

Milieueffectrapport Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde

**Achtergronddocument Morfologische
ontwikkeling Westerschelde**

**Fenomenologisch onderzoek naar de
ontwikkelingen op meso-schaal**

Kwaliteitscontrole

Gezien door m.e.r.-coördinator (P.A. Weijers):		Gezien door projectdirecteur (H.B. van Essen):	
Handtekening:	Datum:	Handtekening	Datum:

Colofon

Uitgave	Dit Milieueffectrapport Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde is een uitgave van het project Verruiming vaargeul van RWS Zeeland en MOW Maritieme Toegang.
Opdrachtgever	Technische Scheldec commissie
Opdrachtnemer	Consortium ARCADIS - Technum
Titel	Milieueffectrapport Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde. Achtergrond document Morfologische ontwikkeling Westerschelde. Fenomenologisch onderzoek naar de ontwikkelingen op meso-schaal
Contactpersoon	Jelmer Cleveringa
Status	Versie 4.1
Datum	13 augustus 2007
Bestandsnaam	070622 Achtergrond document morfologische ontwikkeling Westerschelde versie 4.1.doc

Inhoudsopgave

Leeswijzer dossier “Milieueffectrapport Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde” 7

1 Inleiding 11

- 1.1 Aanleiding 11
- 1.2 Context van het onderzoek binnen het milieueffectrapport Verruiming vaargeul 12
- 1.3 De ruimtelijke schaal van de analyse 12
- 1.4 Doel 13
- 1.5 Aanpak en leeswijzer 14

2 Kenmerken van de Westerschelde 17

- 2.1 Gebiedskenmerken 17
- 2.2 Morfologische elementen 18
 - 2.2.1 Platen 18
 - 2.2.2 Slikken 19
 - 2.2.3 Schorren 19
 - 2.2.4 Getijdengeulen 19
 - 2.2.5 Drempels met eb- en vloedcharen 20
 - 2.2.6 Kortsluitgeulen 21
- 2.3 Waterbeweging 22
 - 2.3.1 Getij en waterstanden 22
 - 2.3.2 Getijvolume en komberging 24
 - 2.3.3 Droogvalpercentages 24
- 2.4 Geomorfologie en ecotopen 25
 - 2.4.1 Geomorfologische kaarten 25
 - 2.4.2 Ecotopen 25
 - 2.4.3 De verschillende ecotopenkaarten 26

3 Gebruikte gegevens 29

- 3.1 Inleiding 29
- 3.2 Bodemligginggegevens 29
- 3.3 Droogvalpercentages 30
- 3.4 Geomorfologische kaarten 31
- 3.5 Moeilijk erodeerbare lagen 31
- 3.6 Ingrepen 32

4 Methodes 35

- 4.1 Inleiding 35
- 4.2 Kaarten 35
- 4.3 Ecotopenkaarten 36
- 4.4 Vakindeling voor het bepalen van arealen en volumes 37
- 4.5 Dwarsdoorsneden 37
- 4.6 Analyse 40

5 Samenvatting van de morfologische ontwikkelingen 41

- 5.1 Inleiding 41
- 5.2 De plaatcomplexen 41
 - 5.2.1 De Hooge Platen (macrocel 1 en 2) 41
 - 5.2.2 De Middelpaat en de Plaat van Baarland (macrocel 3) 43
 - 5.2.3 De Platen van Ossenissee (west en oost; macrocel 4) 45
 - 5.2.4 De Platen van Valkenisse (macrocel 5) 46
 - 5.2.5 Het Nauw van Bath, de Pas van Rilland en het Verdronken land van Saeftinge (macrocellen 6 en 7) 47
 - 5.2.6 Vergelijking van de plaatcomplexen 48
- 5.3 De ontwikkeling van de waterlijn van de plaatcomplexen 49
- 5.4 Slikken en schorren 54
- 5.5 Het ondiepwater 55
- 5.6 De geulen 57
 - 5.6.5 De verbinding tussen het Gat van Ossenissee en de Put van Hansweert 57
 - 5.6.6 Ontwikkeling van het doorstroomoppervlak 58
 - 5.6.7 Sedimentvolume van de geulen 59
- 5.7 De Westerschelde 60

6 Analyse van de morfologische ontwikkelingen 63

- 6.1 Inleiding 63
- 6.2 Plaat- en ondiepwaterareaal en de geulen 63
- 6.3 De ontwikkeling van de waterlijn van de plaatcomplexen 64
- 6.4 Wat is 'ondiepwater' in de Westerschelde? 65
- 6.5 De ontwikkeling van het ondiepwater in de Westerschelde? 69
- 6.6 De balans tussen aan- en afvoer van sediment naar de platen 70
- 6.7 De rol van de 'harde lagen' in de ondergrond voor de stabiliteit en vorm van de geulen, de slikken en de platen 73
- 6.8 Storten en baggeren van sediment en de ontwikkeling van de platen 74

7 Synthese: Een conceptueel model voor de ontwikkeling van de platen in de Westerschelde 77

- 1 De ontwikkeling van het geulenstelsel en van de grootschalige waterbeweging 78
- 2 De afname van de kortsluitgeulen en de vloed- en ebscharen 79
- 3 De toename van de hoogte van de platen 81

8 De ontwikkeling van de (vereenvoudigde) ecotopen in de Westerschelde 83

- 8.1 Inleiding 83
- 8.2 De ecotopen op de plaatcomplexen. 83
- 8.3 De ecotopen op de slikken en schorren 87
- 8.4 De ontwikkeling van de ecotopen in de Westerschelde en de ecologische gevolgen 89
- 8.5 Oorzaken van de veranderingen in de ecotopen 91
 - 8.5.1 Veranderingen van het areaal schorren en slikken 91
 - 8.5.2 Veranderingen van het plaatareaal 93

9 Conclusies en aanbevelingen 95

- 9.1 Inleiding 95
- 9.2 Morfologische ontwikkelingen op meso-schaal 95
- 9.3 Ecologische consequenties van de morfologische ontwikkelingen 96

-
- 9.4 De effecten van de verruiming van de vaargeul 97
 - 9.5 Aanbevelingen 98

Referenties 101

Bijlage 1: Macrocel 1 en 2: Rondom de Hooge platen 103

- 1.1 Inleiding 103
- 1.2 Sedimentvolume en arealen 104
- 1.3 De Hooge platen 106
- 1.5 Het 'Vaarwater' en de Slikken bij de Paulinapolder 118
- 1.6 Analyse van de ontwikkelingen 124
- 1.7 Samenvatting van de ontwikkelingen 129

Bijlage 2: Macrocel 3: Rondom de Middelpaat 131

- 2.1 Inleiding 131
- 2.2 Sedimentvolume en arealen 131
- 2.3 De Middelpaten 134
- 2.4 De Pas van Borssele en de Everingen 143
- 2.5 De Plaat en de slikken van Baarland 149
- 2.6 Analyse van de ontwikkelingen 153
- 2.7 Samenvatting van de ontwikkelingen 158

Bijlage 3: Macrocel 4: Rondom de Platen van Ossensisse 159

- 3.1 Inleiding 159
- 3.2 Sedimentvolume en arealen 160
- 3.3 De Overloop van Hansweert en het Middelpat 163
- 3.4 De Platen van Ossensisse west 171
- 3.5 De Platen van Ossensisse oost 176
- 3.6 Analyse van de ontwikkelingen 188

Bijlage 4: Macrocel 5: Rondom de Platen van Valkenisse 191

- 4.1 Inleiding 191
- 4.2 Sedimentvolume en arealen 192
- 4.3 De Platen van Valkenisse 194
- 4.4 De Bocht van Walsoorden en de Scharen van Waarde en Valkenisse 201
- 4.5 Analyse van de ontwikkelingen 205
- 4.6 Samenvatting van de ontwikkelingen 213

Bijlage 5: Macrocellen 6 en 7: Het Nauw van Bath, de Pas van Rilland en het Verdronken land van Saeftinge 215

- 5.1 Inleiding 215
- 5.2 Sedimentvolume en arealen 216
- 5.3 De Overloop van Valkenisse en het Nauw van Bath 218
- 5.4 De Pas van Rilland en de Appelzak 224
- 5.5 Analyse van de ontwikkelingen 229
- 5.6 Samenvatting van de ontwikkelingen 232

Bijlage 6: Geomorfologische kaarten 233

Bijlage 7: Moeilijk erodeerbare lagen 241

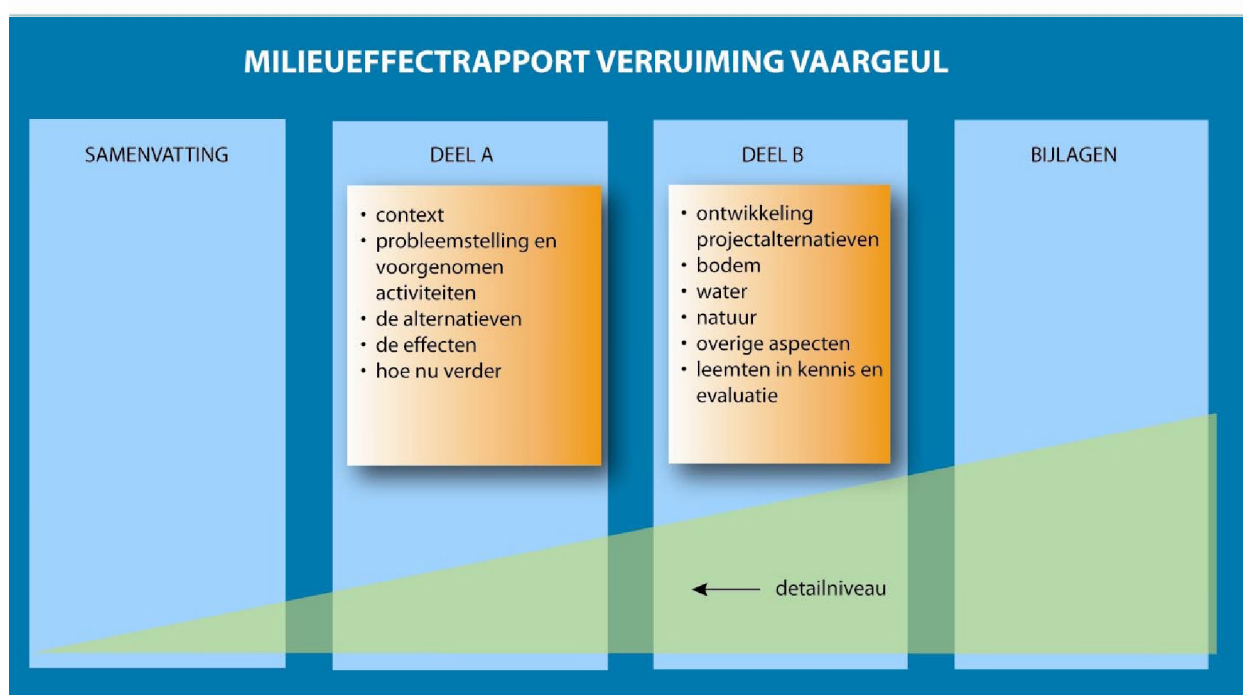
Bijlage 8: Ecotopen kaarten 243

Kubeervakken 253

Locaties dwarsdoorsneden 254

Leeswijzer dossier “Milieueffectrapport Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde”

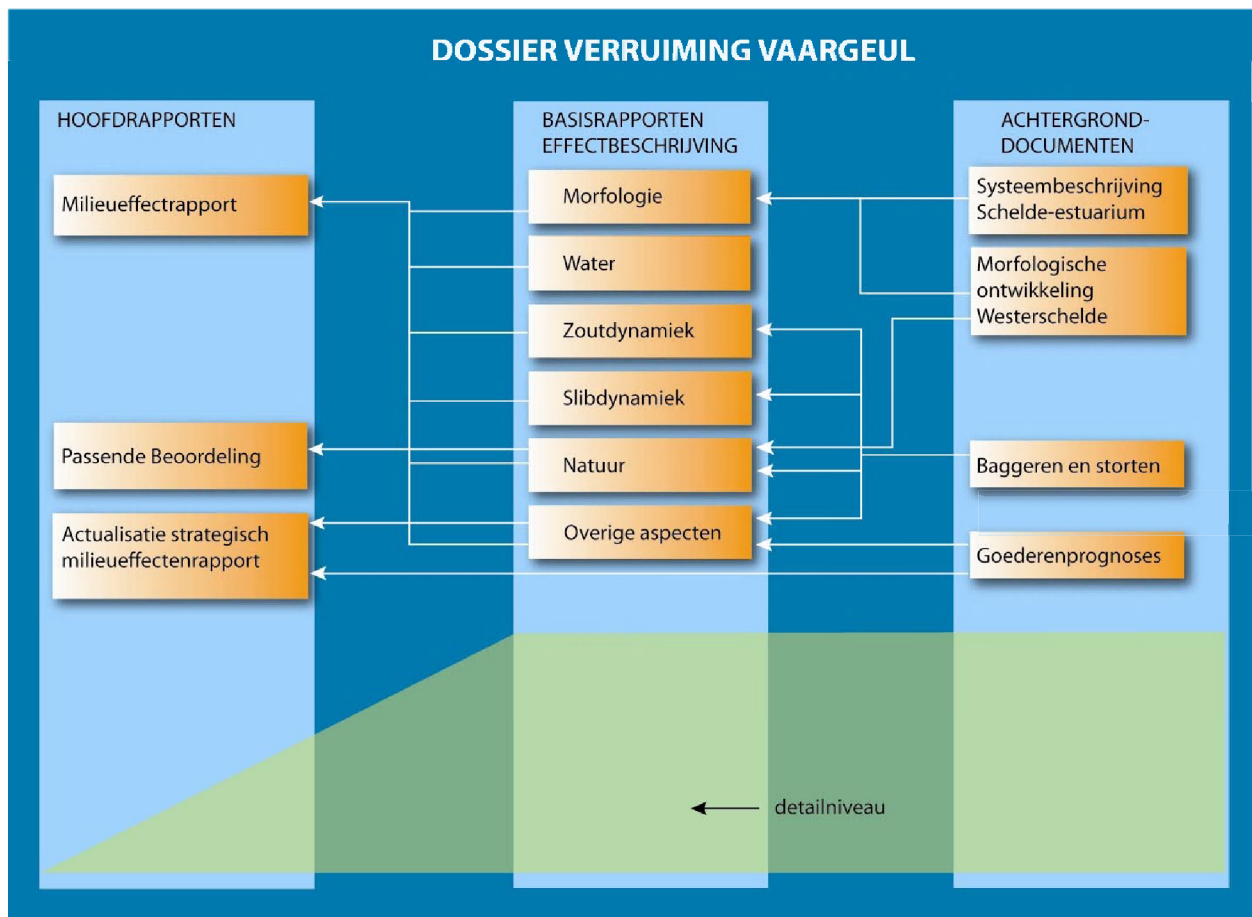
Het dossier Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde bevat het Milieueffectrapport, een Passende Beoordeling en een Actualisatie van het strategische Milieueffectenrapport. Deze hoofd rapporten worden nader onderbouwd en toegelicht in verschillende basisrapporten en achtergrond documenten. De samenhang tussen deze documenten wordt toegelicht in onderstaande figuur.



Hoofdrapport Milieueffectrapport (MER)

Het Milieueffectrapport bestaat uit een samenvatting, deel A en deel B en bijlagen. De *samenvatting* geeft snel inzicht in het dossier en de resultaten van het onderzoek. *Deel A* van het milieueffectrapport beschrijft het ‘waarom’ van het project, de problemen, de oplossingen en hoe de oplossingen ten opzichte van elkaar scoren. In deel A staat alle relevante informatie voor bestuurders en de besluitvorming. Een abstractieniveau dieper gaat *deel B* van het milieueffectrapport. In deze hoofdstukken worden de onderzoeken voor bodem, water, natuur en overige aspecten samengevat. Dit is een onderbouwing van deel A. De bijlagen (achter in dit milieueffectrapport) geven extra informatie, ondermeer een overzichtskaart, een begrippenlijst en achtergrondinformatie.

Navolgend wordt de opbouw van deel A en B nader toegelicht.



Deel A

Hoofdstuk 1 *Context* beschrijft het kader waarbinnen het milieueffectrapport is opgesteld.

In Hoofdstuk 2 *Probleemstelling en voorgenomen activiteiten* worden de voorgenomen ingrepen beschreven. *Waarom moet de vaargeul verruimd worden en waar moet bij de uitvoering van het project op gelet worden?*

Voor het milieueffectonderzoek is de voorgenomen activiteit vertaald in alternatieven voor de uitvoering van de verdieping en verbreding van de vaargeul. Deze hebben betrekking op het bergen van de vrijkomende aanleg- en onderhoudsbaggerspecie. Hoofdstuk 3 *De alternatieven* beschrijft deze alternatieven.

In hoofdstuk 4 *De effecten* worden de effecten van de alternatieven beoordeeld. Uit deze beoordeling volgt het Meest Milieuvriendelijk Alternatief (MMA): het alternatief dat de minst nadelige gevolgen heeft voor natuur en milieu. Ook wordt het beoordelingskader, de omvang van het studiegebied en het tijdsdomein in jaren waarop de effecten worden geïnterpreteerd en beoordeeld beschreven.

In Hoofdstuk 5 *Hoe nu verder* wordt de procedure van deze milieueffectrapportage beschreven. Hier vindt u informatie over de betrokken partijen, besluitvorming en inspraakmogelijkheden.

Deel B

Hoofdstuk 6 *Ontwikkeling van projectalternatieven* beschrijft de resultaten van het onderzoek om te komen tot de projectalternatieven die in hoofdstuk 3 beschreven zijn.

Hoofdstukken 7, 8, 9 en 10 bevatten de onderzoeksresultaten op hoofdlijnen per discipline. De onderzoeksresultaten bevatten een beschrijving van de huidige toestand en van de verwachte ontwikkelingen in het Schelde-estuarium en de effecten van de alternatieven.

Hoofdstuk 11 *Leemten in kennis en evaluatie* beschrijft de kennisleemten en onzekerheden in het onderzoek en de betekenis daarvan voor de interpretatie van de resultaten.

Hoofdrapport Passende Beoordeling

De Passende Beoordeling beschrijft de gevolgen van de verruiming van de vaargeul voor de volgende Natura 2000-gebieden:

- Westerschelde & Saefthinghe;
- Schelde- en Durmeëstuarium;
- Durme en Middenloop van de Schelde;
- schorren en polders van de Beneden-Schelde;
- Kuifeend en Blokkesdijk.

De Passende Beoordeling bevat de volgende onderdelen:

- Beschrijving van het project;
- Beschrijving van de van belang zijnde vogel- en habitatrichtlijngebieden;
- Beschrijving van de effecten;
- Effectbeoordeling;
- Mitigerende maatregelen;
- Alternatievenonderzoek;
- Redenen van groot openbaar belang en compenserende maatregelen.

Hoofdrapport Actualisatie strategische milieueffectenrapport

De Actualisatie van het strategisch milieueffectenrapport beschrijft de effecten van de gewijzigde scheepvaartstromen over de Westerschelde en Beneden-Zeeschelde als gevolg van de verruiming, uitgaande van de meest recente goederenprognoses.

Het rapport beschrijft:

- de belangrijkste conclusies op hoofdlijnen uit het strategisch milieueffectenrapport en of deze nog gelden na actualisatie van het onderzoek;
- hoe de uitgangspunten voor de goederenvervoersstromen opnieuw werden bepaald;
- de milieueffecten van deze bijgestelde goederenprognoses en de beoordeling ervan.
- de effecten van de scheepvaartstromen als gevolg van de verruiming (scenario met en zonder WCT);

Basisrapporten en achtergronddocumenten

De basisrapporten en achtergronddocumenten zijn technische en specialistische rapporten waarin de methode, resultaten en conclusies van het uitgevoerde (modelmatige) onderzoek zijn weergegeven.

De basisrapporten onderbouwen de effecten en conclusies uit het hoofdrapport. De achtergronddocumenten bieden aanvullende informatie.

