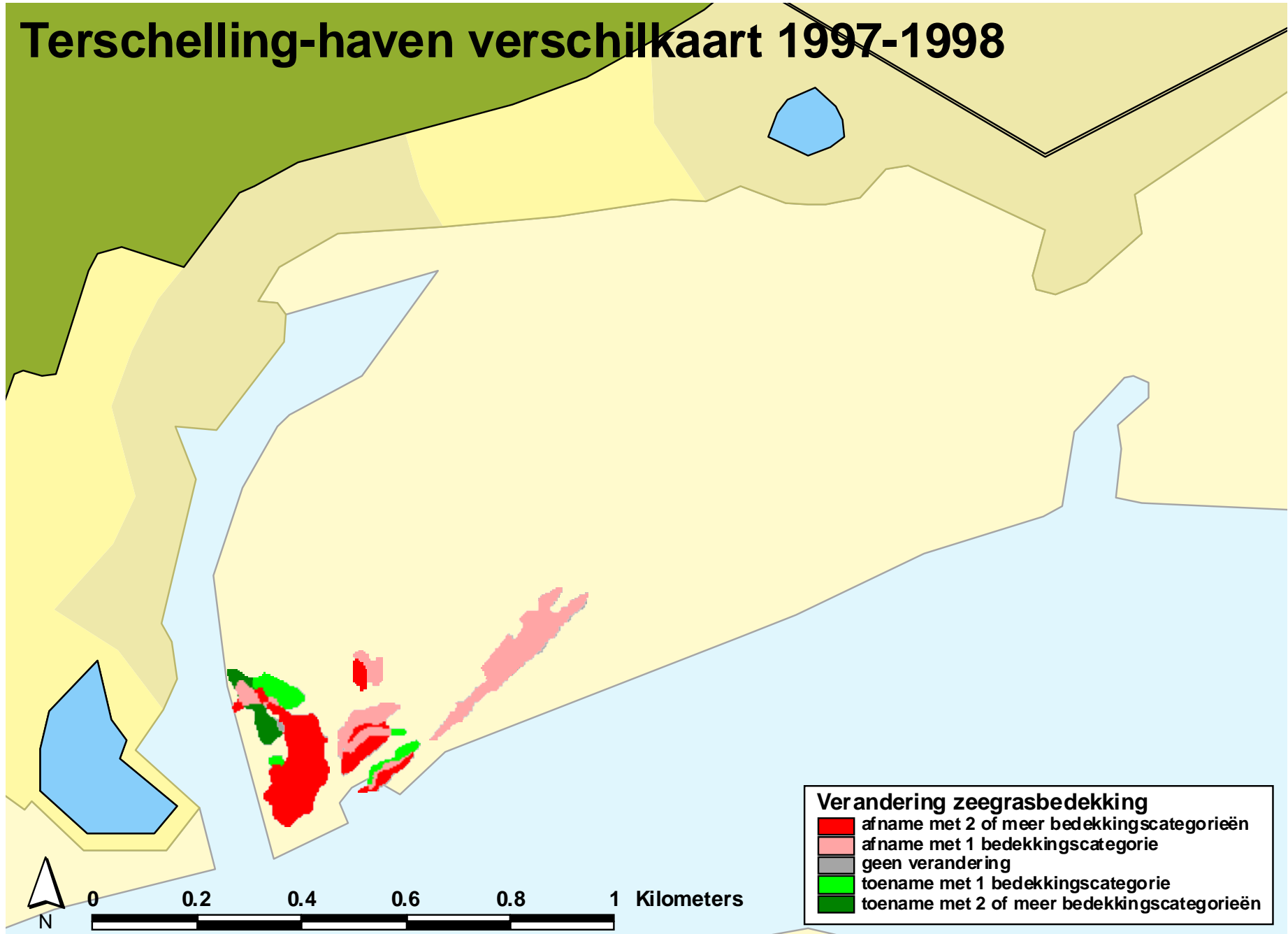
Terschelling-haven verschilkaart 1995-1996



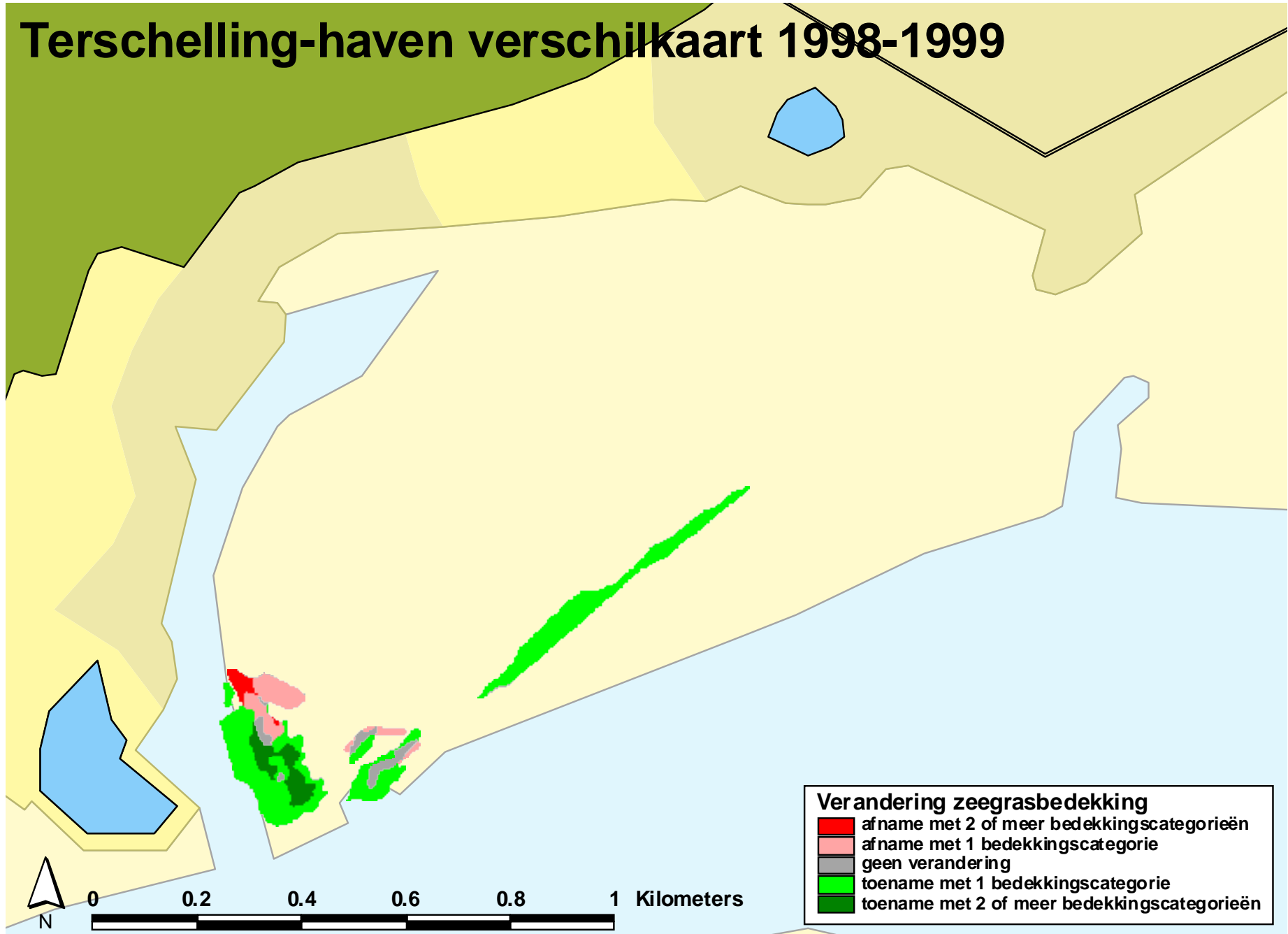
Terschelling-haven verschilkaart 1996-1997



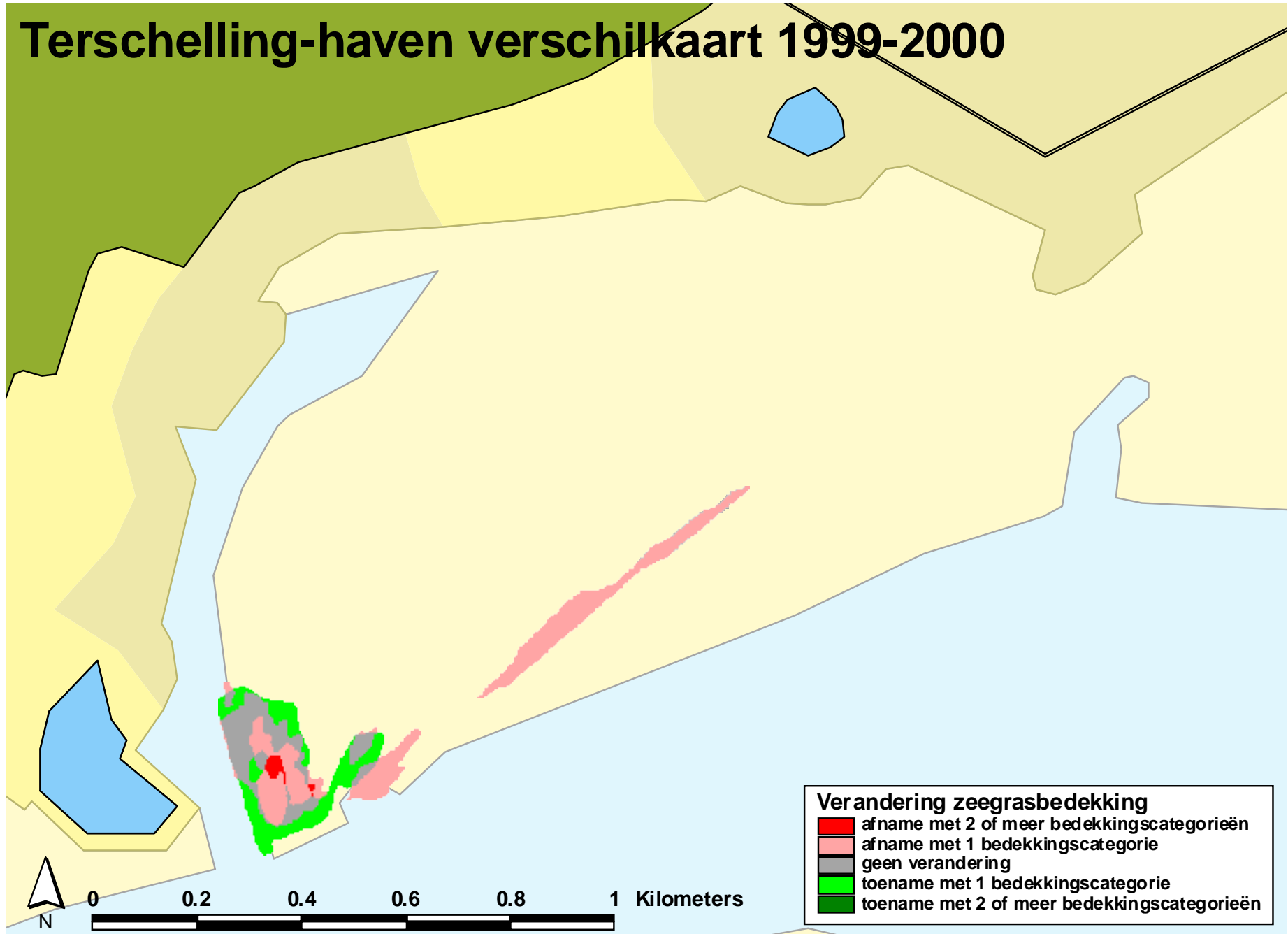
Terschelling-haven verschilkaart 1997-1998