Bij het milieueffectrapport horen de volgende basisrapporten:

- Basisrapport Morfologie
- Basisrapport Water
- Basisrapport Slibdynamiek
- Basisrapport Zoutdynamiek

-
- Basisrapport Natuur
 - Basisrapport Overige Aspecten

De volgende achtergronddocumenten zijn onderbouwend aan de basisrapporten:

- Systeembeschrijving Schelde-estuarium, een visie op de macro-morfologische ontwikkeling
- Morfologische ontwikkeling Westerschelde, fenomenologisch onderzoek naar de ontwikkelingen op mesoschaal
- Baggeren en storten
- Goederenprognoses

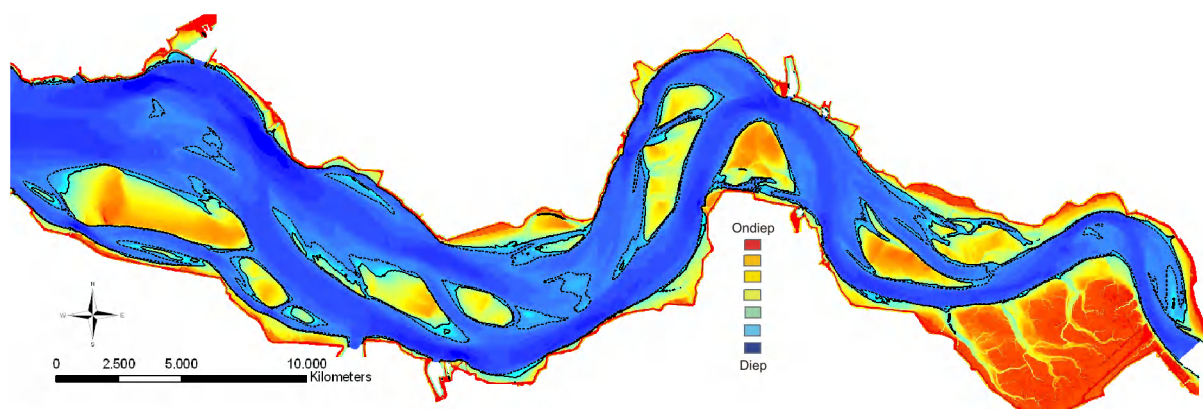
Beschikbaarheid van informatie

Alle rapporten uit het dossier verruiming vaargeul inclusief de literatuur uit bijlage 2 van dit milieueffectrapport zijn opgenomen op de website www.verruimingvaargeul.be.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De Westerschelde (figuur 1.1) is van nature een dynamisch gebied, waarin geulen verplaatsen en in grootte toe en afnemen en platen, slikken en schorren worden gevormd en in de loop van tijd van vorm en plaats veranderen. Een belangrijk deel van de verandering in dit meest zeewaartse deel van het Schelde-estuarium heeft een natuurlijke oorsprong. Onder invloed van het getij wordt dagelijks zeer veel zand en slib verplaatst. Daarnaast heeft de mens een belangrijke rol gespeeld in de ontwikkeling van het gehele Schelde-estuarium. Menselijke ingrepen in het natuurlijke systeem in de vorm van bedijkingen, afdammingen, het winnen van veen en zand en de aanleg en het onderhoud van vaargeulen en havens hebben het estuarium in de afgelopen honderden jaren wezenlijk van vorm en grootte verandert (Van Veen, 1944, Van der Spek, 1994, Van den Berg, 1996).



Figuur 1.1: Overzicht van de bodemligging van de Westerschelde in 2004.

De veranderingen die zijn opgetreden in de platen, de slikken en de schorren hebben gevolgen gehad voor de dieren en planten die zijn gebonden aan deze leefomgevingen. In de periode van 1959 tot 2004 zijn bijvoorbeeld de foerageermogelijkheden voor steltlopers op de platen van de Westerschelde afgenomen (Alkyon, 2006).

Ook in de toekomst zullen menselijke ingrepen een deel van de ontwikkelingen van de Westerschelde bepalen. De voorgestelde verruiming van de vaarweg in de Westerschelde is een van deze ingrepen (Consortium ARCADIS-Technum, 2006). Om de verwachte effecten van deze ingreep in beeld te brengen zijn voorspellingen gemaakt van de waterbeweging (Van Banning, 2007) en de morfologie (Bruens, 2007). Deze ontwikkelingen zijn doorvertaald in voorspellingen van de veranderingen in de ecotopenarealen (Van Banning, 2007).

In dit rapport wordt aan de hand van gegevens teruggekeken naar de ontwikkelingen van de platen, slikken en schorren in de Westerschelde in de afgelopen 50 jaar. Het betreft de ontwikkelingen van de morfologie en van de (vereenvoudigde) ecotopen. De analyse van de morfologie heeft plaatsgevonden aan de hand van de voor de leefomgeving op platen en slikken belangrijke droogvalpercentages. Met deze terugblik is dit rapport complementair aan de eerder genoemde voorspellingen van de waterbeweging, de morfologie en de ecotopen.

1.2 Context van het onderzoek binnen het milieueffectrapport Verruiming vaargeul

In het milieueffectrapportonderzoek is uitvoerig aandacht besteed aan de morfologische effecten van de vaargeulverruiming, zoals beschreven in het basisrapport Morfologie (Bruens, 2007). Het beoordelingskader voor de morfologie van het estuarium, als drager voor ecologie, is uitgewerkt in een aantal hoofdcriteria. Als hoofdcriteria gelden: de bergingscapaciteit voor baggerspecie in de verschillende deelgebieden, de stabiliteit van het meergeulensysteem in de Westerschelde en de zandhuishouding.

Het onderzoek dat gevoerd is om de morfologische effecten van de verruiming in beeld te brengen is gestoeld op 2 pijlers: het inzicht in het functioneren van het morfologisch systeem (zie Achtergrondrapport Systeembeschrijving Schelde-estuarium; Kuijpers, 2007) en een uitgebreid modelmatig onderzoek met behulp van Estmorf en Delft3D. In het onderzoek is de aandacht geconcentreerd op de integriteit van het meergeulstelsel. Het specifieke gedrag van de platen, plaatranden, eb-, vloed of kortsluitgeulen is hierbij minder aan de orde geweest. De implicaties inzake de arealen zijn daarentegen wel uitvoerig in beeld gebracht via de hydrodynamische modellering.

Gedurende het milieueffectrapportonderzoek ontstond behoefte aan inzicht in het functioneren van het systeem op de schaal van de platen, slikken en schorren. Deze behoefte betrof zowel de zuiver morfologische aspecten, als de eco-morfologische aspecten. Daarom is door de projectleiding besloten een aanvullend onderzoek uit te voeren, dat gericht was op *“het beschrijven en analyseren van de morfologische ontwikkelingen op mesoschaal, zodat het functioneren van geulen, platen en slikken in beeld kan worden gebracht.”*

Met dit onderzoek moeten de volgende vragen worden beantwoord:

- Het toetsen in welke mate de macro-morfologische systeembeschrijving en de voorliggende mesoschaal beschrijving complementair zijn.
- Het in beeld brengen van de gevolgen van de uitvoering van de verschillende stortstrategieën, zoals beschreven in onderzoeksalternatieven en met name de plaatrandstortingen of de stortingen in de nevengeulen.
- Het formuleren van de inzichten, waardoor de morfologische ontwikkelingen kunnen gerelateerd worden aan ecologisch relevante ontwikkelingen.

1.3 De ruimtelijke schaal van de analyse

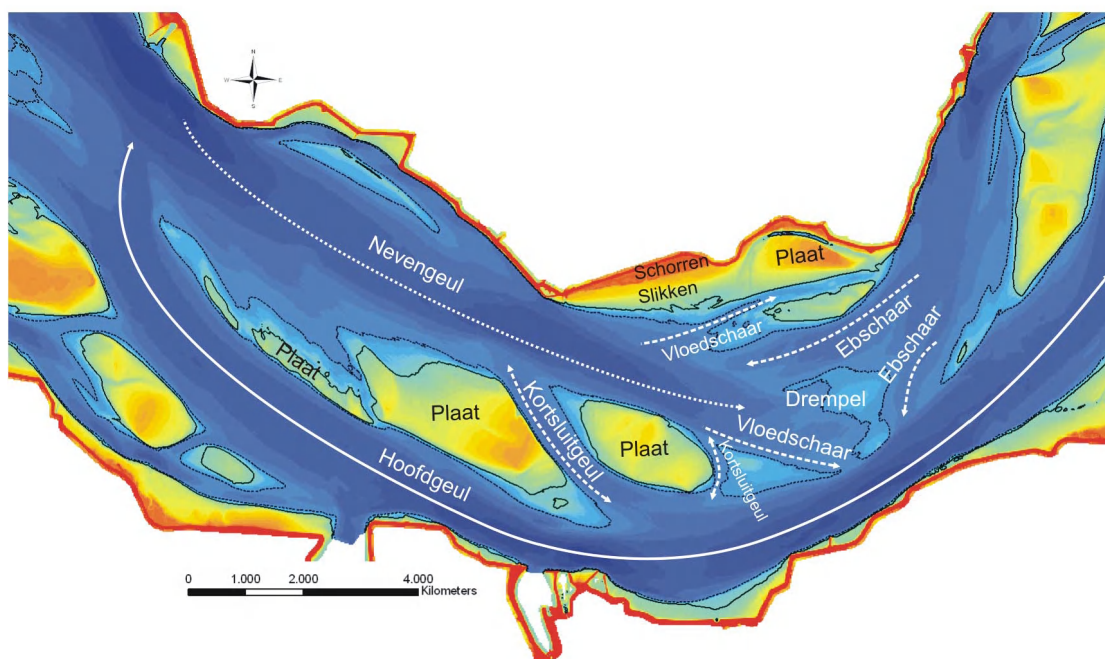
Deze studie is gericht op de kwantificeerbare veranderingen op de schaal van platen, slikken, schorren en geulen van de Westerschelde.

In deze studie gebruiken we het begrip mesoschaal morfologische elementen voor dit niveau. Dit komt overeen met het begrip ‘mesoscale features’, zoals gehanteerd door Hibma (2004)¹. De mesoschaal is een ordeniveau kleiner dan de macrocellen van de Westerschelde (zie bijvoorbeeld Jeuken, et al, 2003 voor een beschrijving van het cellenconcept). De macrocellen kunnen worden beschouwd als macroschaal elementen die de verschillende mesoschaal morfologische elementen omvatten.

De macrocellen bieden daarmee een heldere structuur voor de beschrijving en analyse van de ontwikkelingen van de morfologische elementen op mesoschaal.

¹ Deze schaalindeling is gebaseerd op de morfologische elementen (kust, getijdebekken, geul, ribbel) en niet op de morfologische dynamiek of de veranderingen, zoals de indeling in het Achtergrondrapport Systeembeschrijving Schelde-estuarium (Kuijper, 2007).

De keuze voor de analyse van de mesoschaal morfologische elementen is gekoppeld aan het belang van de platen, slikken, schorren en ondiepwater voor de natuurwaarden van de Westerschelde. De meest gewaardeerde natuur (in de vorm van planten, dieren en habitats) zijn gekoppeld aan deze mesoschaal morfologische elementen. De morfologische ontwikkelingen op deze schaal zijn mede bepalend voor de veranderingen in de natuur.



Figuur 1.2: Mesoschaal morfologische elementen rond het Middelpatencolplex in macrocel 3 (locatie in figuur 1.3).

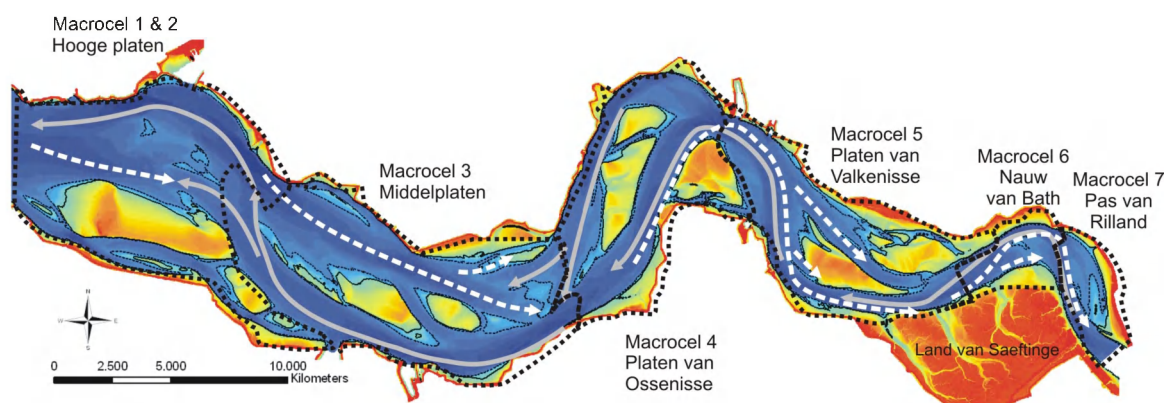
1.4 Doel

Het doel van de studie is het beschrijven en analyseren van de ontwikkelingen van de morfologie van de Westerschelde in de afgelopen 50 jaar. De beschrijving en de analyse zijn gericht op de ecologische gezien meest interessante en waardevolle gebieden. Dit zijn de droogvallende gebieden (platen, slikken en schorren) en het ondiepe water. Hierbij wordt ook aandacht besteedt aan de ontwikkeling van de ecologische kwaliteit van de droogvallende gebieden.

De beschrijving is gericht op het beschikbare areaal, de droogvallende gebieden en het ondiepe water, als de kwantitatieve maat. De kwaliteit van de droogvallende gebieden wordt beschreven door het areaal per droogvalpercentage en door het areaal in de verschillende ecotopen klassen.

De analyse van de morfologische ontwikkelingen van de droogvallende gebieden (platen, slikken en schorren) en het ondiepe water is gericht op het 'waarom' van de ontwikkelingen. Deze ontwikkelingen zijn gekoppeld aan de ontwikkelingen van de geulen die daarom ook in de analyse zijn betrokken. Op basis van de observaties en de analyse is een conceptueel model geformuleerd dat de waargenomen veranderingen verklaard.

Basis voor de beschrijving en analyse van de ecotopen zijn de morfologische ontwikkelingen in de Westerschelde vanaf de jaren vijftig. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de beschikbare bodemliggingskaarten, geomorfologische kaarten en droogvalduurkaarten.



Figuur 1.3: Macrocellen en plaatcomplexen in de Westerschelde (macrocellen naar Kuijpers, 2007).

1.5 Aanpak en leeswijzer

De beschrijving en analyse per macrocel wordt gepresenteerd in de bijlagen 1 tot en met 5. Deze bijlagen vormen op zich zelf staande notities van de ontwikkelingen van de morfologie per macrocel. De beschrijving per macrocel omvat steeds de ontwikkelingen van de droogvalpercentages, de arealen, de sedimentvolumes en de ecotopen. Ook de kaarten, grafieken en dwarsdoorsneden per macrocel worden in de bijlagen gegeven.

In hoofdstuk 2 wordt een algemene inleiding gepresenteerd van de morfologische elementen, de waterbeweging en de ecotopen van de Westerschelde.

Hoofdstuk 3 omvat een beknopte beschrijving van de gebruikte gegevens.

In hoofdstuk 4 wordt beschreven hoe de combinatie van de gegevens is gebruikt om de ecologisch relevante ontwikkelingen van de morfologie te achterhalen.

De morfologische ontwikkelingen die zijn beschreven in de bijlagen 1 tot en met 5 worden per macrocel samengevat in hoofdstuk 5. De ontwikkelingen van de verschillende cellen worden vergeleken en de ontwikkeling van het aantal platen en de lengte van de waterlijn per plaatcomplex wordt beschreven. Ook worden de ontwikkelingen van de geulen beschreven die gevolgen hebben gehad voor de ontwikkeling van de platen en slikken.

Hoofdstuk 6 omvat een analyse van de morfologische ontwikkelingen in de afgelopen vijftig jaar. In dit hoofdstuk wordt specifiek aandacht besteed aan het optreden van tegengestelde en vergelijkbare ontwikkelingen in de morfologie van de macrocellen. Daarbij wordt gekeken naar de ontwikkeling van de waterlijn van de platen en de ecologische consequenties daarvan, de definitie van ondiepwater, de invloed van moeilijk erodeerbare lagen, menselijke ingrepen en de uitwisseling van sediment tussen de geulen en de platen.

In hoofdstuk 7 wordt een synthese gepresenteerd in de vorm van een conceptueel model dat de ontwikkelingen van de geulen, het ondiepwater en de platen aan elkaar relateert en verklaart.

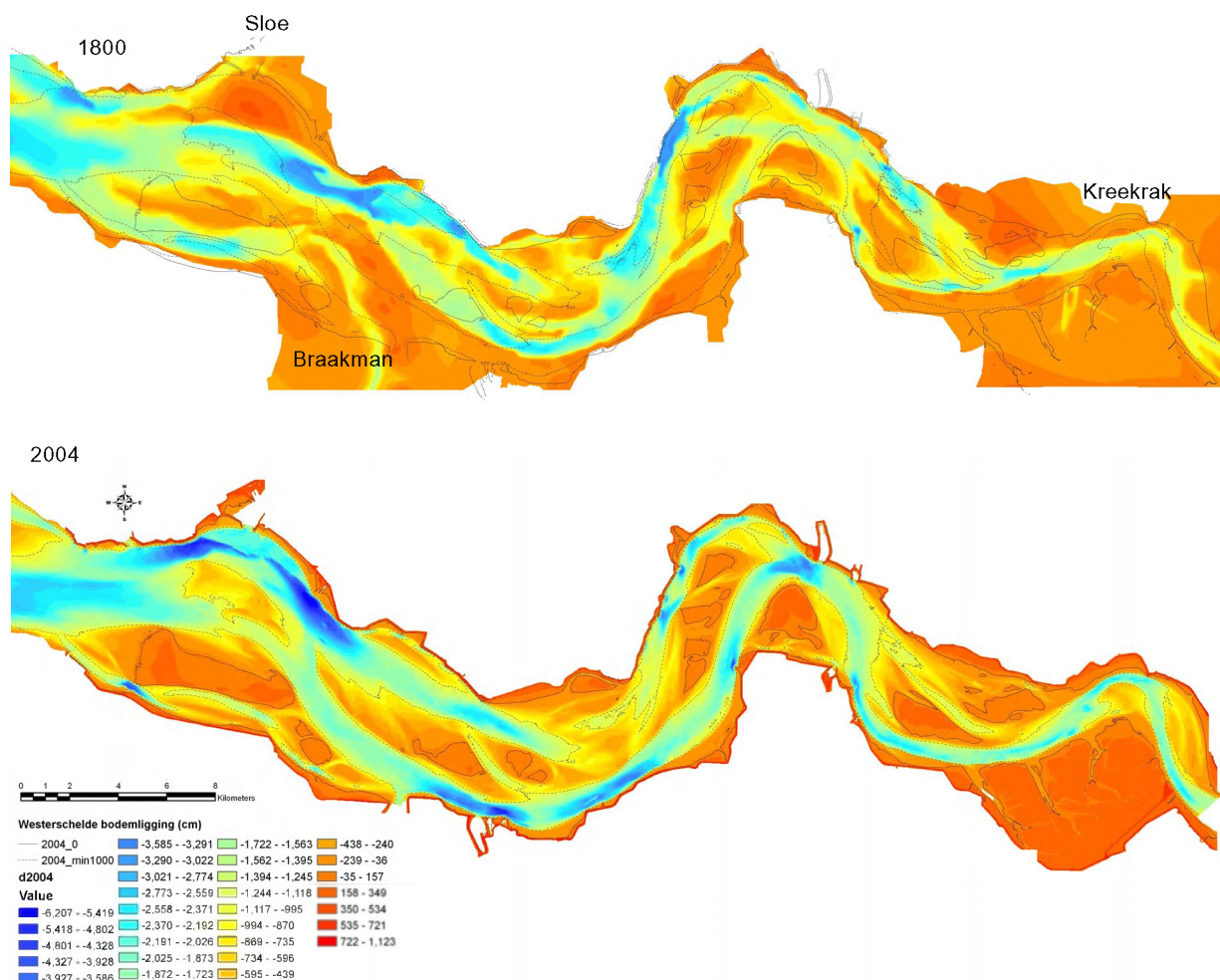
De ontwikkeling van de ecotopen in de Westerschelde in periode van 1959 tot 2004 wordt voor de platen en de slikken en de slikken en schorren beschreven in hoofdstuk 8. Deze ontwikkelingen van de ecotopen worden doorvertaald in de ecologische gevolgen.

In hoofdstuk 9 worden op basis van het conceptuele model en de beschrijving en analyse conclusies gepresenteerd over de morfologische ontwikkelingen op mesoschaal en de ecologische consequenties daarvan. Daarbij worden aanbevelingen gegeven voor het onderbouwen van de conclusies. In het licht van het milieueffectrapportonderzoek wordt ook ingegaan op de relatie tussen de macro- en mesoschaal morfologische dynamiek en op de verwachte effecten van de verruiming van de vaargeul.

2 Kenmerken van de Westerschelde

2.1 Gebiedskenmerken

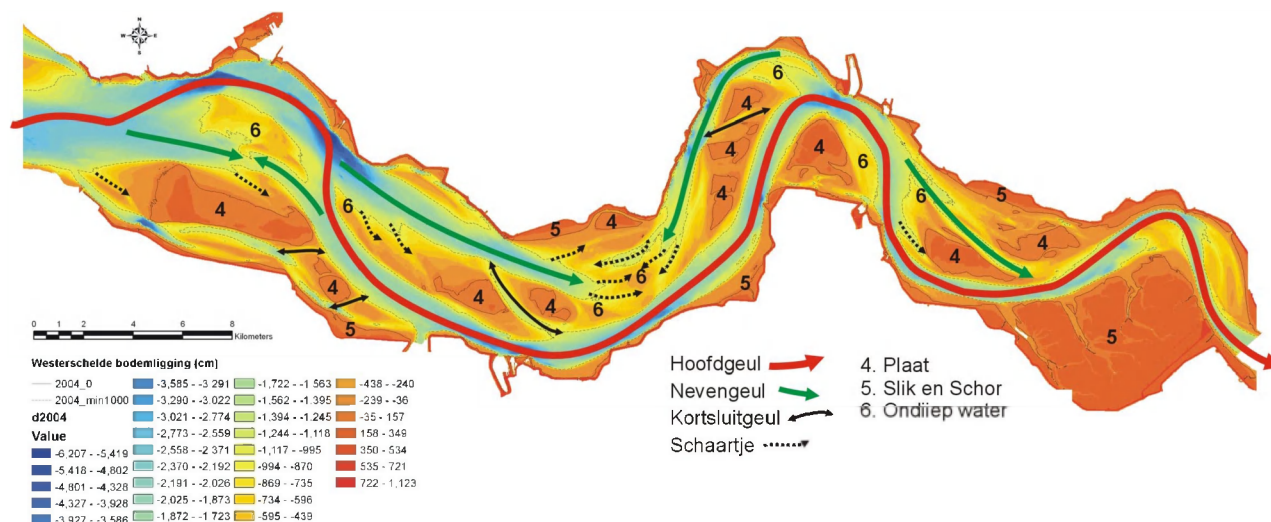
De Westerschelde is het langgerekte trechtvormige estuarium, dat van de (Zee)Schelde naar de Noordzee loopt, tussen Zuid-Beveland en Walcheren aan de noordzijde en Zeeuws-Vlaanderen aan de zuidzijde. In hoofdlijnen is deze langgerekte trechtvorm hetzelfde gebleven sinds de 18e eeuw (figuur 2.1, zie ook Van den Berg et al, 1996 en Van Veen, 1950). Uitzonderingen op de langgerekte trechtvorm zijn de zijarmen Sloe, Braakman en Kreekrak. De afdamming en inpoldering van de zijarmen heeft de trechtvorm verder benadrukt. Een beschrijving van de ontstaansgeschiedenis is onder andere te vinden in Kater (2005) en De Kraker (2002) en een beknopte omschrijving kan worden gevonden in het Achtergrondrapport Systeembeschrijving Schelde-estuarium (Kuijper et al, 2007).