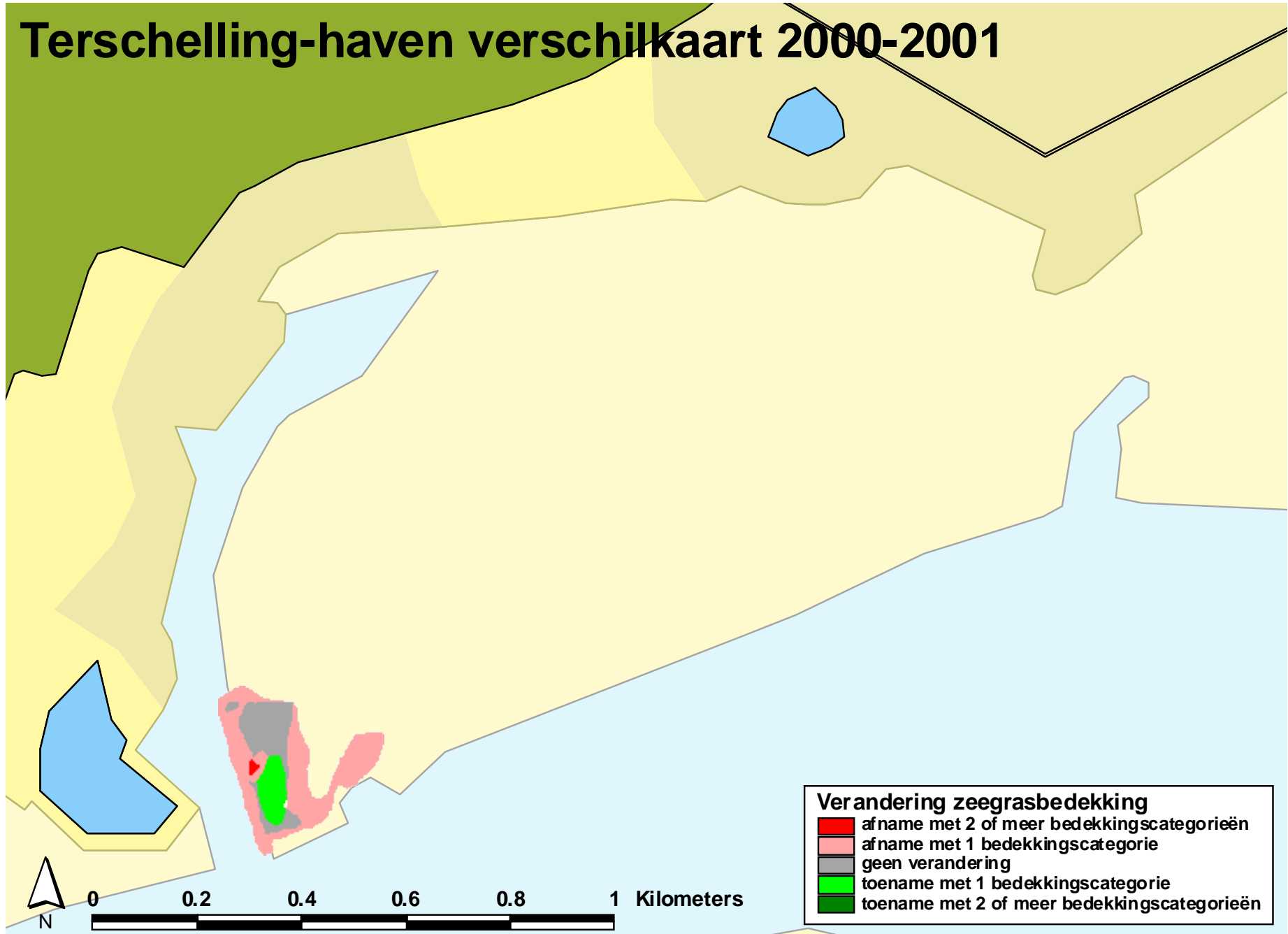
Terschelling-haven verschilkaart 1998-1999



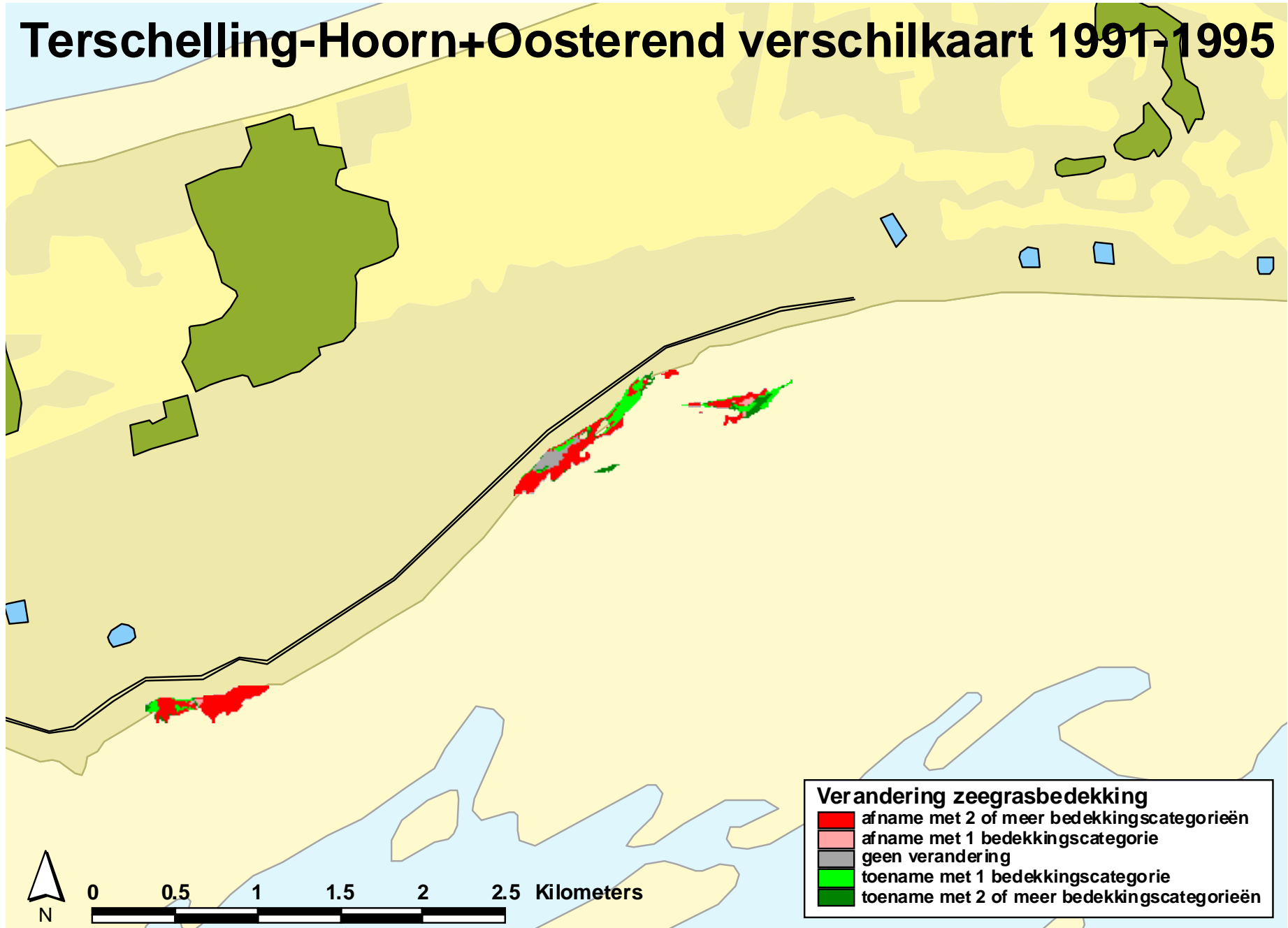
Terschelling-haven verschilkaart 1999-2000



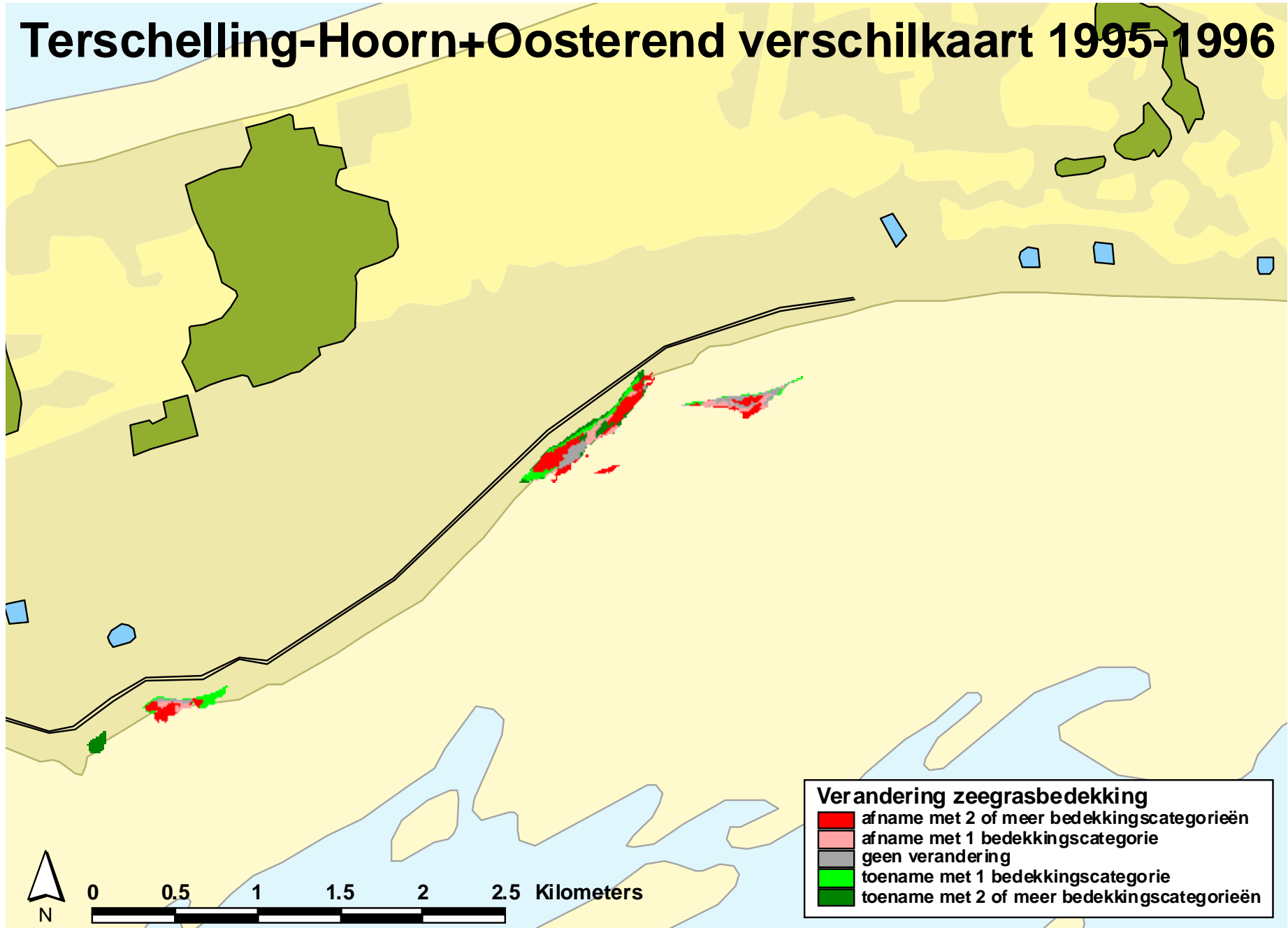
Terschelling-haven verschilkaart 2000-2001



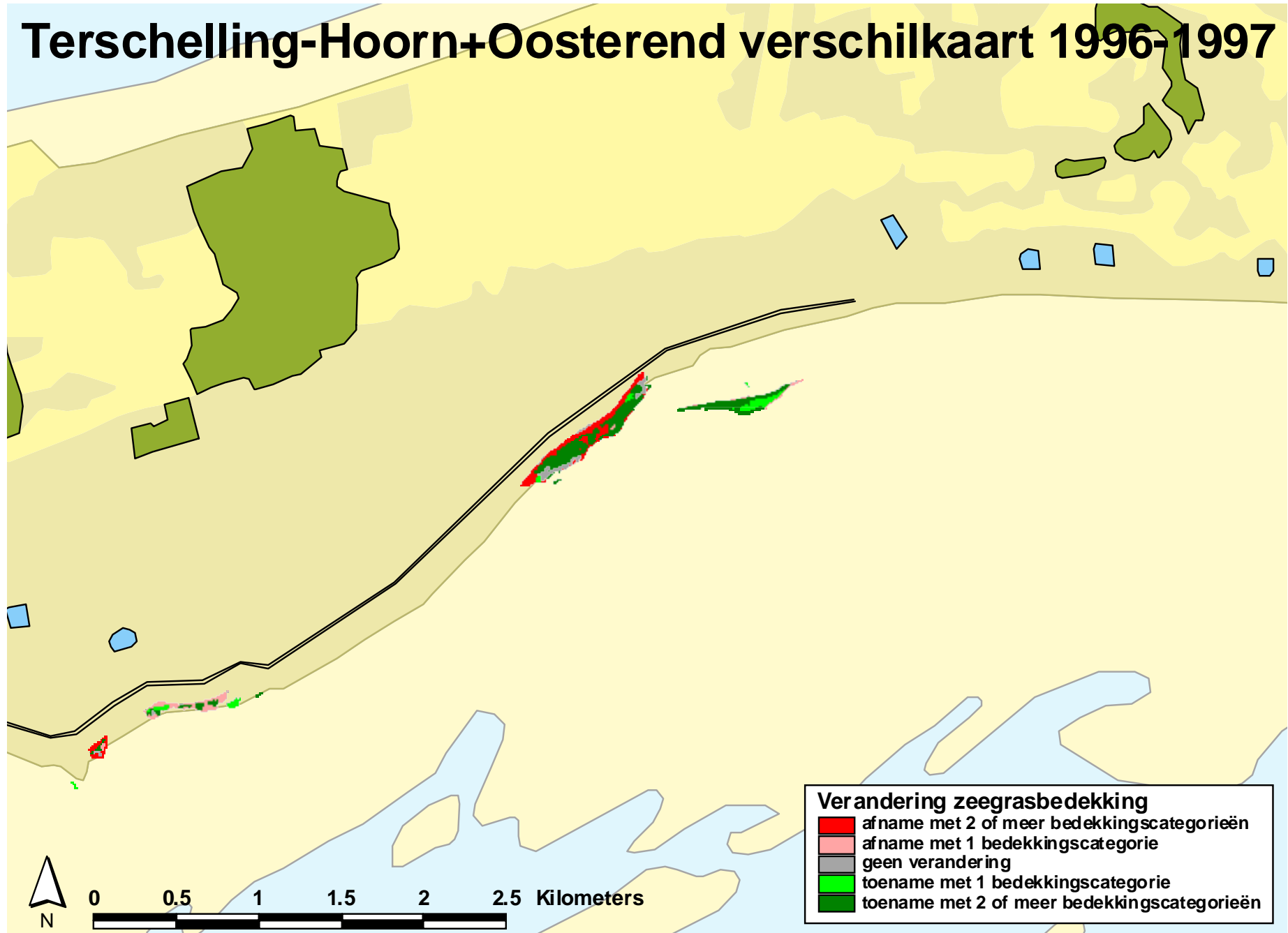
Terschelling-Hoorn+Oosterend verschilkaart 1991-1995