Figuur 2.1: De bodemligging van de Westerschelde in 1800 (boven) en in 2004 (onder). Figuren afkomstig uit Alkyon, 2006.

Kenmerkend voor de huidige Westerschelde is het vlechtende patroon van geulen, die een aantal plaatcomplexen omsluiten (onder andere in Van Veen, 1950, Van der Spek, 1994, Van den Berg et

al, 1996, Jeuken, 2000). Het meergeulenstelsel bestaat uit een grote doorgaande geul (de hoofdgeul) en nevengeulen (figuur 2.2). Door de tussengelegen plaatcomplexen lopen vaak nog één of meerdere kleinere geulen. De nevengeulen zijn voornamelijk vloedscharen, zoals beschreven door Van Veen (1950), Van den Berg et al (1996) en Swinkels (2006). De kleine geulen dwars door de plaatcomplexen worden ook wel kortsluitgeulen genoemd, omdat deze geulen een verbinding (kort)sluiten tussen de hoofd- en nevengeulen. In de volgende paragraaf wordt kort stilgestaan bij de verschillende morfologische elementen van de Westerschelde.



Figuur 2.2: Schematische weergave van de morfologische elementen in de Westerschelde (Alkyon, 2006).

2.2 Morfologische elementen

In de Westerschelde wordt een aantal morfologische elementen onderscheiden, namelijk hoofd- en nevengeulen, platen, slikken, drempels met de bijbehorende eb- en vloedscharen, kortsluitgeulen door de platen, en schorren (figuur 2.2). Het onderscheid tussen de verschillende eenheden wordt gemaakt op basis van morfologie in kaartbeelden en dwarsdoorsneden en op basis van de verschillende hydrodynamische- en sedimenttransportprocessen (morfodynamiek) die de elementen kenmerken.

De morfologische elementen zijn in de kaarten van de opeenvolgende jaren herkenbaar, maar de vorm, de grootte en de locaties ervan veranderen. Deze veranderingen vormen de basis voor de morfologische analyse. In dit hoofdstuk worden eerst de verschillende morfologische eenheden benoemd.

2.2.1 Platen

De platen zijn de intergetijdengebieden in de Westerschelde die worden omgeven door water. De platen zijn hoger dan gemiddeld laagwater bij springtij (GLWS, zie Van Banning, 2007, voor de definitie hiervan), zodat ze tenminste gedurende een deel van de tijd droogvallen. Op grond van de aan- of afwezigheid van bodemvormen en de sedimentsamenstelling, wordt een onderscheid gemaakt in hoog- en laagdynamische delen van de platen. Op laagdynamische platen stroomt het water op en af zonder grote stroomsnelheden te bereiken. Op een dergelijk type plaat worden geen grote bodemvormen gevormd, waardoor ze relatief vlak zijn. De lage stroomsnelheden bieden de

mogelijkheid voor het afzetten van fijn sediment, inclusief slib. De omwerking van de bodem door fysische processen is beperkt.

In de Westerschelde liggen verschillende platen en delen van platen waar tijdens hoog water de getijdenstroming hoge stroomsnelheden bereikt. Tijdens laagwater zijn de grote ribbels (megaribbels en 'dunes', zie Ashley, 1990 voor een classificatie) op deze platen hiervan getuige. Door de hoge stroomsnelheden kan op deze platen bijna geen fijn materiaal worden afgezet, zodat de bodem voornamelijk uit relatief grof zand bestaat. Deze hoogdynamische delen van de platen liggen vrijwel altijd naast of in het verlengde van de getijdengeulen.

De laagdynamische platen bieden betere leefomstandigheden voor de verschillende soorten bodemdieren dan de hoogdynamische platen (zie bijvoorbeeld de resultaten van de MOVE monitoring, van Eck & Holzhauer, 2007). Vanwege de grotere voorkomens van bodemdieren op de laagdynamische plaatdelen vormen deze waarschijnlijk ook de belangrijkste foerageergebieden voor steltlopers. Op verschillende locaties op de platen in de Westerschelde worden zeehonden aangetroffen, die daar rusten, baren, zogen en verhareen (Meininger e.a., 2003).

2.2.2 Slikken

Onbegroeide intergetijdengebieden die aan de oever liggen worden in Zeeland 'slikken' genoemd. Op de meeste slikken stroomt het water op en af zonder hoge stroomsnelheden te bereiken, hoewel op sommige slikken direct naast de geul hoogdynamische delen worden aangetroffen. Op de slikken worden geen grote bodemvormen gevormd, waardoor deze relatief vlak zijn. De lage stroomsnelheden bieden de mogelijkheid voor het afzetten van fijn sediment, inclusief slib. Voor de slikken geldt net als voor de platen dat de laagdynamische delen de beste leefomstandigheden bieden voor bodemdieren. Daarom vormen de laagdynamische delen van de slikken waarschijnlijk ook de belangrijkste foerageergebieden voor steltlopers op de slikken.

2.2.3 Schorren

Schorren zijn de begroeide, hoger gelegen delen van de Westerschelde. Hoger betekent in dit geval in de hoogste zones van het intergetijdengebied en in het supragetijdengebied (boven gemiddeld hoogwater, zie voor de definitie hiervan Van Banning, 2007). De meeste schorren liggen tegen de dijken en hebben een voorland van slikken. Ook op de hogere delen van de Hooge plaat en de Plaat van Valkenisse wordt begroeiing aangetroffen, zodat deze delen worden geclassificeerd als schor. De samenstelling van de vegetatie volgt de hoogte in het gebied, met Zeekraal (*Salicornia*) en Slijkgras (*Spartina*) in het intergetijdengebied, tot Zeeaster (*Asteretea tripolii*) en Kweldergras (*Puccinellietum maritimae*) op de hogere delen en Zeekweek (*Elytrigia atherica*) op de hoogste delen. De schorren van de Westerschelde vormen belangrijke foerageer-, rust- en broedgebieden voor verschillende vogelsoorten.

2.2.4 Getijdengeulen

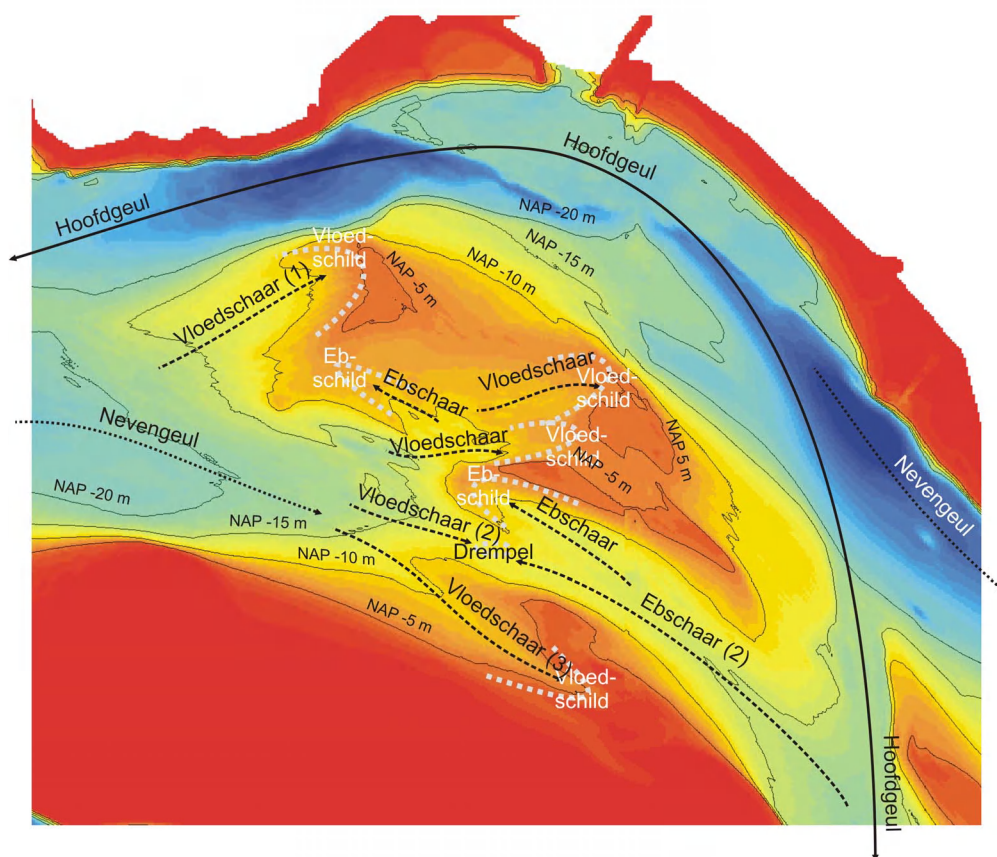
Geulen zijn de diep ingesneden delen van de Westerschelde, die veelal via een relatief steil geuldwaarsdoorsnede overgaan in de aangrenzende platen en slikken. De getijdengeulen worden in stand gehouden door de getijdenstroming. In de Westerschelde wordt in de meeste gevallen de geul gedomineerd door één overheersende stroomrichting en dan wordt gesproken van een eb- of vloedgeul. Door de getijdenstroming is de bodem van de geulen dynamisch. Afhankelijk van de stroomsnelheden is meer of minder sediment in beweging en ontstaan en verplaatsen megaribbels, zoals is geobserveerd in het Oostgat in de Monding van de Westerschelde (Erkens, 2003) en in de Schaar van Waarde (Ides, 2006). Geulbodems van actieve geulen hebben doorgaans grof sediment (zand, grind, schelpen en schelpfragmenten) op locaties waar de hoogste stroomsnelheden optreden (Bartholdy et al, 2002). In veel gevallen valt dat samen met het diepste deel van de geul (de "stroomkuil").

In de huidige situatie is in de Westerschelde sprake van één doorgaande grote geul die de hoofdgeul wordt genoemd. Vanwege de overheersende ebstroming in de hoofdgeul is dit een ebgeul. De hoofdgeul slingert met grote bochten door de Westerschelde. Per bocht van de hoofdgeul ligt er in de binnenbocht tenminste één geul die min of meer parallel loopt aan de hoofdgeul, dit is de nevengeul. De combinatie van hoofdgeul en nevengeul vormt een bochtgroep, die macrocellen worden genoemd (bijvoorbeeld in Winterwerp et al, 2000). Vrijwel alle nevengeulen hebben een overheersende stroming in de vloedrichting en er wordt daarom ook wel van vloedgeulen gesproken.

De ondiepe delen van de geulen (en de ondiepe geulen) vormen een deel van het ondiepwaterareaal in de Westerschelde. In dit rapport wordt in overeenstemming met de andere milieueffectrapporten (zie bijvoorbeeld het Achtergrondrapport Systeembeschrijving Schelde-estuarium, Kuijper et al, 2007) en MOVE (Van Eck en Holzhauser, 2007) onder ondiepwater het bereik van NAP –5 meter tot NAP –2 meter verstaan. Op de morfologische betekenis van dit bereik wordt in hoofdstuk 6 dieper ingegaan.

2.2.5 Drempels met eb- en vloedscharen

De drempels in de Westerschelde zijn relatief ondiepe gebieden waarin de nevengeulen uitlopen (zie bijvoorbeeld Verbeek et al, 1998 en Jeuken, 2000). In figuur 2.3 is de drempel van de Spijkerplaat weergegeven, met daarin het patroon van geulen, en ondiepten. De drempels vormen de overgang van nevengeul naar hoofdgeul. De nevengeulen vertakken (in sommige jaren) in verschillende kleine geulen die scharen worden genoemd. Omdat de nevengeulen vrijwel allemaal in de vloedrichting de Westerschelde steken, lopen de nevengeulen uit in één of meerdere vloedscharen.



Figuur 2.3: De drempel met vloed- en ebscharen en de bijbehorende schilden van de Spijkerplaat (bodemligging 2004).

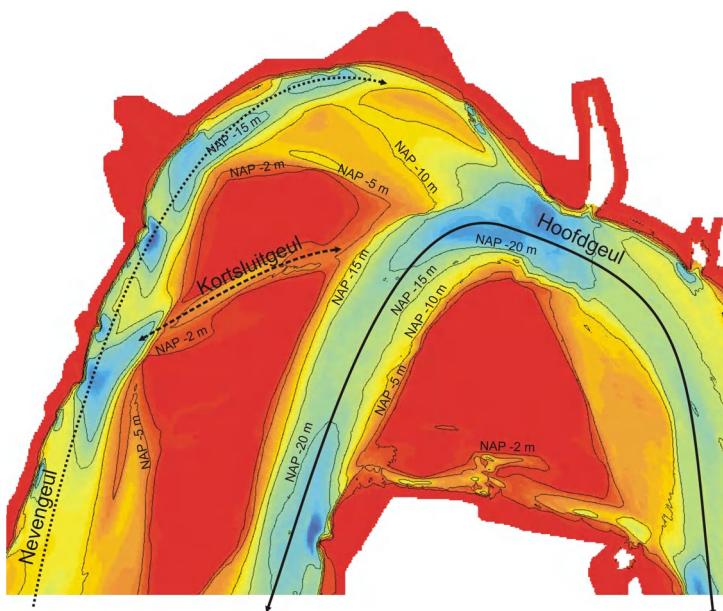
Eb- en vloedscharen zijn kenmerkende morfologische elementen in alle getijdengebieden met geulen en platen (Van Veen, 1950, Van Straaten, 1964). Een schaar bestaat uit een geul die steeds smaller en ondieper wordt, meestal omgeven door een schildvormige ondiepte (zie voor een voorbeeld vloodschaar 1 in figuur 2.3). Scharen eindigen in een drempel wanneer eb- en vloedscharen elkaar ontmoeten (vloodschaar en ebschaar 2 in figuur 2.3 vormen hiervan een voorbeeld). Andere scharen lopen uit in een plaat (zie voor een voorbeeld vloodschaar 3 in figuur 2.3).

De richting waarin de schaar ondieper wordt, geeft de hoofdrichting van de stroming en de sedimenttransporten aan. Deze duidelijke koppeling tussen morfologie en sedimenttransport maakt het mogelijk ebscharen van vloedscharen te onderscheiden. In de Westerschelde komen eb- en vloedscharen vaak gekoppeld voor.

Eb- en vloedscharen zijn de meest dynamische onderdelen van de Westerschelde, ze ontstaan en verdwijnen met een frequentie van 19 tot 50 jaar en hebben over het algemeen hoge laterale verplaatsingssnelheden (dat wil zeggen in de richting dwars op de geulas van de kortsluitgeul). De stroomsnelheden zijn hoog en er is veel sediment in beweging. Dit geldt voor het diepere 'geul' gedeelte en voor de aangrenzende ondiepte (Verbeek, et al, 1998 en Jeuken, 2000). Een deel van het ondiepwaterareaal in de Westerschelde bestaat uit eb- en vloedscharen en hun drempels. De eb- en vloedscharen worden ook wel (drempel)kortsluitgeulen genoemd ('bar channels', Jeuken, 2000). In dit rapport reserveren we het woord kortsluitgeul voor de geulen die dwars door de platen steken ('cross channels', Jeuken, 2000).

2.2.6 Kortsluitgeulen

Kortsluitgeulen zijn de getijdengeulen die een verbinding vormen tussen de hoofdgeul en de nevengeul dwars door een plaatcomplex (figuur 2.4).



Figuur 2.4: De kortsluitgeul Geul van Molenplaat tussen de hoofdgeul (Overloop van Hansweert) en de nevengeul (Middelgat) door de westelijke platen van Ossensisse (bodemligging 2004).

Kortsluitgeulen zijn kleiner dan de hoofd- en nevengeulen, in termen van doorstroomoppervlak en maximale diepte. Kortsluitgeulen zijn dynamische onderdelen met over het algemeen hoge

verplaatsingssnelheden (in de richting dwars op de geul). Een deel van het ondiepwaterareaal in de Westerschelde bestaat uit (de ondiepe delen van de) kortsluitgeulen.

2.3 Waterbeweging

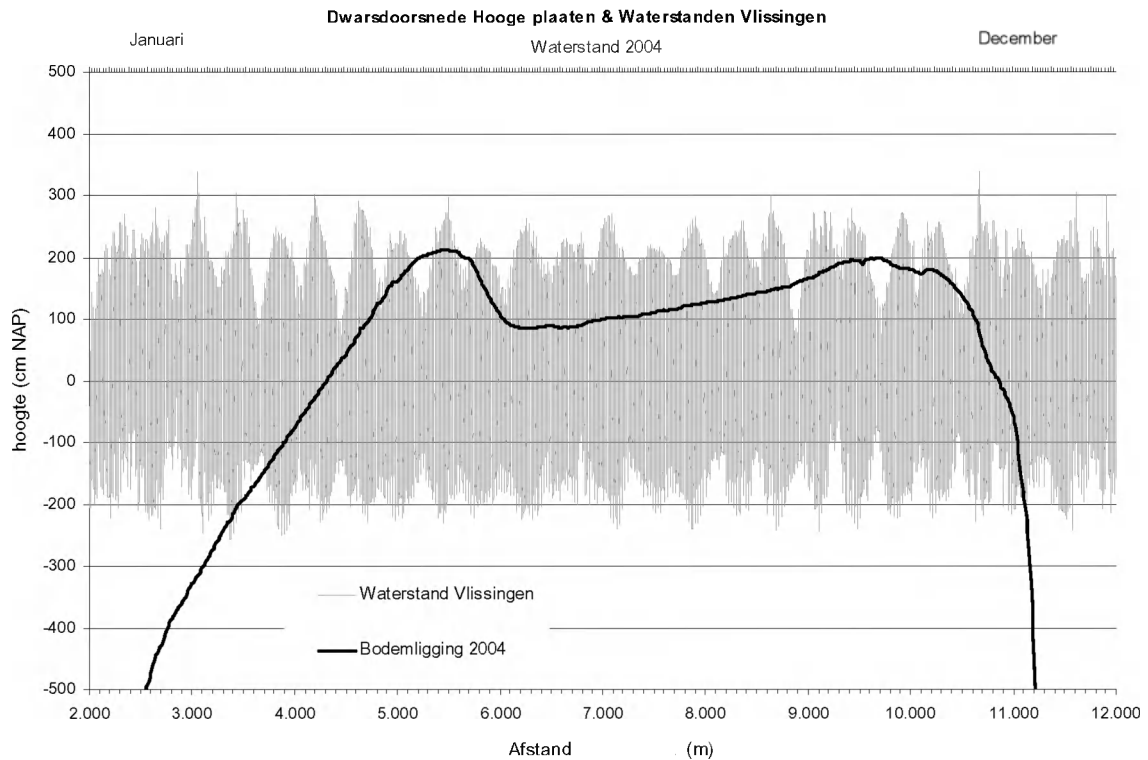
De waterbeweging in de Westerschelde wordt met name bepaald door het getij op de Noordzee en de wijze waarop de getijgolf vervormt bij het in- en uitlopen in het estuarium (Van Banning, 2007). De afvoer van de Schelde is naar verhouding zo klein dat dit geen grote invloed heeft op de waterbeweging in de Westerschelde. De waterstanden op de Noordzee, in de monding en in de Westerschelde worden beïnvloed door opstuwing door de wind en stromingseffecten door golven. De waterstand en waterbeweging in de Westerschelde kan daardoor afwijken van het voorspelde astronomische getij (zie bijvoorbeeld Hisgen en Laane, 2004 voor een inleiding in het getij).