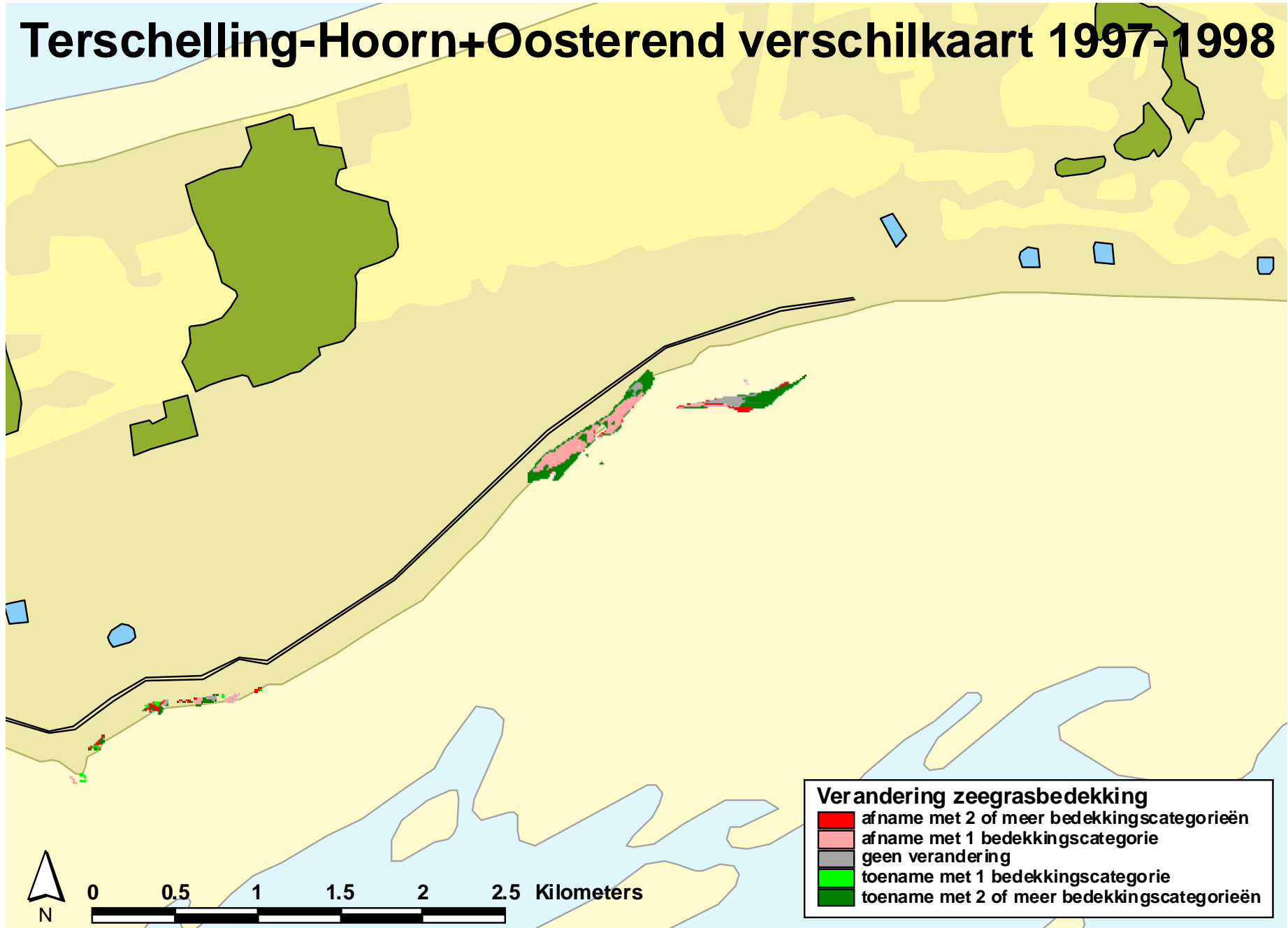
Terschelling-Hoorn+Oosterend verschilkaart 1995-1996