2.3.1 Getij en waterstanden

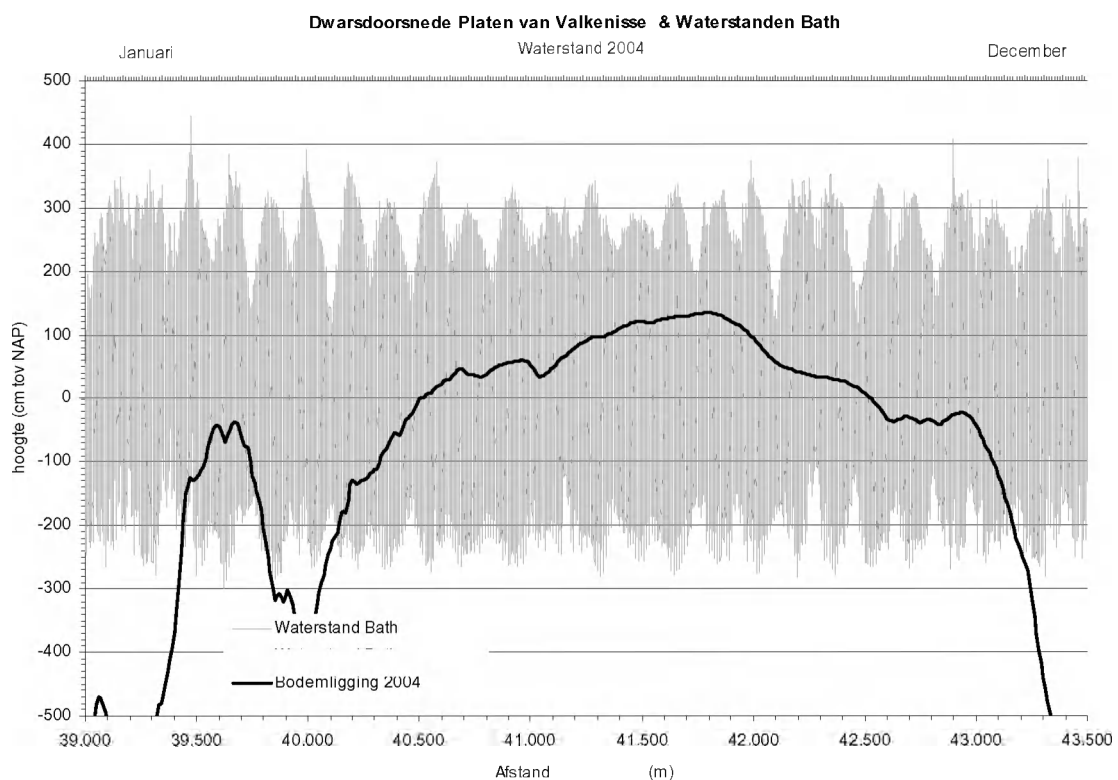
Het verticale getij op de Westerschelde is, in verhouding met bijvoorbeeld de Hollandse kust relatief groot. Het verticale verschil tussen hoog- en laagwater (de getijslag) neemt toe van Vlissingen richting Bath. Dit is goed te zien in het gemeten verloop van de waterstanden bij Vlissingen en bij Bath, zoals weergegeven in de figuren 2.5 en 2.6.

De gemiddelde getijslag bij Vlissingen bedraagt 3,86 meter; ter hoogte van Bath is dit 4,83 meter. Bij Antwerpen in België bedraagt het getijverschil nog iets meer, namelijk 5,20 meter (Van Banning, 2007). Nog verder de Schelde op neemt de getijslag overigens weer af (de zogenaamde vloedkuil, Van Veen, 1944). Dit laatste houdt verband met de relatief smalle toegang tot het achterliggende stroomgebied en de bodemwrijving die de getijgolf ondervindt. Stormopzet kan de waterstand tijdelijk verhogen (bij windrichtingen uit het westen en noordwesten) of verlagen (bij windrichtingen uit het oosten en zuidoosten).

Op de Westerschelde is sprake van een typisch asymmetrisch waterstandverloop van het getij, waarbij de rijzingsduur korter is dan de dalingsduur (Van der Spek, 1994). Bovendien treden de maximale eb- en vloodsnelheden iets eerder op dan respectievelijk de laagste en hoogste waterstand. Omdat de waterstand tijdens vloed hoger is kan de vloedstroom over een grotere breedte het estuarium optrekken. De ebstroom daarentegen is meer geconcentreerd in de getijgeulen, omdat delen van de platen dan zijn drooggevallen (Wang et al, 1999, Steijn en Adema, 2000).



Figuur 2.5: Dwarsdoorsnede van de Hooge plaat (op onderste as) in combinatie van met de waterstand gedurende het jaar in station Vlissingen (bovenste as).



Figuur 2.6: Dwarsdoorsnede van de platen van Valkenisse (op onderste as) in combinatie van met de waterstand gedurende het jaar in station Bath (bovenste as).

Het getij kent niet alleen kortdurende waterstandvariaties, zoals de bekende doottij springtij cyclus (maandelijks), maar ook meerjarige variaties. Zo is er bijvoorbeeld de 18,6 jarige cyclus van het nodaal getij. Hierover wordt gerapporteerd in het basisrapport Water (Van Banning, 2007). Op de nog langere termijn (eeuw) speelt ook zeespiegelstijging een belangrijke rol. Niet alleen omdat, als de platen niet meegroeien met de stijgende zeespiegel, ze dan automatisch na verloop van tijd onder water verdwijnen, maar ook omdat als gevolg van opslinging de getijslag achter in het estuarium sterker toeneemt dan de zeespiegelstijging zelf (Van der Spek, 1994). De niveaus van het getij (hoogwater, laagwater en middenstand) zijn dus geen vaste waarden, ze variëren door het estuarium en in de tijd.

2.3.2 Getijvolume en komberging

Het getijvolume van de Westerschelde is de hoeveelheid water die tijdens een getijcyclus de Westerschelde in- en uitstroomt, dat wil zeggen dat het de som is van het vloed- en ebvolume. Het getijprisma is de helft van het getijvolume. Het kombergingsgebied of -oppervlak is het gehele gebied waar het vloedvolume wordt opgeslagen. Voor de Westerschelde sterkt zich dat uit tot en met de Zeeschelde en delen van de Bovenschelde. De hoog- en laagwaterstanden in combinatie met het verloop van de waterstanden in het hele kombergingsgebied bepalen hoeveel water geborgen wordt. Ook voor andere dwarsdoorsneden dan de ingang van de Westerschelde (bij Vlissingen-Breskens) kan een getijvolume worden bepaald. Dat is dan het volume water dat in het kombergingsgebied landwaarts van die dwarsdoorsnede wordt geborgen. De trechtersvorm van de Westerschelde vertaalt zich in een afname van het getijprisma van de Westerschelde van west naar oost, met een debiet van $950 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{getij}$ bij Vlissingen, $500 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{getij}$ halverwege bij Hansweert tot $150 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{getij}$ bij Bath (Steijn en Adema, 2000).

2.3.3 Droogvalpercentages

De mate waarin een plaat, slik of schor droogvalt gedurende het getij hangt af van de hoogte van het gebied en van de lokale verschillen in de waterstanden (Alkyon, 2006). Een voorbeeld van de verschillen die optreden in de Westerschelde is gegeven in de figuren 2.5 en 2.6. In beide figuren is zowel de ligging van de bodem in een dwarsdoorsnede en het lokale waterstandsignaal gedurende één jaar weergegeven voor het jaar 2004. Het verschil tussen de beide figuren is de locatie: in figuur 2.5 staat een dwarsdoorsnede van de Hooge platen, met de lokale waterstand zoals gemeten in het station bij Vlissingen. In figuur 2.6 staat een dwarsdoorsnede van de Platen van Valkenisse, met de lokale waterstand zoals gemeten in het station bij Bath. In de waterstanden in beide figuren is de regelmatige doottij- springtij cyclus zichtbaar. De uitschieters van de waterstanden naar boven zijn terug te voeren op stuwing tijdens stormen en uitschieters naar beneden zijn terug te voeren op afwaaiing (het 'leegblazen' bij periodes met oostenwind). De belangrijke verschillen in de waterstanden tussen Vlissingen en Bath zijn de getijslag en de niveaus van hoog- en laagwater. De maximale waarden die het hoogwater bij Vlissingen bereikt schommelt rond de NAP 2 meter en de bij Bath is dat bij de NAP 3 meter. Het laagwater bij Vlissingen schommelt rond de NAP -1,5 meter en bij Bath rond de NAP -2 meter.

Het gevolg van deze verschillen in het getijslag in de Westerschelde is dat plaatdelen op dezelfde hoogte in het westen Westerschelde langer of juist korter droog liggen dan in het oostelijk deel van de Westerschelde. Om het droogvallen van de platen te kunnen vergelijken wordt daarom gewerkt met droogvalpercentages. Voor het bepalen van de droogvalpercentages en van de arealen in de droogvalpercentages en in de ecotopen klassen wordt gerekend ten opzichte van de lokale waterstanden (een variabel referentieniveau, zie Van Banning, 2007).

De tijd die platen en slikken droogvallen is van belang voor de ecologische waarde van de plaat (onder andere Van der Kam et al, 1999, Blomert, 2002, Ens et al, 2005). Het droogvallen gedurende een groot deel van het getij lange tijd levert minder goede leefomstandigheden op voor de bodembewoners van de platen. En kort droogvallen betekent dat vogels die bodemdieren eten minder tijd hebben om hun voedsel te verzamelen. De combinatie van het voedselaanbod (bodemdieren) en de foerageerduur tezamen bepaalt de omstandigheden voor de steltlopers. Een meer uitgebreide discussie kan worden gevonden in Alkyon, 2006.

De mate van droogvallen kan worden uitgedrukt in droogvalduur of droogvalpercentages door de hoogte en de lokale waterstand te combineren. De optimale droogvalpercentages voor foeragerende steltlopers vallen tussen de 30 procent en 70 procent (Alkyon, 2006).

2.4 Geomorfologie en ecotopen

2.4.1 Geomorfologische kaarten

Van het inter- en supragetijdengebied van de Westerschelde zijn geomorfologische kaarten gemaakt, waarin een hoofdindeling wordt gemaakt op basis van de begroeiing, het substraat en ligging.

Geomorfologische kaarten beschrijven de landschaps- en reliëfvormen (Ten Cate & Maarleveld, 1977). De geomorfologische kaarten van de Westerschelde zijn gebaseerd op een classificatie van waarnemingen. In luchtfoto's worden kenmerkende structuren, kleuren en patronen herkend (figuur 2.7). De basiskaart is een kaart van de ribbels, het zand, slib, steen en veen en de vegetatie van de gebieden die droog lagen toen de foto werd gemaakt.

Aan de hand van de kenmerken van de droogvallende gebieden wordt een interpretatie gemaakt van de verschillende afzettings- en vormingsmilieus. Deze interpretatie kan worden gemaakt omdat er een koppeling bestaat tussen de waargenomen kenmerken en de omstandigheden waaronder deze zijn gevormd. Uit de aanwezigheid van megaribbels kan bijvoorbeeld worden herleid dat lokaal relatief veel erosie en sedimentatie plaatsvindt en daarmee dat de bodem hoogdynamisch is. Dynamiek staat in dit geval voor de mate waarin het sediment in beweging is als gevolg van de getijstroming en golven. Op de geomorfologische kaarten van de Westerschelde wordt onder andere een onderverdeling gemaakt in hoog- en laagdynamisch platen en slikken.

2.4.2 Ecotopen

Een ecotoop wordt gedefinieerd als een ruimtelijk begrensde ecologische eenheid, 'waarvan de samenstelling en ontwikkeling worden bepaald door abiotische, biotische en antropogene condities ter plaatse. Een ecotoop is een herkenbare, min of meer homogene landschappelijke eenheid.' (Bouman e.a., 2005). Voor het zoutwater ecotopenstelsel (ZES 1), dat voor de zoute wateren in Nederland wordt gehanteerd, zijn aan de hand van de meest belangrijke fysische omgevingsfactoren en processen die de ruimtelijke variatie in het voorkomen van levensgemeenschappen bepalen, een aantal abiotische indelingskenmerken gekozen. Deze indelingskenmerken zijn: het zoutgehalte en de variatie daarin, hard of zacht substraat, de waterdiepte, de hydrodynamiek (stroomsnelheid en golfslag), de droogvalduur en de sedimentsamenstelling.

Van de indelingskenmerken die in het ZES 1 worden gehanteerd zijn voor deze studie de waterdiepte en de droogvalduur beschikbaar. Daarbij zijn de geomorfologische kaarten beschikbaar, waarin een aantal indelingskenmerken 'verstopt' aanwezig zijn. De waargenomen bodemvormen, de aanwezigheid van vegetatie en het voorkomen van hard substraat (veen en steen) levert direct of indirect aanwijzingen voor de heersende fysische omstandigheden. De hydrodynamiek in de ecotopenkaarten in deze studie is bijvoorbeeld afgeleid op basis van de aanwezigheid van verschillende soorten bodemvormen.

Informatie over het zoutgehalte, de bodemsamenstelling en hydrodynamiek zijn voor deze studie niet gebruikt, omdat deze voor het merendeel van de jaren niet beschikbaar is. De vereiste waarnemingen (bodemsamenstelling) en modelsimulaties (zoutgehalte, hydrodynamiek) zijn voor de betreffende jaren niet uitgevoerd.

De combinatie van de geomorfologische kaarten met de kaarten met de droogvalpercentages is in deze studie gebruikt om vereenvoudigde of globale ecotopenkaarten te maken van de Westerschelde voor de periode 1959 tot 2004. We spreken van vereenvoudigde kaarten omdat een beperkter aantal klassen wordt onderscheiden dan in de ecotopenkaarten zoals die zijn vervaardigd voor de MOVE-rapportages (zie o.a. Van Eck en Holzhauer, 2007) en voor deze MER (en beschreven in het Basisrapport Water, van Banning, 2007).

Tabel 2.1: Klassen van de Ecotopenkaarten.

Ecotopen klasse	Droogvalpercentages (equivalent van hoogte)
Veenbanken	
Plaat en slik laagdynamisch	laag (1%-30 % droogvallen)
	midden (30%-70 % droogvallen)
	hoog (70%-100 % droogvallen)
	geen droogvalpercentage beschikbaar
Plaat slik hoogdynamisch	
Schor	
Primair schor en <i>Spartina</i> -pollen	
Duinen, Hard substraat & Overige antropogeen	

De indeling van de intergetijdegebieden (het litoraal) op de platen en de slikken in laag (droogvalduur 0% tot 30%), midden (droogvalduur 30% tot 70%) en hoog (droogvalduur 70% tot 100%) in deze studie wijkt af van de indeling in het ZES 1, waar respectievelijk waarden van 1% tot 25%, van 25% tot 75% en van 75% tot 100% worden gebruikt. De in deze studie gebruikte waarden komen overeen met de waarden die in Alkyon (2006) zijn gebruikt voor het beschrijven van de ecologische ontwikkelingen van de platen in de Westerschelde. Het gevolg van het verschil met ZES 1. is dat de absolute getallen in de arealen verschillen in vergelijking met de MOVE ecotopenkaarten (Van Eck en Holzhauer, 2007), maar dat de trends in de ontwikkelingen goed vergelijkbaar zijn.

2.4.3 De verschillende ecotopenkaarten

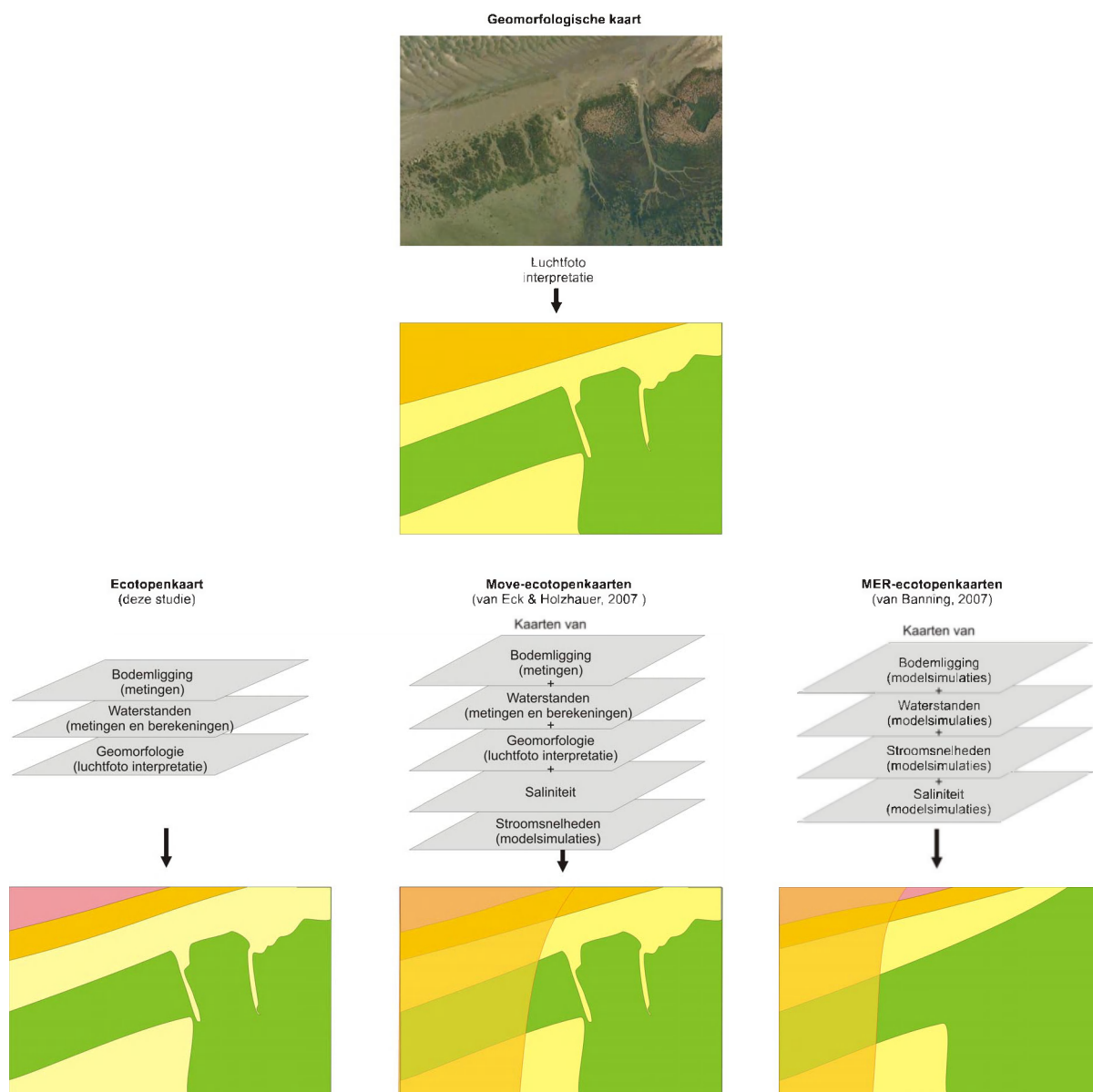
In dit rapport wordt gerapporteerd over de (globale of vereenvoudigde) ecotopenkaarten van de Westerschelde, in het basisrapport Water (Van Banning, 2007) wordt gesproken over de ecotopenkaarten van de Westerschelde en ook in de MOVE-rapportage (van Eck en Holzhauer, 2007) wordt gesproken over ecotopenkaarten. De verschillen tussen de MOVE-ecotopenkaarten, de MER-ecotopenkaarten en de ecotopenkaarten uit deze studie zijn weergegeven in figuur 2.7 en worden hieronder toegelicht.

De ecotopenkaarten zijn gebaseerd op verschillende combinaties van kaarten van de bodemligging, de waterstanden, de waterbeweging, de saliniteit en de geomorfologie. De basiskaarten zijn gemaakt op basis van metingen, waarnemingen, berekeningen en modelsimulaties met numerieke modellen. De combinatie van de hoogte ten opzichte van de lokale hoog- en laagwaterstanden, de opgetreden

(maximale) stroomsnelheden of de dynamiek uit de geomorfologische kaarten en de saliniteit leveren tezamen de kenmerkende karakteristieken voor de afzettingmilieus.

Voor de platen, slikken en schorren zijn de ecotopenkaarten uit deze studie en de MOVE-ecotopenkaarten (van 1996 en 2004) gebaseerd op dezelfde gegevens, namelijk de droogvalpercentages (op basis van de gemeten bodemligging en waterstanden) en de geomorfologische kaarten. In de MOVE-ecotopenkaarten is daarbij ook een classificatie gemaakt van het sublittoraal en is een onderscheid gemaakt in brakke en zoute ecotopen op basis van de saliniteit.

De voorspellingen van de ecotopen, zoals deze in het kader van de MER Verruiming Vaargeul (van Banning, 2007) zijn uitgevoerd, zijn volledig gebaseerd op modelsimulaties, omdat metingen van de toekomstige situatie (natuurlijk) niet beschikbaar zijn.



Figuur 2.7: Illustratie van de totstandkoming van de geomorfologische kaarten (boven) en de verschillende ecotopenkaarten (onder).

De ecotopenkaarten (globale of vereenvoudigde ecotopenkaarten) die in deze studie zijn gemaakt, omvatten een lange periode (1959 tot 2004). Voor de situaties van vóór 1996 zijn geen modelsimulaties voor de stroomsnelheden, waterstanden en saliniteit. Vandaar dat deze ecotopenkaarten beperkt zijn tot de droogvallende delen van de Westerschelde, voor die jaren waarvan de geomorfologische kaarten beschikbaar zijn.

Een belangrijk verschil tussen de MER-ecotopenkaarten voor de toekomstige situatie (van Banning 2007) en de ecotopenkaarten uit deze studie en de MOVE-ecotopenkaarten is het onderscheidt in hoog- en laagdynamische gebieden op deplaten en de slikken. In de MER-ecotopenkaarten wordt de stroomsnelheid gebruikt als criterium voor de dynamiek. De grenswaarde in de stroomsnelheid tussen hoog- en laagdynamisch is afgeleid van de geomorfologische kaarten. Voor de aanwezigheid van bodemvormen (ribbels) bestaan bijvoorbeeld stabiliteitsdiagrammen, waarin de relatie tussen stroomsnelheid, korrelgrootte en bodemvorm (bij een bepaalde waterdiepte) wordt weergegeven. Uit deze stabiliteitsdiagrammen kan worden herleid bij welke stroomsnelheid de overgang van geen naar kleine ribbels plaatsvindt. Die stroomsnelheid is dan de waarde die in principe in de ecotopenkaarten gebruikt wordt. Belangrijke verschillen tussen kaarten bestaan omdat de relatie tussen geomorfologische klassen en de bepalende parameters complexer is dan is voorgesteld in de ecotopenkaart en de simulaties van de waterbeweging (en de saliniteit) afwijken van de werkelijk opgetreden waarden.

Omdat de verschillende typen ecotopenkaarten van hetzelfde jaar op verschillende wijze tot stand zijn gekomen, bestaan er discrepanties tussen de kaarten. De kaarten zijn dan ook niet bedoeld om onderling te vergelijken. Wel kunnen kaarten van verschillende jaren die op dezelfde wijze zijn vervaardigd worden vergeleken, om zo uitspraken over de ontwikkeling van de ecotopen te doen. Zo worden de ecotopenkaarten in deze studie gebruikt om de ontwikkelingen van de ecotopen in de periode van 1959 tot 2004 te beschrijven en worden in het Basisrapport water (van Banning 2007) de MER-ecotopenkaarten gebruikt om *de verschillen in de ontwikkelingen* van de ecotopen te vergelijken die het gevolg zijn van de verschillende toekomst scenario's.

3 Gebruikte gegevens

3.1 Inleiding

In deze studie is gebruik gemaakt van de gegevens zoals die zijn aangeleverd door Rijkswaterstaat RIKZ. De gegevens beslaan een periode van bijna vijftig jaar en dat betekent bijna automatisch dat de meet- en verwerkingswijzen gedurende de meetreeks meerdere malen zijn veranderd. Het gevolg daarvan is dat de kwaliteit van de gegevens binnen de reeks verschilt. Binnen de doelstellingen van dit rapport voert het te ver om alle kwaliteitsverschillen te bespreken. Wel zal kort wordt stilgestaan bij de vraag of de kwaliteit van de gegevens voldoende is voor het uitvoeren van het voorliggende onderzoek.

3.2 Bodemligginggegevens

De gebruikte bodemligginggegevens bestaan uit een 20 x 20 meter raster (of 'grid'), dat is samengesteld op basis van de oorspronkelijke bodemliggingdata van de Westerschelde. De opname van de bodemligging vindt plaats vanaf schepen (echolodingen), door waarnemers op het droge (waterpassen en GPS-metingen) en vanuit vliegtuigen (laseraltimetrie). Deze metingen worden uitgevoerd in een vast raaiensstelsel, waarbij de raaien een onderlinge afstand van doorgaans 200 meter hebben. De opnames van de bodemligging hebben per kaartblad plaatsgevonden. Tot de jaren tachtig werd de Westerschelde in twee jaar opgemeten en daarna gebeurde het in één jaar (tabel 3.1). Sinds halverwege de jaren negentig worden de droogvallende delen (platen en kust) vanuit vliegtuigen ingemeten met laseraltimetrie.

In de voorliggende studie is alleen gebruik gemaakt van een deel van de digitaal beschikbare bodemligginggegevens, waarbij de jaren overeenkomen met jaren waarvoor de droogvalpercentages zijn berekend (zie de volgende paragraaf). In Habraken en Parée (2006) is een overzicht vanaf 1950 opgenomen van de beschikbare vaklodingen per blad voor de Westerschelde.

Jaartal zoals gebruikt in deze studie (A1854)	Opname jaar westelijke deel	Opname jaar oostelijke deel
1959	1960	1959
1962	1962	1961
1965	1966	1965
1969	1970	1969
1974	1974	1973
1977	1978	1977
1982	1982	
1988	1988	
1992	1992	
1996	1996	
2000	2000	
2004	2004	

Tabel 3.1: Opname van de jaartallen

Nadat de metingen hebben plaatsgevonden zijn door Rijkswaterstaat bewerkingen uitgevoerd om te komen tot het 20 x 20 meter raster dat de basis vormt voor de kaarten in dit rapport. In de loop van de tijd is deze nabewerking veranderd, waarbij de belangrijkste verandering is, dat sinds (ongeveer) 2001 de waterstandcorrectie niet meer vereist is.

Tot die tijd werd de waterdiepte bepaald ten opzichte van de lokale waterhoogte op het moment van meten. Aan de hand van het (gemeten) waterstandverloop in het gebied tijdens de meting werd dan naderhand de diepte ten opzichte van NAP bepaald. Deze verwerking gebeurde per kaartblad. Vanaf ongeveer 2001 wordt tijdens de meting de hoogte van het schip ten opzichte van NAP (en de locatie) direct gemeten met een DGPS-LRK systeem en wordt ter plekke de waterstand ten opzichte van NAP bepaald. De waterstandcorrectie “achteraf” kan daardoor achterwege blijven.

De metingen moeten vervolgens vanuit de raaien worden “vergrid” tot een 20 x 20 raster. Rijkswaterstaat heeft daarbij gebruik gemaakt van hun standaard ‘Digipol’ software.

Voor een overzicht van de nauwkeurigheid van de hoogtebepalingen en het gebruik van deze gegevens bij kuberingen wordt verwezen naar Nederbragt en Liek (2004) en de referenties daarin.

3.3 Droogvalpercentages

De combinatie van de bodemligging van een bepaald jaar en het waterstandverloop uit dat jaar en de vier voorgaande jaren is de basis voor het bepalen van droogvalpercentages. Het droogvalpercentage is gedefinieerd als de fractie van de tijd (bezien over het hele betreffende jaar) dat het betreffende gridpunt boven water ligt. Door de Universiteit Eindhoven is een set van Matlab-routines ontwikkeld, waarmee de droogvalpercentages zijn berekend. De waterstanden op ieder gridpunt worden daarin ruimtelijk geïnterpoleerd uit de gemeten waterstanden op de meetstations Vlissingen, Terneuzen, Hansweert en Bath. Daarbij wordt rekening gehouden met de looptijd van het getij. De beschrijving van de methode staat in het rapport ‘Inundatiekaarten Westerschelde’ (Habets, 2003).

De waterstanden worden gemeten en opgeslagen voor verschillende meetstations langs de Westerschelde. De frequentie waarmee de informatie wordt ingewonnen en opgeslagen is in de loop van de tijd veranderd. Vanaf 1987 tot heden is voor iedere tien minuten de waterstand beschikbaar voor de stations Vlissingen, Terneuzen, Hansweert en Bath. Voor de periode 1971 tot en met 1987 is voor ieder uur een waterstand beschikbaar en zijn de tijdstippen van hoog- en laagwater vastgelegd. Voor de periode 1954 (1957 voor Bath) tot en met 1970 is voor iedere drie uur een waterstand beschikbaar en zijn de tijdstippen van hoog- en laagwater vastgelegd.

De Meetadviesdienst Zeeland van Rijkswaterstaat heeft de beschikbare gegevens van de waterstanden gebruikt om de gemiddelde waterstanden in verschillende jaren te berekenen. Hierover is gerapporteerd in Habraken en Pree (2006). Voor de periode 1954 tot en met 1987 zijn de beschikbare gegevens gebruikt om een tien-minuten verloop van de waterstanden te reconstrueren.

Op basis van deze waterstandgegevens zijn door Rijkswaterstaat de niveaus bepaald die zijn gebruikt voor het bepalen van de droogvalpercentages. Deze waterstanden zijn weliswaar aangeduid met Gemiddeld Laagwater bij Springtij (GLWS) en Gemiddeld Hoogwater bij Doodtij (GHWD), maar de gebruikte definities komen niet overeen met de reguliere (internationale) definities die volledig zijn gebaseerd op astronomische waterstanden en die worden gebruikt in het basisrapport Water (Van Banning 2007). Daarom wordt in dit rapport gesproken over GLMWS en GHMWD, wanneer de waarden worden bedoeld inclusief de meteorologische effecten. Voor het bepalen van de GLMWS en GHMWD zijn voor het karterjaar en de vier voorgaande jaren (dus in totaal een periode van vijf jaar) de spring- en doortij dagen vastgesteld. Van deze dagen wordt respectievelijk de laagste waterstand (voor springtij) en de hoogste waterstand (voor doortij) geselecteerd. De waarden van deze

waterstanden en van respectievelijk de twee laagwaters ervóór en erná en de twee hoogwaters ervóór en erná worden voor de periode van vijf jaar gemiddeld.

De droogvalpercentages zijn geproduceerd door de Meetadviesdienst Zeeland van Rijkswaterstaat met behulp van de genoemde Matlab-routines. De wijze waarop de kaarten tot stand zijn gekomen is gerapporteerd in Habraken en Parée (2006). De droogvalduurkaarten zijn gebaseerd op de gemeten waterstandsvariaties van de betreffende vijf jaar en dus niet voor één getij of één doortij-springtij getijperiode. De droogvalduurkaarten geven een vijfjaargemiddelde situatie weer, waarin ook de variatie in de waterstand door meteorologische invloeden is opgenomen. In bepaalde perioden, bijvoorbeeld tijdens doortij, zal er aanzienlijk minder droogvaltijd zijn, dan wat de kaarten suggereren. Ook perioden met meer of minder stormopzet of invloeden van meerjarige waterstandfluctuaties leveren een droogvalduur op die tijdelijk aanzienlijk afwijkt van de vijfjaargemiddelde situatie.

3.4 Geomorfologische kaarten

De geomorfologische kaarten van de Westerschelde zijn vervaardigd op basis van de interpretatie van luchtfoto's (figuur 2.7). De interpretatie is alleen mogelijk voor de delen van de Westerschelde, die op het moment van de opname waren drooggevallen. De geomorfologische kaarten zijn daarom alleen beschikbaar voor de platen, slikken en schorren. Op de luchtfoto's zijn herkenbare patronen, structuren en toon- en kleurverschillen zichtbaar die zijn te herleiden tot specifieke (geo)morfologische elementen in het veld. Voor een beschrijving van de werkwijze wordt verwezen naar Habraken en Parée (2006). In deze studie is de uitgebreide standaardlegenda van de geomorfologische kaarten ten bate van het overzicht en de analyse op hoofdlijnen teruggebracht tot een beperkt aantal klassen. De standaardlegenda met de toelichting is opgenomen in bijlage 6.

3.5 Moeilijk erodeerbare lagen

De gegevens over de aanwezigheid van moeilijk erodeerbare lagen zijn afkomstig uit de NITG-TNO studie 'Kartering moeilijk erodeerbare lagen in het Schelde-estuarium' (Gruijters et al, 2004). De kartering van de moeilijk erodeerbare lagen is gebaseerd op de gegevens van boringen in en rond de Westerschelde en algemene kenmerken van de geologische formaties en laagpakketen (zie voor een uitleg van de begrippen De Mulder et al, 2003). De boorgegevens zijn geïnterpoleerd, waarmee de top en de dikte zijn vastgesteld en indirect ook de basis van het laagpakket of de formatie is gegeven. Na de interpolatie is een uitsnede gemaakt met de bodem (van 2001) van de Westerschelde. Immers, waar water is, is geen moeilijk erodeerbare laag (meer). Deze exercitie is daarna door Rijkswaterstaat uitgebreid met een groot aantal digitaal beschikbare bodems, waarmee voor alle geulen van 1800 tot 2004 de moeilijke erodeerbare lagen zijn verwijderd.

In tabel in bijlage 7 wordt een overzicht gegeven van de moeilijk erodeerbare lagen zoals die zijn gekarteerd. Per laag is het verschillend of een of meerdere 'harde' lagen aanwezig zijn en of deze 'harde' laag of lagen overal in de afzetting aanwezig zijn.

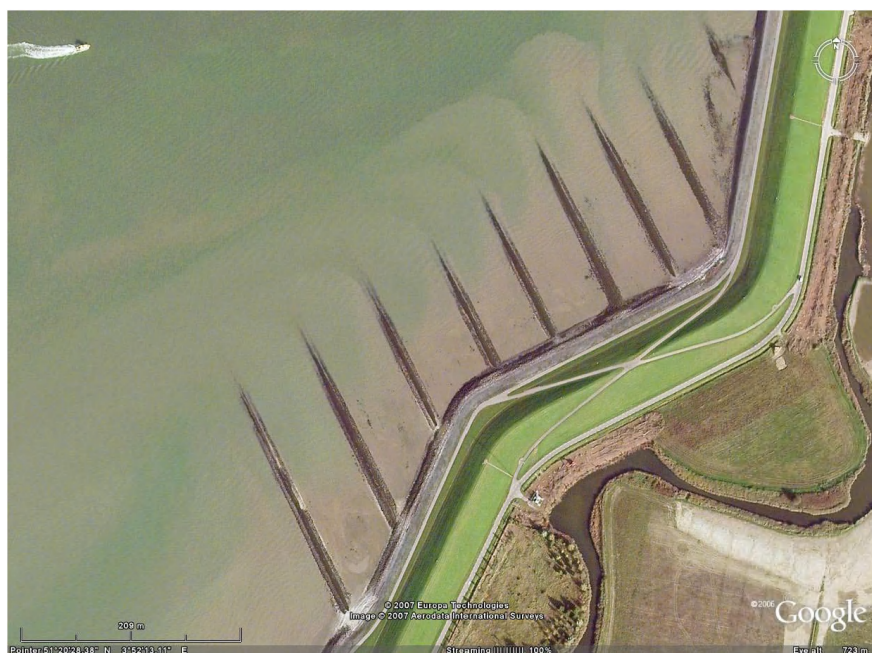
De nauwkeurigheid waarmee de aanwezigheid, de diepte en de dikte van de harde lagen is vastgesteld verschilt voor de verschillende lagen. In het algemeen is de nauwkeurigheid groter voor de bovenste (jongste) lagen, omdat het aantal boringen dat tot in de diepere lagen is doorgedrongen kleiner is dan het aantal ondiepe boringen.

3.6 Ingrepen

De informatie voor het zandwinnen, baggeren en storten is voor de periode 1990-2004 digitaal aangeleverd in de vorm van ruimtelijke contouren. De bagger- en stortvolumes per jaar (in m³ in beun van het baggerschip) van de periode 1955 tot 2005 voor de verschillende locaties zijn digitaal aangeleverd, evenals de zandwinvolumes voor dezelfde periode.

Informatie over de aanwezigheid van recent aangebrachte onderwaterbestortingen op geulwanden is afkomstig uit de MOVE-rapportage (Holzhauer et al, 2007). In het Achtergrondrapport Systeembeschrijving Schelde-estuarium (Kuijper et al, 2007) is een overzicht gepresenteerd van de constructies (bestortingen, havendammen, enzovoort) langs de oevers in de Westerschelde. Verdere informatie over in het verleden aangebrachte bestortingen op geulwanden is herleid uit de morfologische ontwikkelingen van de geulen. Stabilisatie (van de buitenbocht) van de geul in combinatie met het ontstaan van diepe ontgrondingskuilen wijst op het aanbrengen van bestortingen.

Informatie over aanwezigheid van bestortingen, dammen (figuur 3.1) en natuurlijke harde lagen (figuren 3.2 en 3.3) in het intergetijdengebied is bepaald aan de hand van luchtfoto's.



Figuur 3.1: Dwarsdammen langs de zuidoever van de Westerschelde ten oosten van Terneuzen langs het Gat van Ossensisse, ter hoogte van de drempel in de Everingen



Figuur 3.2: Sporen van moertering (het winnen van veen) langs de noordelijke bocht van het Nauw van Bath.



Figuur 3.3: Een klifrand in de veenlaag op de grens van het Land van Saeftinge en de Overloop van Valkenisse.

4 Methoden

4.1 Inleiding

Het doel van de studie is het beschrijven en analyseren van de ontwikkelingen van de morfologie van de Westerschelde in de afgelopen 50 jaar op meso- schaal. De beschrijving en de analyse zijn gericht op de ecologisch gezien meest interessante en waardevolle gebieden. Dit zijn de droogvallende gebieden (platen, slikken en schorren) en het ondiepe water. De droogvallende gebieden vormen belangrijke foerageer- en rustgebieden voor vogels (steltlopers, eenden en ganzen). Het ondiepe water fungeert als opgroeigebied voor vissen, als de lokaal optredende stroomsnelheden niet te hoog zijn.

Het beschikbare areaal is de kwantitatieve maat voor de droogvallende gebieden en het ondiepe water. De kwaliteit van deze droogvallende gebieden wordt onder andere bepaald door de foerageermogelijkheden voor vogels. Bepalende factoren voor het foerageren zijn de aanwezigheid van (voldoende) voedsel, de beschikbare tijd om te foerageren en de omstandigheden waaronder moet worden gefoerageerd (draagkracht van de bodem, verstoring, enzovoorts) (Van de Kam et al, 1999). Voor het ondiepe water zijn geen criteria beschikbaar die de kwaliteit bepalen.

Het areaal van het ondiepe water, de platen, de slikken en de schorren wordt bepaald aan de hand van de bodemligging. Verder wordt het areaal per droogvalpercentage van de droogvallende platen bepaald en wordt de ontwikkeling van het areaal in verschillende ecotopen klassen bepaald voor de platen, de slikken en de schorren. Het areaal van het ecotoop laagdynamische plaat midden (met droogvalpercentages van 30% tot 70%) wordt gebruikt als maatlat voor de ontwikkeling van de kwaliteit van de droogvallende gebieden.

De analyse van de ontwikkelingen die worden beschreven voor de droogvallende gebieden (platen, slikken en schorren) en het ondiepe water is gericht op het 'waarom' van de ontwikkelingen. De ontwikkelingen in termen van vierkante meters plaat en ondiepwater komen tot stand door de verplaatsing van kubieke meters sediment. In de analyse van de ontwikkeling staat de verplaatsing van sediment centraal. Daarom zijn ook de geulen van de Westerschelde in de analyse betrokken.

Voor de analyse zijn kaarten gemaakt met daarop de bodemligging en sedimentatie-erosiepatronen. Verder zijn verschillende dwarsdoorsneden vervaardigd en tevens zijn kuberingen uitgevoerd, dat wil zeggen, is de sedimentinhoud van gebieden in de loop van de tijd berekend. De geobserveerde veranderingen in de arealen van de droogvallende gebieden en de areaal van het ondiep water zijn gerelateerd aan de geobserveerde veranderingen in de bodemligging, de dwarsdoorsneden en de sedimentinhoud. Op basis van deze observaties is een conceptueel model geformuleerd dat de veranderingen verklaard.

4.2 Kaarten

De aangeleverde gegevens zijn gebruikt om kaarten te maken van de bodemligging en droogvalpercentages. Hiervoor zijn geen aanvullende berekeningen uitgevoerd. De aangeleverde geomorfologische kaarten zijn omgezet van polygonenkaarten naar grids van 20 x 20 meter. Deze grids zijn gebruikt voor het bepalen van de ecotopen.

De bodemliggingsgegevens zijn gebruikt om het hoogteverschil tussen verschillende jaren te berekenen, door de bodems van elkaar af te trekken. Op basis van deze verschillen zijn sedimentatie-erosiekaarten vervaardigd.

4.3 Ecotopenkaarten

De ecotopenkaarten zijn gemaakt door de grids van de geomorfologische kaarten en de van de droogvalpercentage kaarten per jaar te combineren. Voor de geomorfologische klassen Plaat en slik laagdynamisch en Plaat en slik hoogdynamisch is de hoogteindeling bepaald, zodat deze klassen nu onderverdeeld zijn in de hoogteklassen laag, midden en hoog (tabel 4.1).

Bij verschillende informatie uit de twee bronnen zijn de droogvalpercentages als leidend beschouwd. Dit is bijvoorbeeld gebruikt bij de gebieden waarvoor uit de droogvalpercentages blijkt dat een geul (sublitoraal) betreft, maar die op de geomorfologische kaart plaat of slik zijn. In de praktijk betekent dit dat de randen van de platen en slikken en enkele door plaat of slik omsloten geultjes in de geomorfologische kaart niet in de ecotopenkaarten zijn opgenomen. Voor de hogere delen van de slikken uit de geomorfologische kaarten is niet voor ieder jaar de hoogteklasse berekend, omdat de bodemliggingsgegevens en de droogvalpercentages van delen van de slikken ontbreken. In deze situatie wordt uitgegaan van de geomorfologische kaarten en hiervoor is de klasse laagdynamisch; geen droogvalpercentage toegevoegd. De klassen veenbanken, schor, primair schor en spartina-pollen en overige zijn direct overgenomen uit de geomorfologische kaarten.

Tabel 4.1: Ecotopen klassen in deze studie

Ecotopen klasse in deze studie	Droogvalpercentages (equivalent van hoogte)	Opgebouwd uit deze klassen uit de standaardlegenda Geomorfologie
Veenbanken		H1a; H1b
Plaat en slik laag dynamisch	1. Laag: 1-30 % droogvallen 2. Middel 30-70 % droogvallen 3. Hoog: 70-100 % droogvallen 4. Geen droogvalpercentage beschikbaar	P1; P1a1; P1a2; P1b; P1c; P1d; K1a1; K1a2; K3; S3
Plaat en slik hoog dynamisch Schor;		P2a; P2b1; P2b2; P2c; P2d1; P2d2; P2d3; P3; K2b1 S1a; S1b; S1c;
Primair schor en <i>Spartina</i> -pollen		S2a; S2b
Duinen, Hard substraat & Overige antropogeen		D1; D2; O1; O2; O3; O4; O5; H2

De gevolgde werkwijze levert een optimale dekking van de intergetijde- en supragetijdegebieden in de Westerschelde. Het betekent dat de arealen van de ecotopen op de plaatcomplexen overeenkomt met de arealen uit de droogvalpercentages.