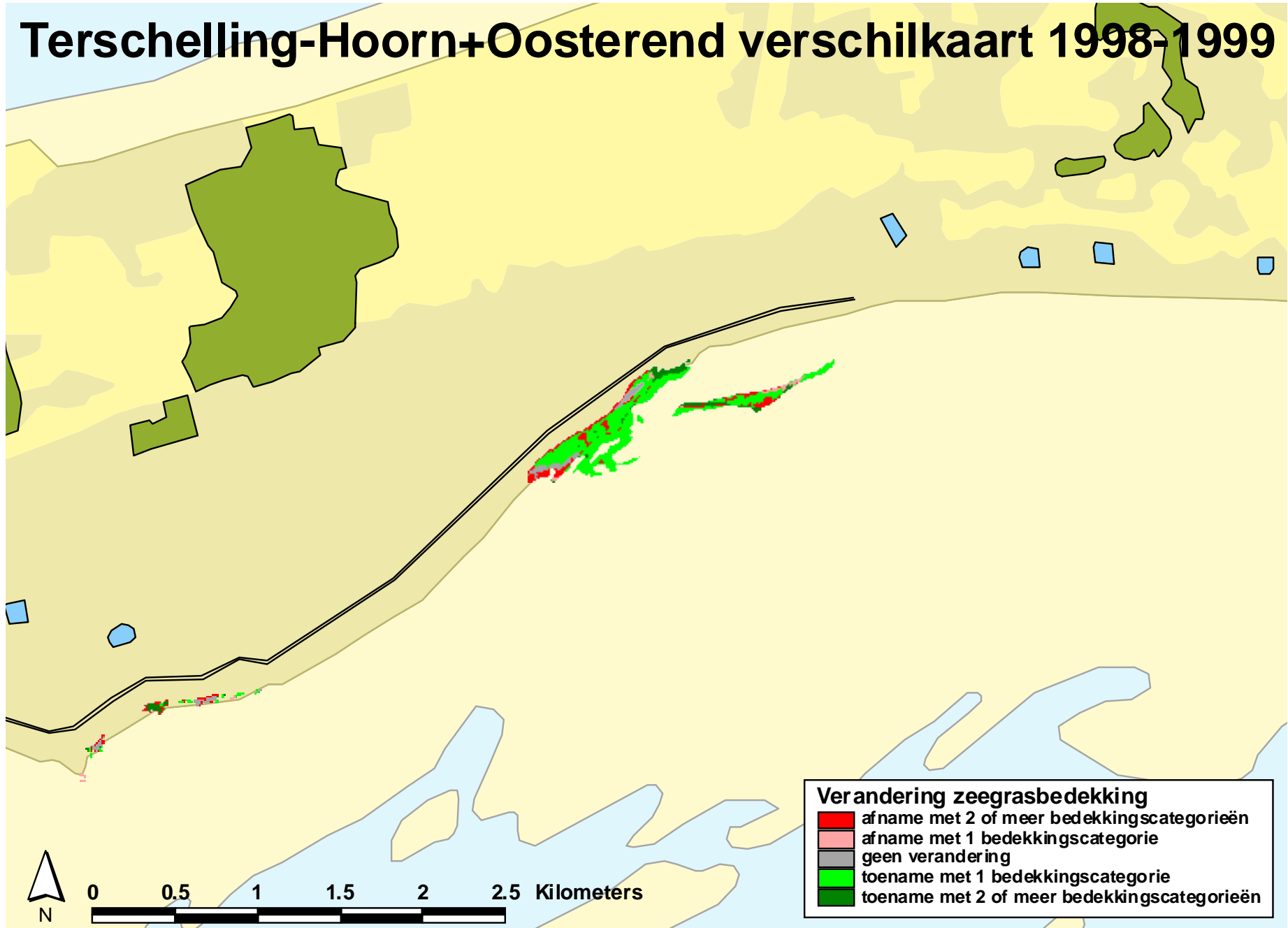
Terschelling-Hoorn+Oosterend verschilkaart 1996-1997



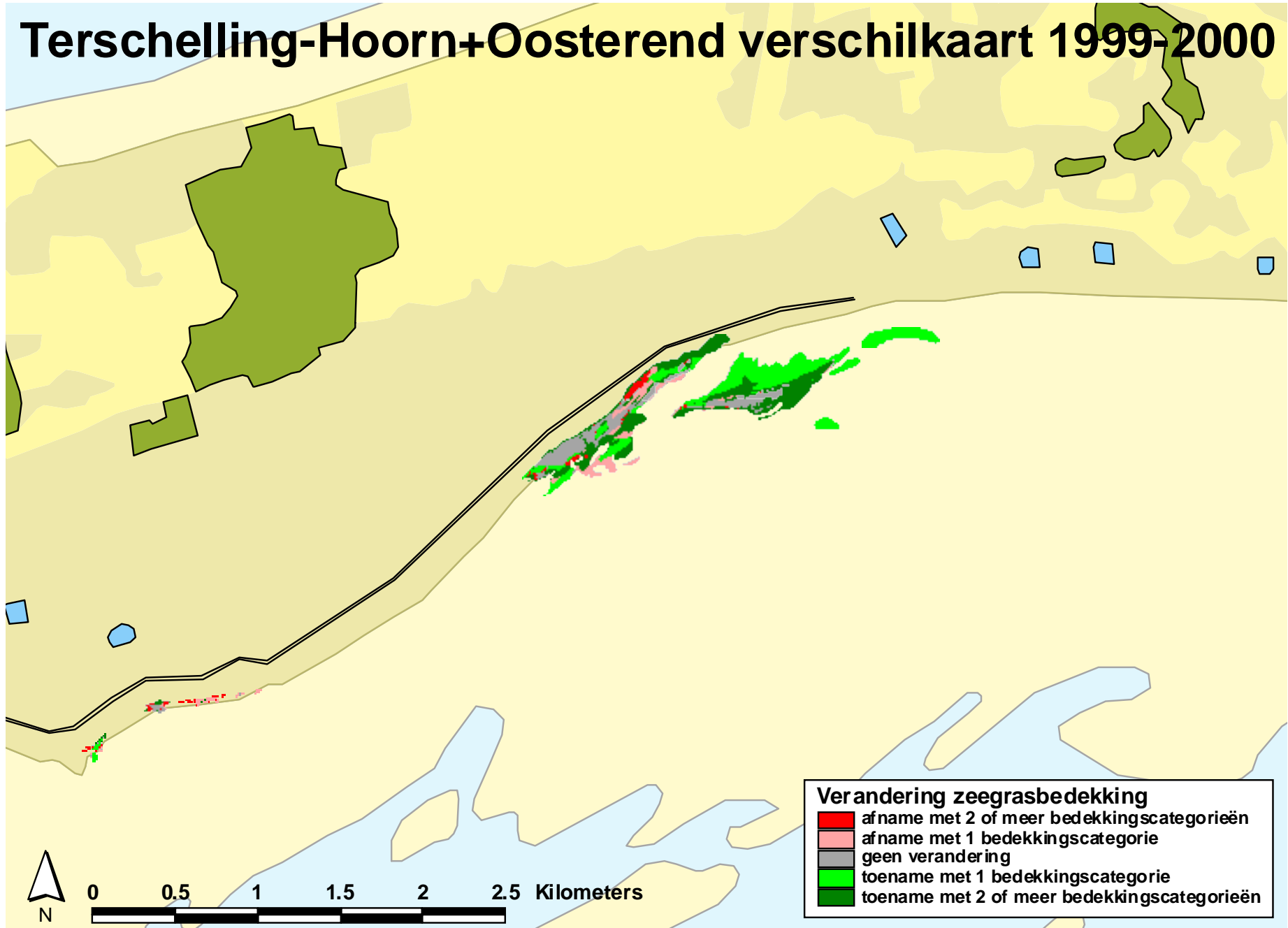
Terschelling-Hoorn+Oosterend verschilkaart 1997-1998