4.4 Vakindeling voor het bepalen van arealen en volumes

Voor het bepalen van de arealen per hoogteklaas en de sedimentvolumes per gebied, is een vakindeling gemaakt (figuur 4.1). Deze indeling is gebaseerd op de sedimentatie en erosiekaart van 2004–1988 en de ligging van de bodem in deze periode. Op deze manier zijn de platen en slikken ingedeeld in vakken en dat geldt ook voor de belangrijkste erosie en sedimentatiegebieden in de geulen. De ontwikkeling van het sedimentvolume en de uitwisseling van sediment tussen de vakken kan zo inzichtelijk worden gemaakt. Het areaal per hoogteklaas (met stappen van 1 centimeter) is per vak opgeteld. Deze arealen per hoogteklaas zijn de basis voor het berekenen van het water- en sedimentvolume per vak.

Voor het bepalen van de arealen met bepaalde droogvalpercentages en de arealen met bepaalde ecotopen klassen, is een andere vakindeling gekozen dan de kubeervakken. Bij deze vakindeling zijn de plaat-, slik- en schorgebieden gedurende de hele periode 1959-2004 ruim omsloten (figuur 4.2b). Dit is mogelijk omdat de geulen (het gebied onder GLMWS) in deze kaarten geen informatie bevatten. Binnen deze vakken is het areaal per droogvalpercentage en per ecotopen klasse opgeteld.

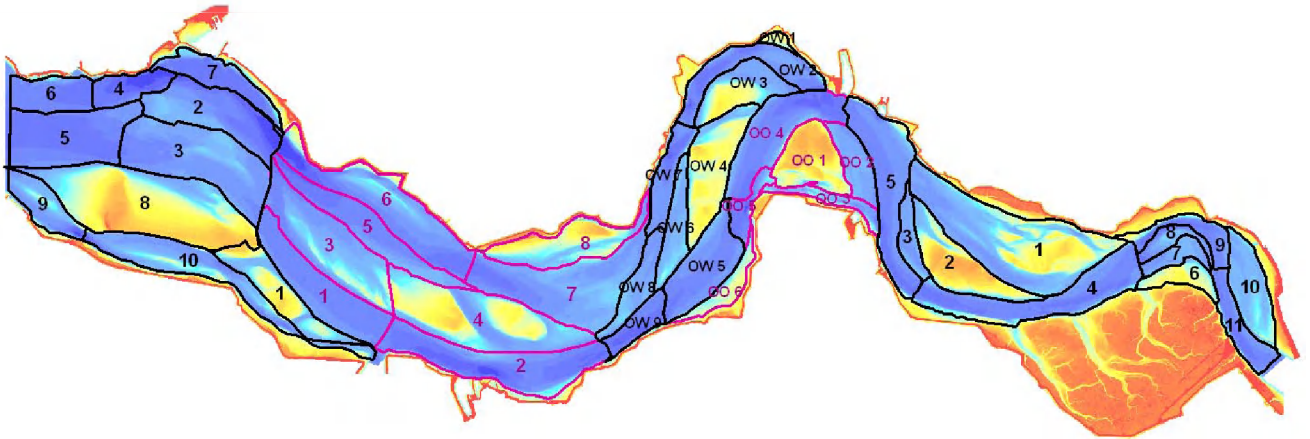
Voor de discussie over de definitie van ondiepwater zijn aanpaste kubeervakken gemaakt voor enkele vloedscharen en delen van de overgang van plaat naar geul. De locaties van deze vakken worden in het betreffende hoofdstuk getoond.

4.5 Dwarsdoorsneden

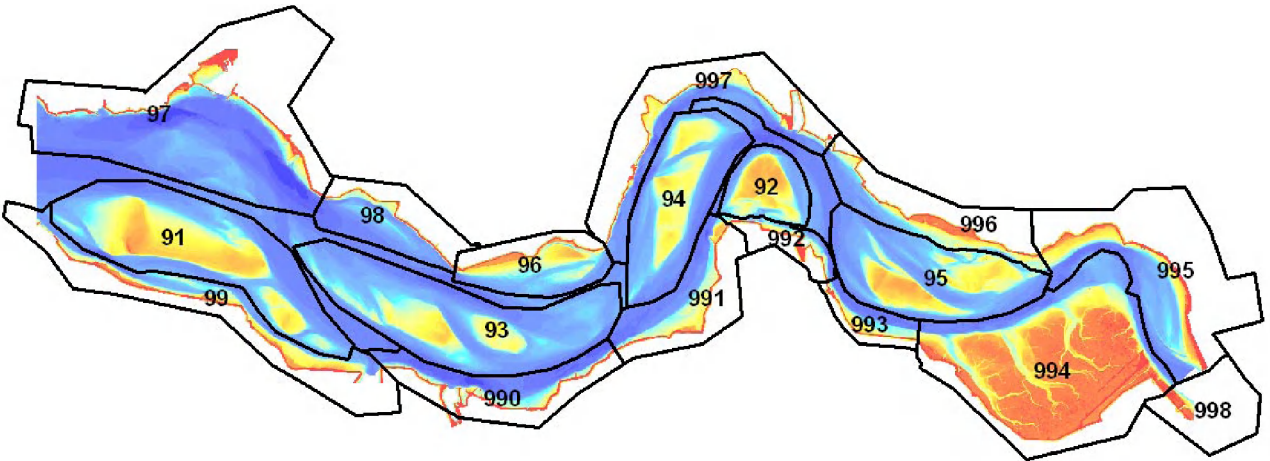
De kaarten van de bodemligging en de sedimentatie-erosiekaarten zijn de basis voor het vaststellen van drie sets van dwarsdoorsneden.

1. De eerste set is gericht op het achterhalen van de invloed van de aanwezigheid van moeilijk erodeerbare lagen in de ondergrond op de vorm en ontwikkeling van geulen en platen (figuur 4.3).
2. De tweede set is gericht op het vaststellen van het oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de geulen (figuur 4.4). Deze dwarsdoorsneden zijn loodrecht op de geulassen getrokken door de gehele Westerschelde. Voor elke dwarsdoorsnede is het doorstroomoppervlakte tussen de geulbodem en een referentievlak (NAP –2 meter) berekend.
3. De derde set is gericht op het in beeld brengen van de morfologische veranderingen (figuur 4.5). Bij het vaststellen van de locaties van deze dwarsdoorsneden is vooral gekeken naar de sedimentatie-erosiekaarten

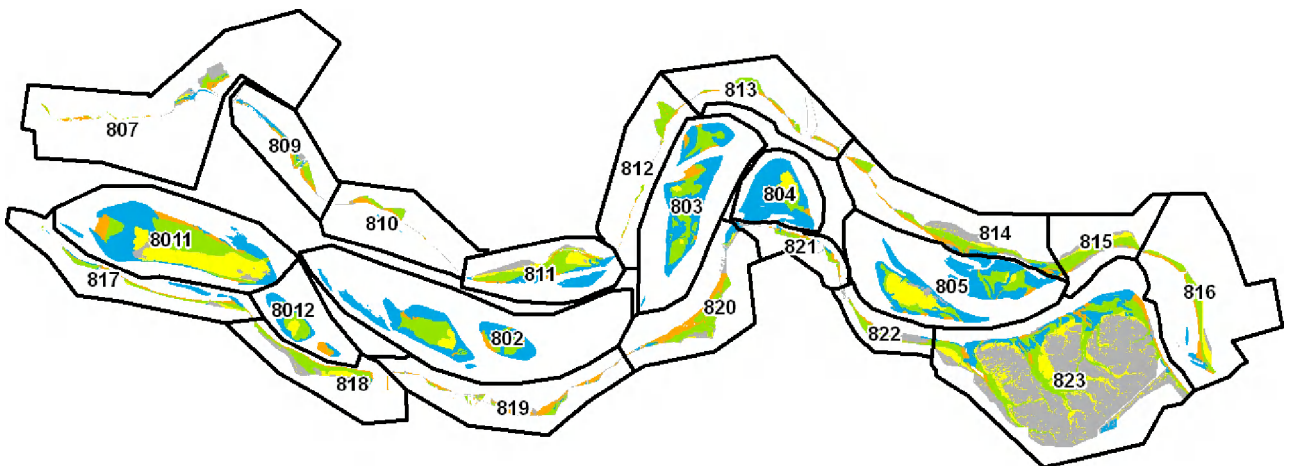
Voor elke dwarsdoorsnede is per punt (iedere 10 meter) de waarde van de bodemligging voor de verschillende jaren, de positie (boven of onder) ten opzichte van de GLMWS en GHMWD per jaar en lokale diepte en dikte van de verschillende harde lagen (indien aanwezig) bepaald. Op basis van deze gegevens zijn voor alle jaren de dwarsdoorsneden geconstrueerd.



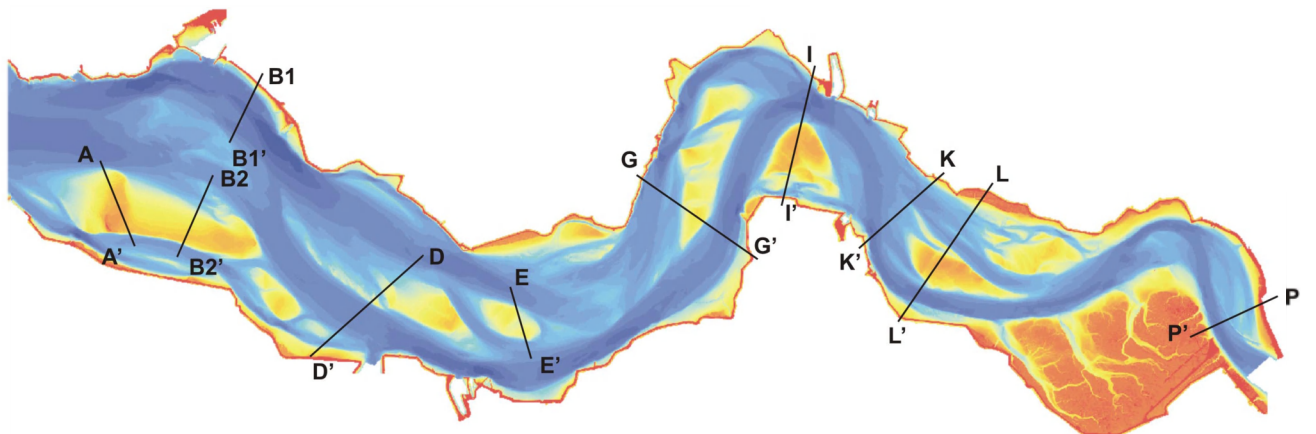
Figuur 4.1. Kubeervakken in de Westerschelde op de bodemligging 2004 – 1959. Van links naar rechts in zwart macrocel 1 en 2, in rood macrocel 3, in zwart het deel Ossenisse west van macrocel 4, in rood het deel Ossenisse oost van macrocel 4 en in zwart macrocel 5, 6 en 7.



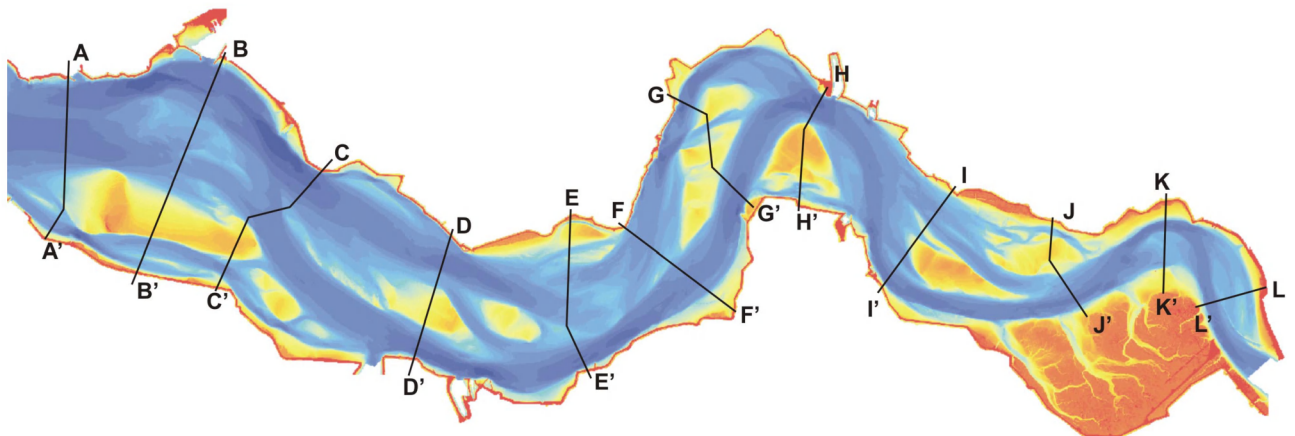
Figuur 4.2a: Vakken voor de analyse van de droogvalduur in de Westerschelde op de bodemligging van 2004.



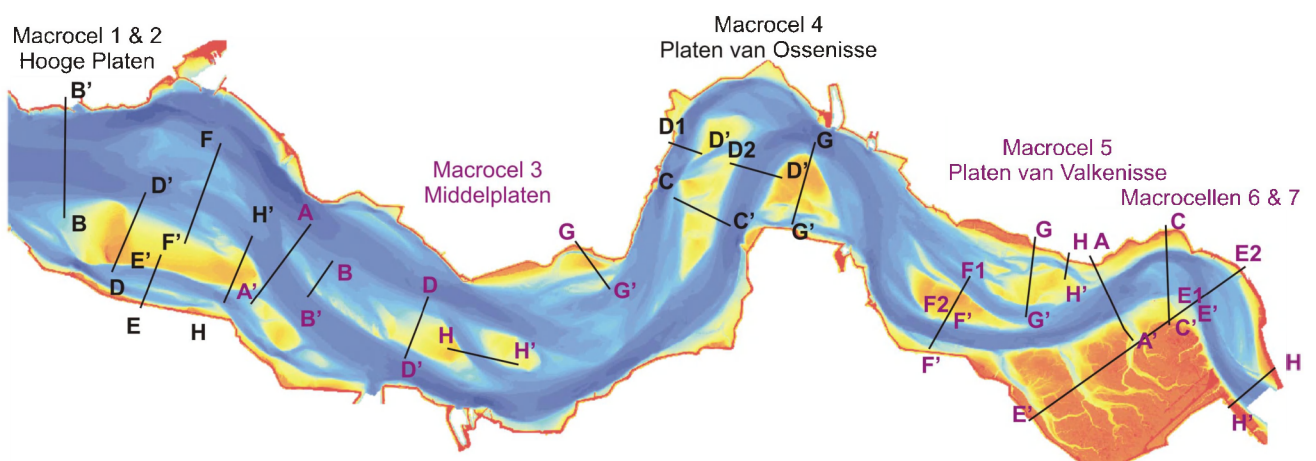
Figuur 4.2b: Vakken voor de analyse van de ecotopen in de Westerschelde op de ecotopenkaart van 2004.



Figuur 4.3 Locaties van de dwarsdoorsneden die zijn gebruikt in de bijlagen 1 tot en met 5, waarin aanwezigheid van de moeilijk erodeerbare lagen is achterhaald (op de bodemligging van 2004).



Figuur 4.4 Locaties van de dwarsdoorsneden die zijn gebruikt in de bijlagen 1 tot en met 5, voor het bepalen van de ontwikkeling van de oppervlakte van de dwarsdoorsneden (op de bodemligging van 2004).



Figuur 4.5 Locaties van de dwarsdoorsneden die zijn gebruikt in de bijlagen 1 tot en met 5, voor het bepalen van de ontwikkeling van de morfologie (op de bodemligging van 2004).

4.6 Analyse

De ontwikkelingen van de sedimentvolumes in de kubeervakken, van de arealen in de droogvalpercentages en in de ecotopen klassen, van de doorstroomoppervlakten en van de dwarsdoorsneden worden per macrocel weergegeven in de bijlagen 1 tot en met 5 (macrocellen 1 en 2 zijn gecombineerd in één bijlage, evenals macrocellen 6 en 7). In deze bijlagen worden de verschillende ontwikkelingen aan elkaar gerelateerd en aan de natuurlijke (lange termijn) ontwikkelingen en de menselijke ingrepen. Op deze wijze wordt een fenomenologische analyse uitgevoerd naar de ontwikkeling van de verschillende morfologische elementen en hun onderlinge samenhang.

De sedimentatie en erosie wordt geanalyseerd aan de hand van het aanwezige sediment per kubeervak en voor de gehele macrocel ten opzichte van 1959. De ontwikkeling van het sedimentvolume boven NAP 0 m wordt beschouwd als maatgevend voor de ontwikkeling van de hoge delen van de platen (ruwweg boven de 50% droogvallen).

De ontwikkeling van het areaal ten opzichte van 1959 wordt per macrocel geanalyseerd voor de geulen (alles dieper dan NAP -5 m), het ondiepwater (tussen NAP -5 m en NAP -2 m) en het plaat en slijk (hoger dan NAP -2 m). In deze ontwikkeling van het plaat en slijk zijn de afnamen door inpolderingen en dergelijke langs de randen van de Westerschelde *niet* opgenomen, omdat de bodemliggingsgegevens geen doorlopende volledige bedekking hebben van deze gebieden.

De ontwikkeling van de droogvalpercentages is alleen voor de plaatcomplexen geanalyseerd aan de hand van de ontwikkeling van de arealen 30%, 70% en 100% droogvallen en de procentuele verdeling over klassen van 10%. Het weergegeven van de droogvalpercentages voor de slikken is niet zinvol gebleken, wegens het ontbreken van gegevens.

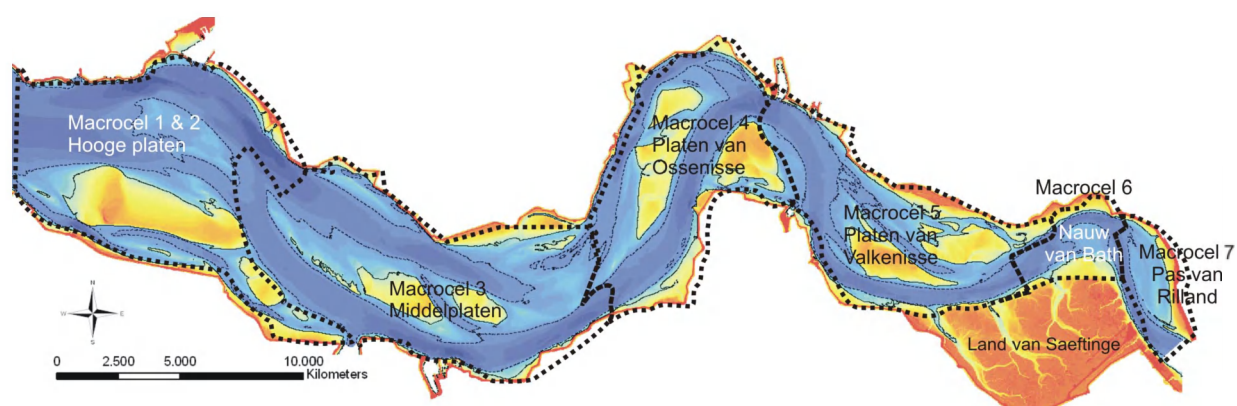
De arealen voor de ecotopenklassen uit tabel 4.1 zijn weergegeven per kubeervak. De arealen betreffen zowel de plaatcomplexen als de slikken en schorren. Omdat de bedekking van de inter- en supragetijdegebieden voor de geomorfologische kaarten compleet is, zijn de arealen van de slikken en schorren betrouwbaar.

De doorstroomoppervlakten worden per dwarsdoorsneden in totaal en voor de hoofd en nevengeul(en) gepresenteerd. De weergave (detail, aantal jaren) van dwarsdoorsneden en kaarten met dieptelijnen is afhankelijk van de ontwikkelingen die worden beschreven.

5 Samenvatting van de morfologische ontwikkelingen

5.1 Inleiding

De ontwikkelingen van de Westerschelde op meso-schaal zijn per macrocel (figuur 5.1) gepresenteerd in de bijlagen 1 tot en met 5 (macrocellen 1 en 2 zijn gecombineerd in één bijlage, evenals macrocellen 6 en 7), aan de hand van de droogvalpercentages, de arealen in de ecotopen klassen en de onderliggende veranderingen. Van de uitgebreide beschrijving per macrocel worden de belangrijkste bevindingen in dit hoofdstuk gepresenteerd. In aanvulling op de beschrijving per cel worden de ontwikkelingen in de verschillende cellen vergeleken.



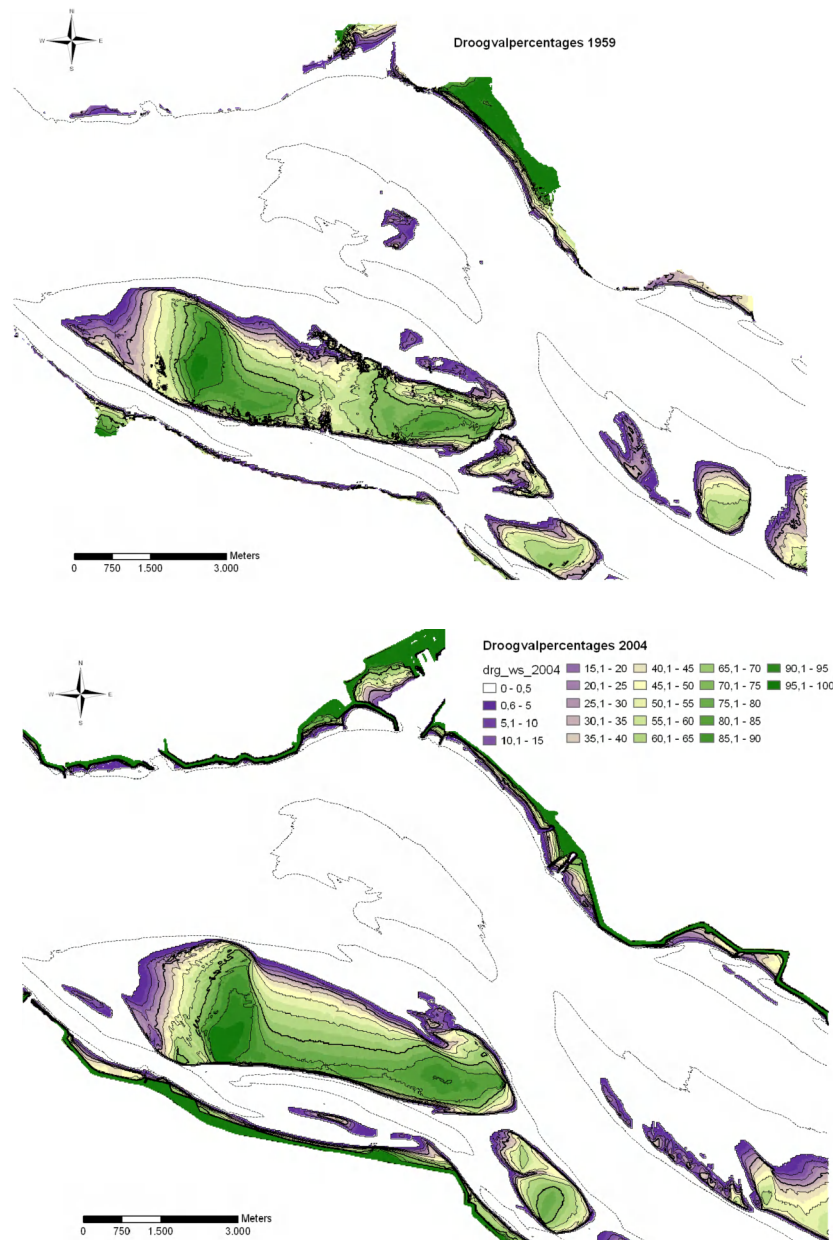
Figuur 5.1. De macrocellen en plaatcomplexen in de Westerschelde (op de bodemligging van 2004, macrocellen naar Kuijpers, 2007).

De ontwikkelingen worden in dit hoofdstuk beschreven voor de morfologische elementen platen, slikken en schorren, ondiepwater en geulen. Vanwege het grote ecologische belang van de platen, slikken en schorren staat de beschrijving van deze gebieden voorop. De gegevens van de bodemligging- en de droogvalpercentages maken een meer uitgebreide beschrijving van de ontwikkelingen van de plaatcomplexen mogelijk. Vandaar dat bij de plaatcomplexen ook wordt stilgestaan bij de ontwikkelingen van de lengte van de waterlijn.

5.2 De plaatcomplexen

5.2.1 De Hooge Platen (macrocel 1 en 2)

De Hooge platen is het meest westelijke plaatcomplex in de Westerschelde, ter hoogte van Vlissingen. Het complex van de Hooge platen omvat de Hooge plaat (of Hoofdplaat), die tegenwoordig ook de Hooge Springer omvat, de Lage Springer en een naamloze plaat (figuur B1.1). Dat de Hooge plaat (figuur 5.2) inderdaad een hoge plaat is, valt af te leiden uit de het feit dat een belangrijk deel van de plaat in droogvalklassen van meer dan 70 procent valt. Het totale oppervlakte van de Hooge plaat is stabiel. Het aandeel in de klassen 30 procent tot 70 procent droogvallen is tussen 1959 en 2004 van 50 procent tot 40 procent afgenomen, dit is een afname van ongeveer 100 ha. Deze afname is ten goede gekomen aan de droogvalpercentages boven de 70 procent. De toename van de hoogte valt samen met een toename van het sedimentvolume van het platencomplex.



Figuur 5.2 Kaarten met de droogvalpercentages van de Hooge platen in macrocellen 1 en 2 in 1959 (boven) en 2004 (onder). In beide kaarten is ter oriëntatie de NAP –10 meter contour van 2004 weergegeven.

De Hooge platen bestaan voornamelijk uit hoog- en laagdynamische plaat, met een beperkt areaal schorren. Het aandeel van het areaal hoogdynamische plaat is sinds 1959 enigszins toegenomen. In de periode 1959 tot 2004 is het aantal plaatdelen (gerekend vanaf de 30% droogvallen waterlijn) van het complex afgenomen van 16 (in 1959) tot minimaal 6 (in 1996). Het reliëf, dat wil zeggen de lokale verdiepingen en verhogingen, op de Hooge platen is afgenomen. Het areaal ondiepwater in macrocel 1 en 2 is afgenomen met bijna 200 ha, met name rondom het Hooge platencomplex.

5.2.2 De Middelplaat en de Plaat van Baarland (macrocel 3)

Het Middelpatencomplex ligt ongeveer ter hoogte van Terneuzen. Aan de zuidzijde wordt het plaatcomplex begrensd door de Pas van Terneuzen. Aan de noordzijde wordt het begrensd door de Everingen en in het verlengde daarvan door het Straatje van Willem (figuur B2.1). De belangrijkste verandering van de Middelplaat (figuur 5.3) is de afname van het totale oppervlakte van het plaatcomplex (gemeten boven GLMWS).

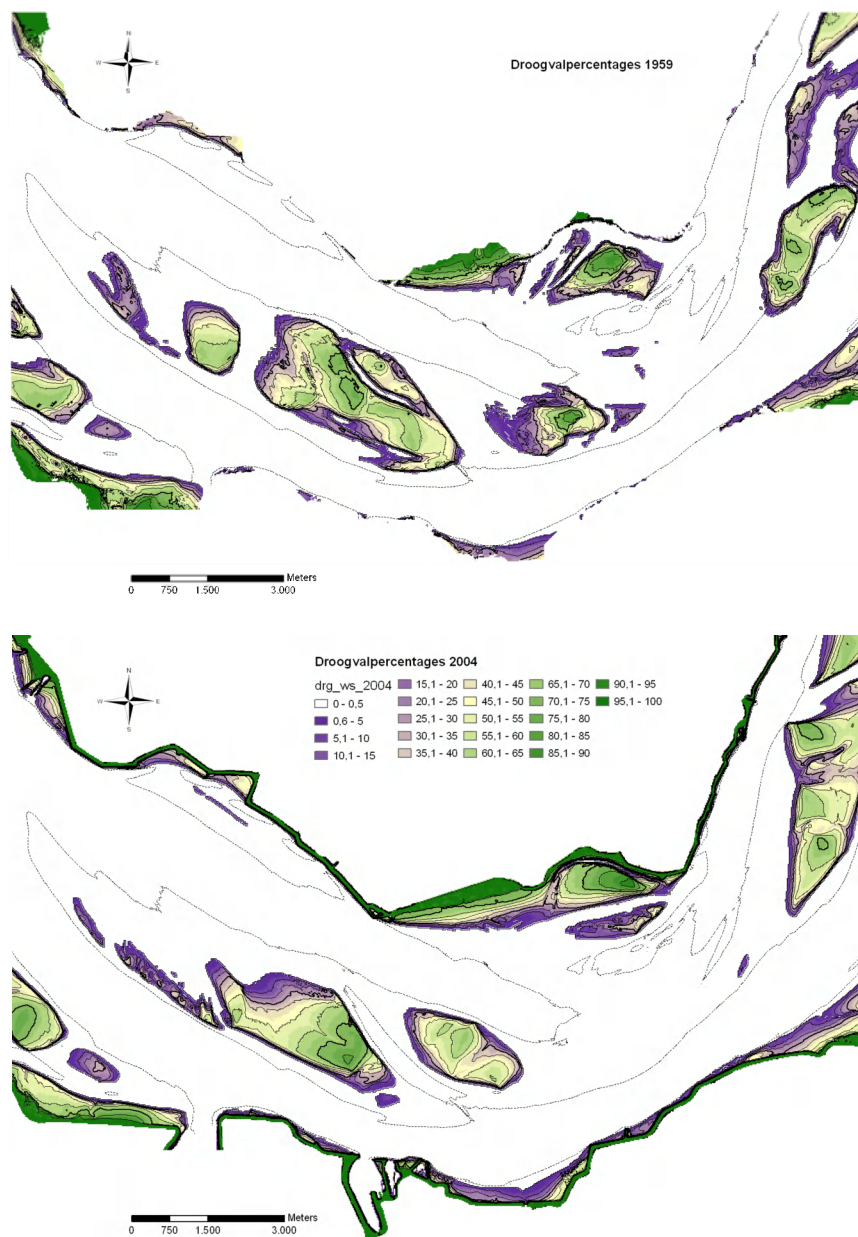
Het areaal van de Middelplaat is sinds het einde van de jaren zestig met maximaal 200 ha afgenomen. Deze afname bedraagt 27 procent van het totale areaal van ruim 1100 ha in 1969. In combinatie met de afname van het plaatareaal is het relatieve aandeel van het lage plaatareaal (van 1% tot 30 % droogvallen) toegenomen ten koste van het plaatareaal midden (30% - 70% droogvallen). De Middelpatencomplex is het enige plaatcomplex waarvan de lage delen recentelijk in omvang zijn toegenomen. Het areaal met de ecologisch belangrijke droogvalduur van 30% tot 70% droogvallen is ongeveer 200 ha kleiner geworden sinds 1959. In tegenstelling tot bij de andere plaatcomplexen is het sedimentvolume van de Middelpatencomplex afgenomen. Sinds 1992 neemt het sedimentvolume in het kubeervak met de van de oostelijke helft van de platen weer toe, maar dit komt niet ten goede aan de plaat zelf.

De afname van het areaal plaat gaat vooral ten koste van het areaal laagdynamische plaat, zodat de hoogdynamische plaat relatief een steeds groter deel van de Middelplaat beslaat.

Het areaal ondiepwater in macrocel 3 is relatief stabiel sinds eind jaren tachtig. Het aantal platen waaruit het complex bestaat schommelt rond de zes.

De Plaat van Baarland is sinds 1988 in oppervlakte toegenomen, nadat in de voorgaande periode de plaat een netto afname heeft vertoond. De meest recente toename (van 2001 naar 2004) heeft voornamelijk plaatsgevonden op de nieuwe zuidelijke plaat van Baarland. De Plaat van Baarland is voor een belangrijk deel hoogdynamisch gebied. De zuidelijke Plaat van Baarland in 2004 is in zijn geheel hoogdynamische. Op de plaat en de slikken van Baarland is het laagdynamische areaal veranderd in hoogdynamische areaal.

De afname van de grootte van de Geul van Baarland heeft geresulteerd in een afname van het areaal ondiepwater. De geul is aan beide uiteinden dusdanig ondiep geworden dat de Plaat van Baarland is verheeld met de slikken. Bij Baarland is aantal platen dat wordt omsloten door geulen afgenomen van vier in 1959 tot nul in 1992.



Figuur 5.3 Kaarten met de droogvalpercentages van de Middelplaten in macrocel 3 in 1959 (boven) en 2004 (onder). In beide kaarten is ter oriëntatie de NAP –10 meter contour van 2004 weergegeven.

5.2.3 De Platen van Ossensisse (west en oost; macrocel 4)

De Platen van Ossensisse (figuur B3.1) worden sinds de jaren vijftig doorsneden door de in omvang sterk toegenomen getijgeul Overloop van Hansweert. Sinds die tijd is sprake van een plaatcomplex "west" en een plaatcomplex "oost". Het westelijke complex van de Platen van Ossensisse ligt ter hoogte van Hoedekenskerke. In de huidige situatie bestaat het complex uit twee platen die worden gescheiden door de Geul van Molenplaat. Het noordelijke deel van het plaatcomplex bestaat uit de Brouwerplaat en de Molenplaat. Een deel van de zuidelijke plaat staat bekend als de Rug van Baarland. Aan de westzijde ligt tussen het plaatcomplex en de kust de getijgeul Middelgat. Aan de oostzijde begrenst de Overloop van Hansweert het plaatcomplex. Deze geul gaat naar het zuiden toe over in het Gat van Ossensisse. Het oostelijke complex van de Platen van Ossensisse ligt ten oosten van de Overloop van Hansweert ter hoogte van Perkpolder. Ten zuiden van de plaat loopt de Schaar van Ossensisse, die de plaat van de kust scheidt. Tegenwoordig is sprake van één aaneengesloten plaatcomplex.

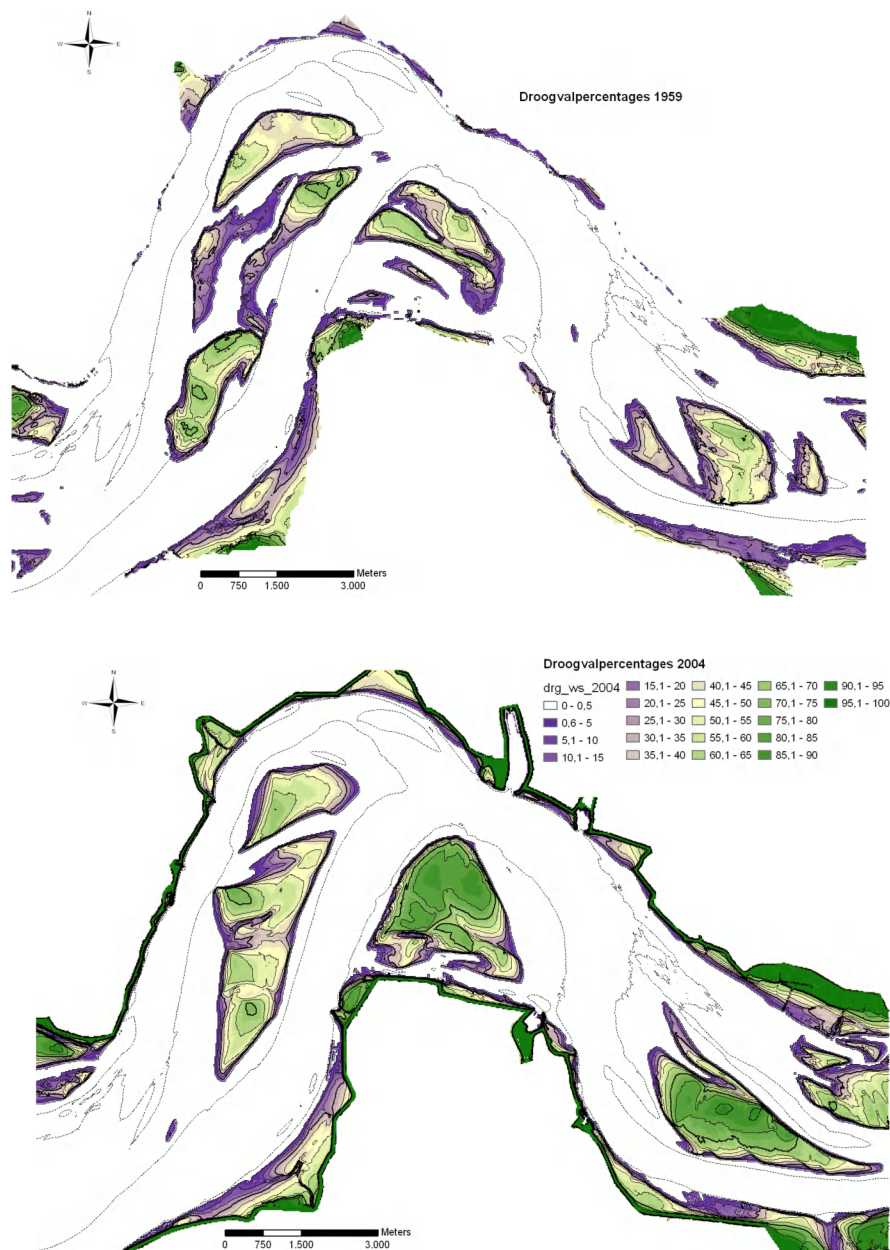
Het totale oppervlakte intergetijdengebied van de westelijke delen van de Platen van Ossensisse (figuur 5.4) is ten opzichte van 1959 vrijwel niet gewijzigd. Het aandeel in de droogvalklassen van 30% tot 70% is relatief gezien met ongeveer 10 procent toegenomen sinds 1959, hetgeen neerkomt op een toename met 100 hectare. Het sedimentvolume van platen als geheel (boven NAP -2 m) is toegenomen met bijna $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, waarbij het volume van de delen van de plaat boven NAP 0m beperkt is toegenomen, met ruim $0,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. De toename van het areaal van de westelijke Platen van Ossensisse van 1959 tot 1977 heeft geresulteerd in een toename van het laagdynamische areaal. Na 1977 is het areaal laagdynamische plaat sneller afgenomen dan het areaal hoogdynamische plaat, zodat tegenwoordig de verhouding areaal hoogdynamische en laagdynamische plaat acht staat tot drie bedraagt.

Vanaf 1959 tot 2004 is het areaal ondiepwater bij de westelijke Platen van Ossensisse afgenomen met ruim 100 ha, doordat het aantal en de grootte van de kortsluitgeulen is afgenomen.

Het totale plaatoppervlak van de oostelijke delen van de Platen van Ossensisse is sinds 1982 toegenomen. Hierbij is met name het areaal van de hoogste delen van de plaat toegenomen. Maar ook het oppervlak in de droogvalklasse 30% tot 70% is in absolute zin toegenomen, met 60 ha. Het sedimentvolume van de oostelijke Platen van Ossensisse is toegenomen met ruim $15 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, waarvan ruim $4,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ boven NAP 0 m terecht is gekomen.

Tot 1996 heeft de toename van het areaal van de oostelijke Platen van Ossensisse geresulteerd in een toename van het laagdynamische areaal. Nadien is het areaal hoogdynamische plaat toegenomen en het areaal laagdynamische plaat afgenomen. In 2004 maakt het laagdynamische areaal minder dan 20 procent uit van het totale plaatareaal.

Vanaf 1959 tot 2004 is het areaal ondiepwater bij de oostelijke Platen van Ossensisse afgenomen met ruim 300 ha, doordat het aantal en de grootte van de kortsluitgeulen is afgenomen. In macrocel 4 zijn het plaatareaal en het geulareaal toegenomen. De relatieve bijdrage van het ondiepwaterareaal aan het gebied is bijna gehalveerd. Het aantal platen in het platencomplex van Ossensisse is afgenomen van 17 in 1959 tot 4 in 2004.



Figuur 5.4. Kaarten met de droogvalpercentages van de Platen van Ossensisse in macrocel 4 in 1959 (boven) en 2004 (onder). In beide kaarten is ter oriëntatie de NAP –10 meter contour van 2004 weergegeven.

5.2.4 De Platen van Valkenisse (macrocel 5)

De Platen van Valkenisse zijn genoemd naar het in 1862 verdrongen dorp Valkenisse. De Platen van Valkenisse worden aan de west- en zuidzijde begrensd door de hoofdgeul van de Westerschelde (figuur B4.1). Tussen de oever en het oostelijk deel van het plaatcomplex loopt de geul Zimmerman. Vanuit de Put van Hansweert steken de vloedscharen Schaar van Valkenisse en de Schaar van Waarde naar het oosten het platencomplex in.

Op de Platen van Valkenisse (figuur 5.5) valt in de meest recente opname van 2004, ongeveer 60 procent van het plaatoppervlak in de klasse 30% - 70% droogvallen. Het aandeel van deze droogvalklasse is sinds halverwege de jaren tachtig toegenomen met ongeveer 40 hectare. Wel heeft

sinds halverwege de jaren tachtig een kleine afname plaatsgevonden van het totale oppervlakte van het plaatcomplex. Het sedimentvolume van de platen is toegenomen tot eind jaren tachtig en daarna gestabiliseerd (Plaat van Valkenisse) of afgenomen (Plaat van Walsoorden). De toename van het sedimentvolume heeft voor de westelijke plaat (Plaat van Walsoorden) tot op de delen boven NAP 0 m plaatsgevonden. Bij de noordelijke plaat is het sedimentvolume van de delen boven NAP 0 m relatief stabiel na een afname tot 1965.