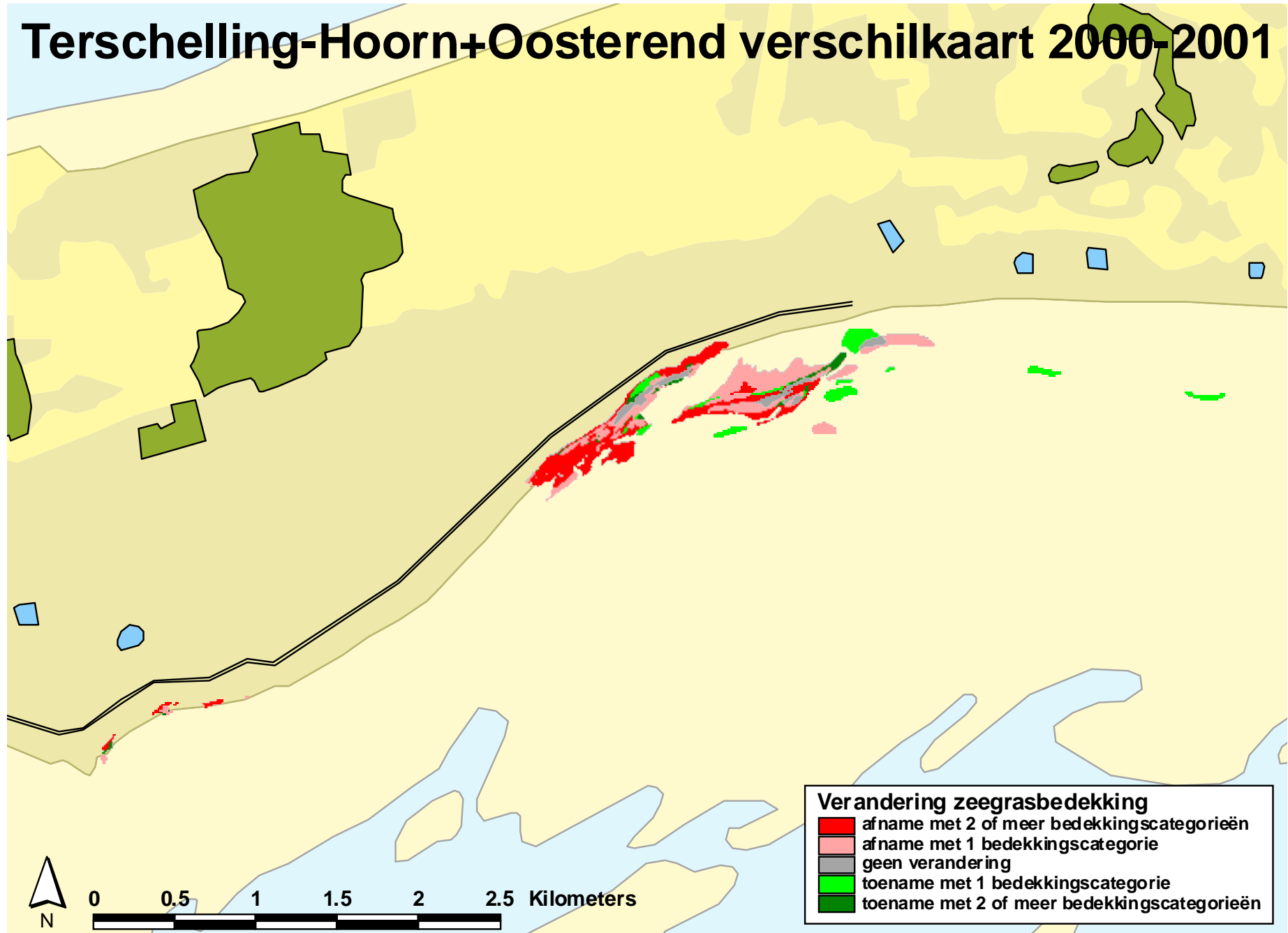
Terschelling-Hoorn+Oosterend verschilkaart 1998-1999



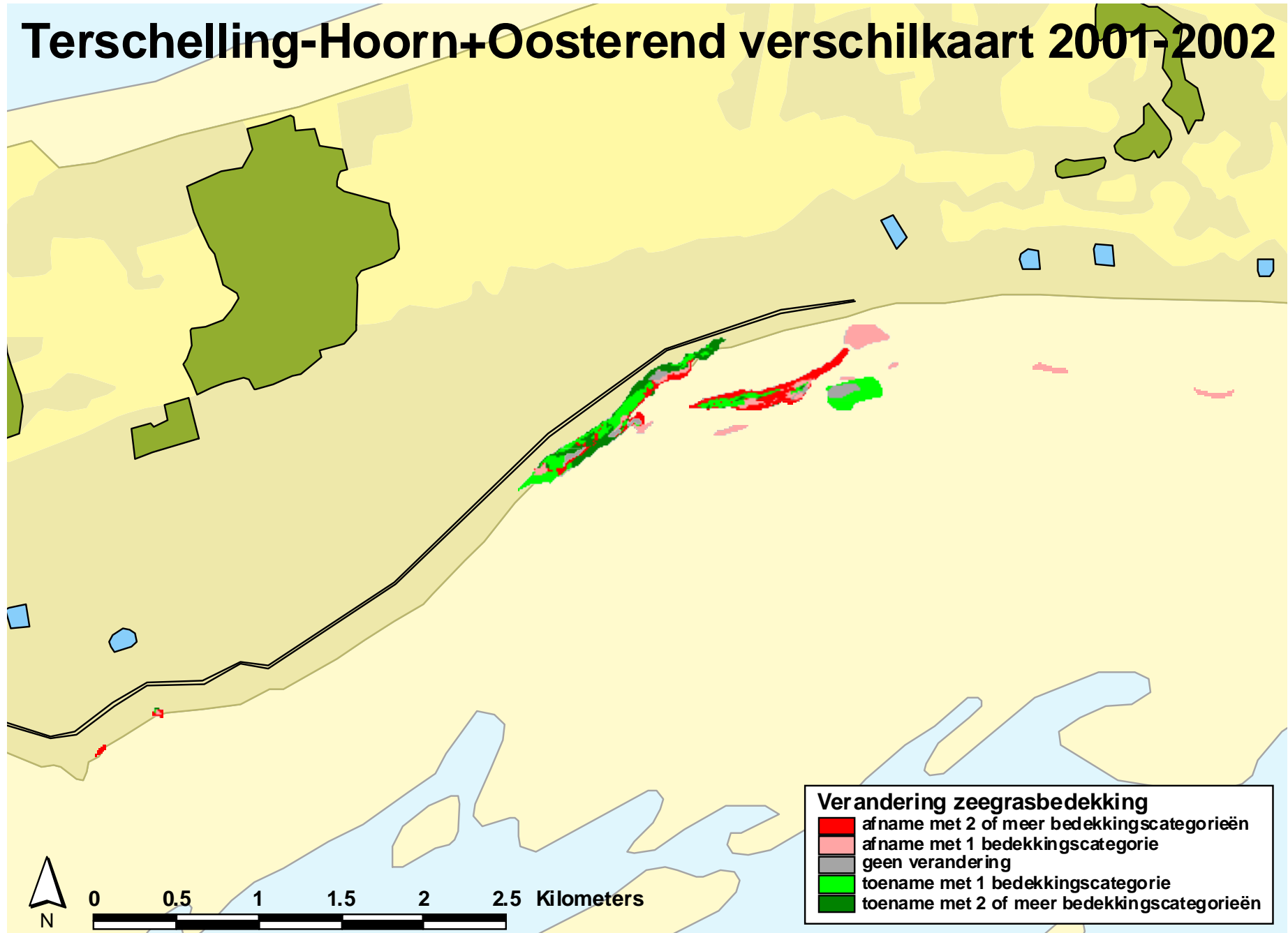
Terschelling-Hoorn+Oosterend verschilkaart 1999-2000



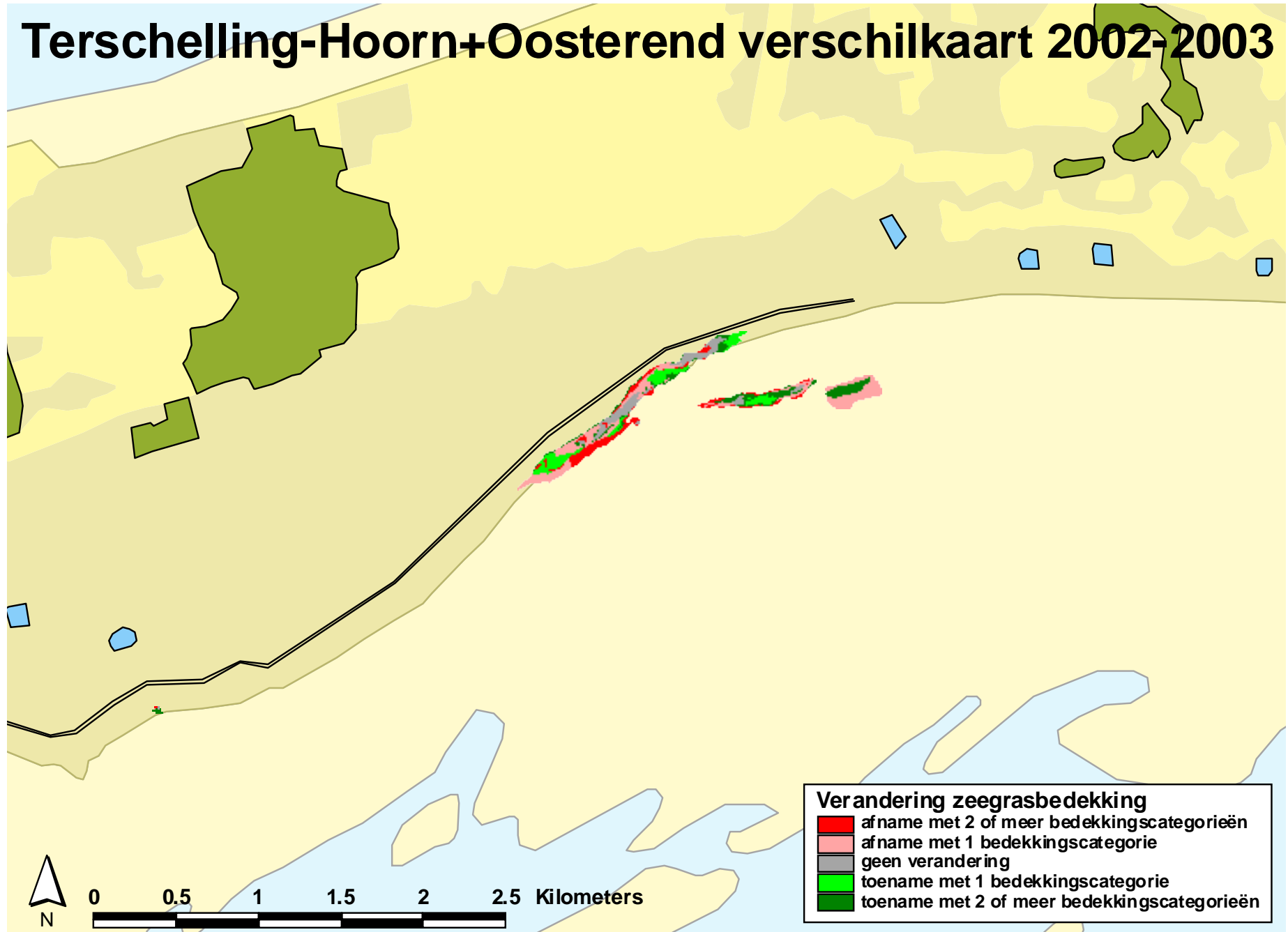
Terschelling-Hoorn+Oosterend verschilkaart 2000-2001



Terschelling-Hoorn+Oosterend verschilkaart 2001-2002



Terschelling-Hoorn+Oosterend verschilkaart 2002-2003



A.3 Meldingen van additionele zeegraswaarnemingen in de Nederlandse Waddenzee tijdens 2003-2004