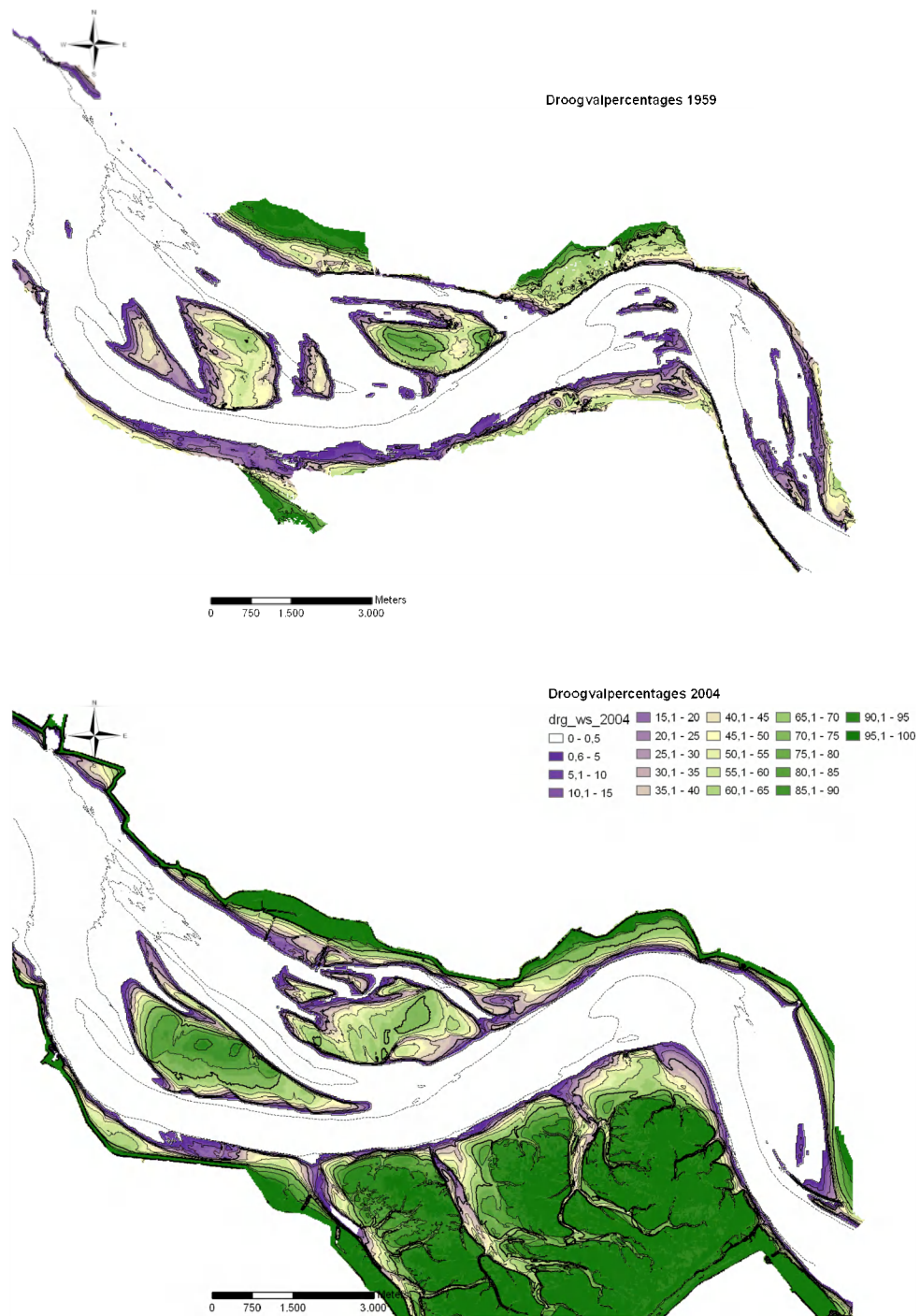
De oppervlakte van het plaatcomplex is tot 1977 toegenomen, waarbij ook het areaal hoogdynamische plaat is uitgebreid. Na 1977 is dit areaal weer enigszins afgenomen. Verder heeft op de plaat vegetatieontwikkeling plaatsgevonden, zodat een klein deel van het plaatcomplex nu primair schor en *spartina*-pollen omvat.

Het areaal ondiepwater is netto afgenomen in de periode van 1959 tot 2004. Macrocel 5 is de enige macrocel waar het areaal geul is afgenomen ten koste van het areaal plaat. Het aantal platen in macrocel 5 is na een toename van 10 tot 20 in de periode 1959 tot 1965 afgenomen tot een minimum van 7 in 2000.

5.2.5 Het Nauw van Bath, de Pas van Rilland en het Verdronken land van Saeftinge (macrocellen 6 en 7)

Het Land van Saeftinge is het grootste aaneengesloten schorreengebied van de Westerschelde (figuur B5.1). Het Land of Verdronken land van Saeftinge is een beeldbepalend element in dit deel van de Westerschelde. De bochtgroepen van het Nauw van Bath en de Pas van Rilland zijn de kleinste macrocellen van de Westerschelde. De macrocel 6 ligt ten noorden van het Land van Saeftinge en macrocel 7 grenst aan de Zeeschelde tegen de Vlaams-Nederlandse grens. In het uiterste oosten van de Westerschelde ligt de stroomgeleidingsdam langs de Pas van Rilland.

Tegenwoordig bevatten macrocel 6 en 7 geen platen meer. In het verleden hebben bij de Schaar van Noord en de Appelzak kleine platen gelegen. Het areaal platen en slikken is in de periode van 1959 tot 1977 afgenomen met meer dan 100m ha en is daarna toegenomen in de periode tot 1988. Het areaal ondiepwater is afgenomen met bijna 300 ha en het areaal geulen is toegenomen met bijna 400 ha .



Figuur 5.5. Kaarten met de droogvalpercentages van de Platen van Valkenisse in macrocel 6 in 1959 (boven) en 2004 (onder). In beide kaarten is ter oriëntatie de NAP –10 meter contour van 2004 weergegeven.

5.2.6 Vergelijking van de plaatcomplexen

De ontwikkelingen van de morfologie zijn verschillend voor ieder plaatcomplex. De grootste gemene deler in de ontwikkelingen is dat alle plaatcomplexen in de Westerschelde, met uitzondering van het Middelpaatcomplex, in de periode 1959 tot 2004 hoger en droger zijn geworden.

In de gehele Westerschelde is sprake van een absolute en een relatieve afname van het areaal met droogvalpercentages van 30% tot 70%. De delen van de platen met droogvalpercentages groter dan 70% nemen in belang toe ten opzichte van de lager liggende delen (onder de 70% droogvallen).

Het sedimentvolume van het merendeel van de platen, tussen NAP -2 m en de top van de plaat, is toegenomen (figuur 5.7) tot 1992 en daarna relatief stabiel gebleven. Het sedimentvolume van de complexen van de Hooge platen, de oostelijke Platen van Ossensisse en de Platen van Valkenisse is toegenomen. Het sedimentvolume van de westelijke Platen van Ossensisse is vrijwel gelijk gebleven en het sedimentvolume van Middelpaat is sterk afgenomen na 1977, na een eerdere toename. De afname van het sedimentvolume van de Middelpaten is zo groot dat deze de ontwikkeling van het sedimentvolume van de gezamenlijke platen in de Westerschelde domineert. Het sedimentvolume van de hogere delen van de platen, tussen NAP 0 m en de top van de plaat (ruwweg boven de 50% droogvallen), neemt voor de Hooge platen en de platen van Ossensisse nog steeds toe.

Ook in de ontwikkeling van het droogvallende plaatareaal is geen identieke trend te ontdekken voor de verschillende plaatcomplexen in de Westerschelde. Zoals is geconstateerd in het rapport *Plaatmorfologie Westerschelde* (Alkyon, 2006) schommelt het areaal van de droogvallende platen in de Westerschelde tussen de $50 \times 10^6 \text{ m}^2$ en $54 \times 10^6 \text{ m}^2$. Weliswaar blijft het totale oppervlak grotendeels hetzelfde, de individuele plaatcomplexen vertonen wel toe- en afnemende of gelijkblijvende trends. De meest in het oogspringende verandering is de afname van het areaal van de Middelpaat.

5.3 De ontwikkeling van de waterlijn van de plaatcomplexen

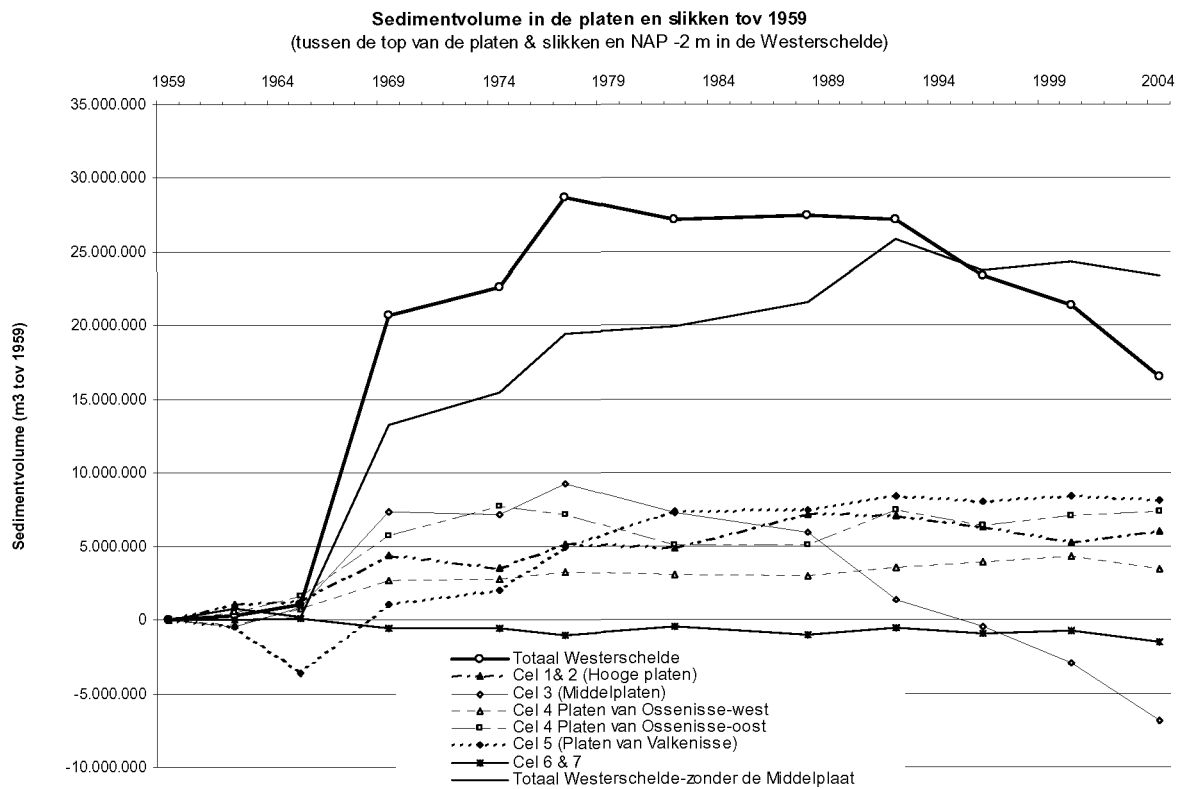
De ontwikkeling van de morfologie verschilt weliswaar per plaatcomplex, maar alle plaatcomplexen op het Middelpaatcomplex na, zijn hoger en droger geworden. De vergelijking van de kaarten met de contouren van de droogvalklassen laat ook zien dat de plaatcomplexen steeds minder platen omvatten en dat de waterlijn minder grillig wordt. Deze ontwikkeling treedt in de gehele Westerschelde op, alweer met uitzondering van het Middelpaatcomplex.

In figuur 5.9 is het platencomplex van Ossensisse weergegeven in 1959 en in 2004. De kaart van 1959 laat zien dat het platencomplex uit tenminste acht grotere en kleinere platen bestaat. Op de kaart van 2004 zijn drie grote platen zichtbaar en één kleine plaat. Verder valt op dat de buitencontouren van de platen en de contouren van de droogvalpercentages in de kaart van 1959 veel grilliger verlopen dan in de kaart van 2004.

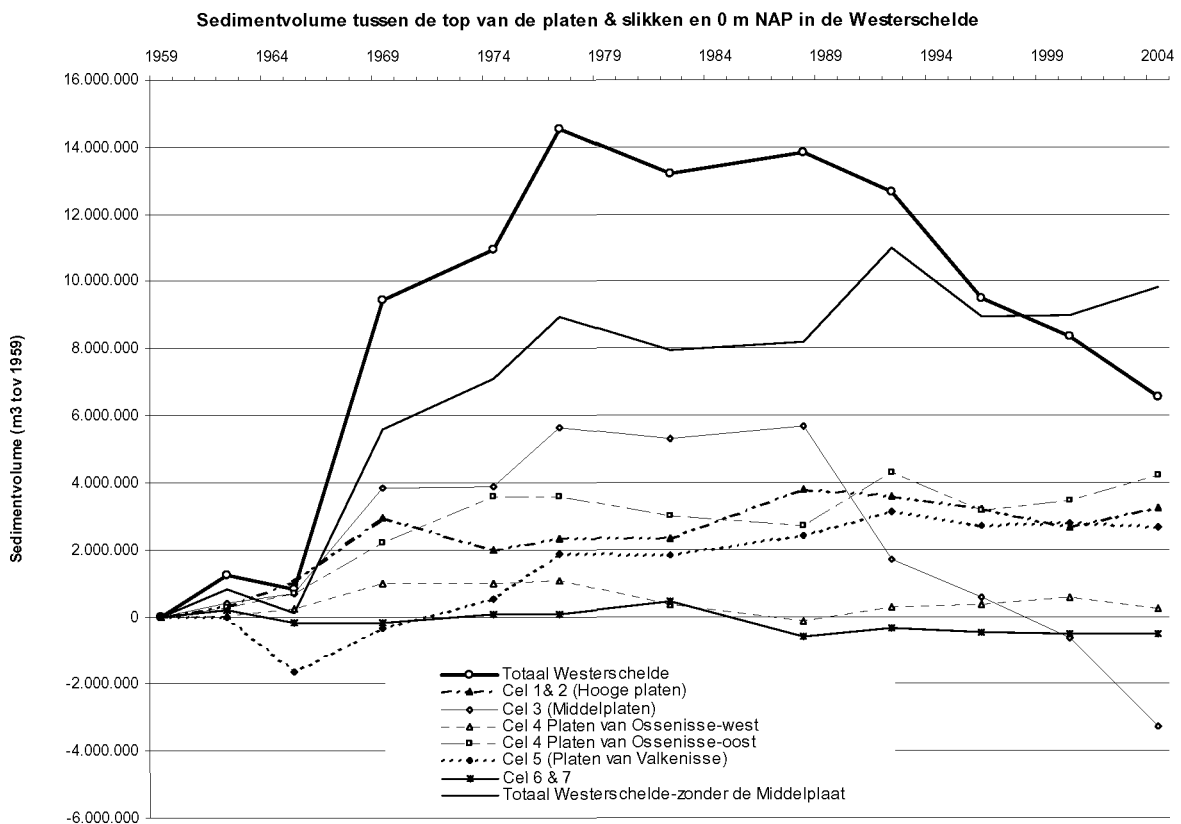
In de periode 1959 tot 2004 is het aantal platen van dit plaatcomplex afgenomen en hebben de platen een minder grillige vorm gekregen. Dit is het gevolg van het afnemen van het reliëf² ('de hobbels en bobbels') dat wordt gevormd door het plaatcomplex met het aangrenzende ondiepe water.

Dit kan als volgt worden voorgesteld: het plaatcomplex met de kortsluitgeulen die erdoor snijden en de vloed- en ebscharen die er insteken vormt een reliëf van hobbels (de platen) en putten (de geulen). Bij het aansnijden van het reliëf door een vlak, zoals een waterstand, ontstaan meerdere (water)lijnen. Naarmate het reliëf dat wordt aangesneden minder hobbels en putten omvat, neemt de lengte van de (water)lijn af bij het aansnijden. Het reliëf van het plaatcomplex met het aangrenzende ondiepewater en de lengte van de waterlijn zijn gekoppeld.

² We beschouwen hier onder reliëf niet de megaribbels op de platen, maar de platen zelf.

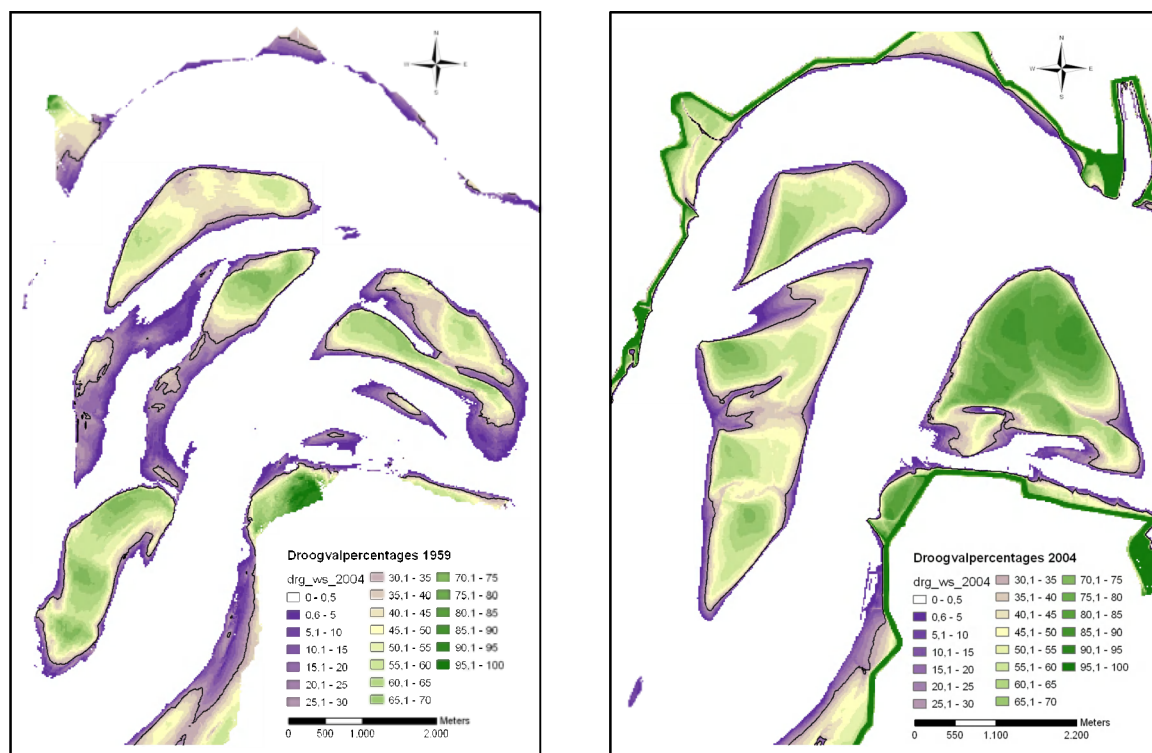


Figuur 5.7. Ontwikkeling van het sedimentvolume van de platen en slikken (van de bovenzijde tot NAP -2 meter) in de gehele Westerschelde.



Figuur 5.8. Ontwikkeling van het sedimentvolume van de hogere delen van de platen en slikken (van de bovenzijde tot NAP -0 meter).

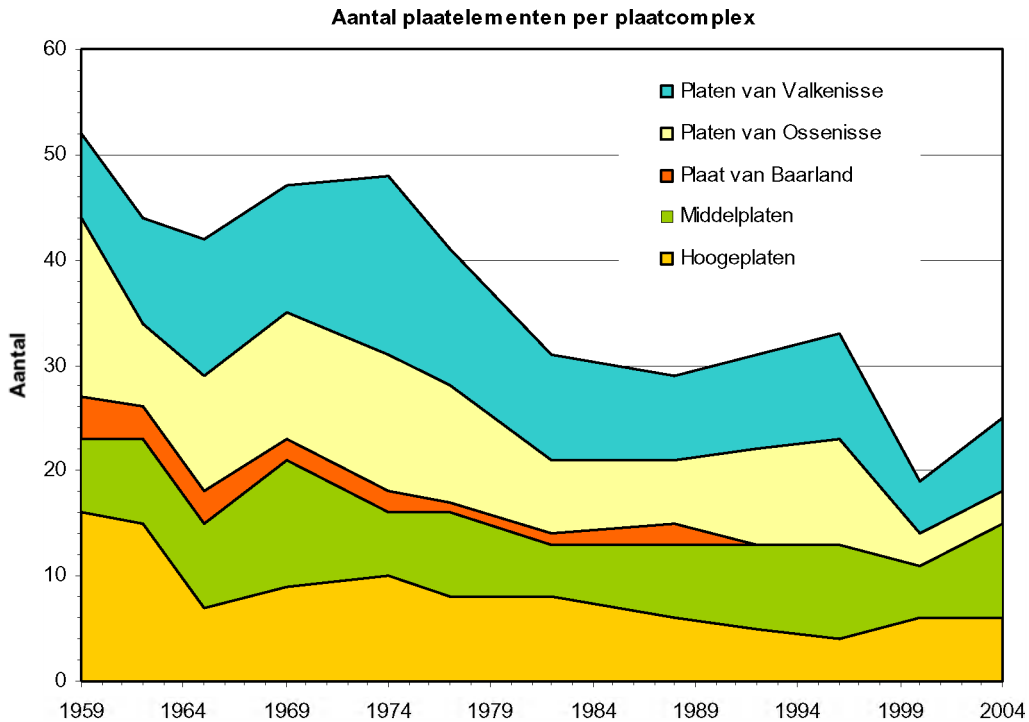
De afname van het plaatreliëf beperkt zich niet tot het platencomplex van Ossensisse. De afname vindt plaats bij alle plaatcomplexen van de Westerschelde, met uitzondering van het Middelplatencomplex. In figuur 5.10 is de ontwikkeling van het aantal platen per platencomplex in de Westerschelde weergegeven³. In deze figuur is zichtbaar dat het aantal platen in de Westerschelde meer dan gehalveerd is van 1959 tot 2004.



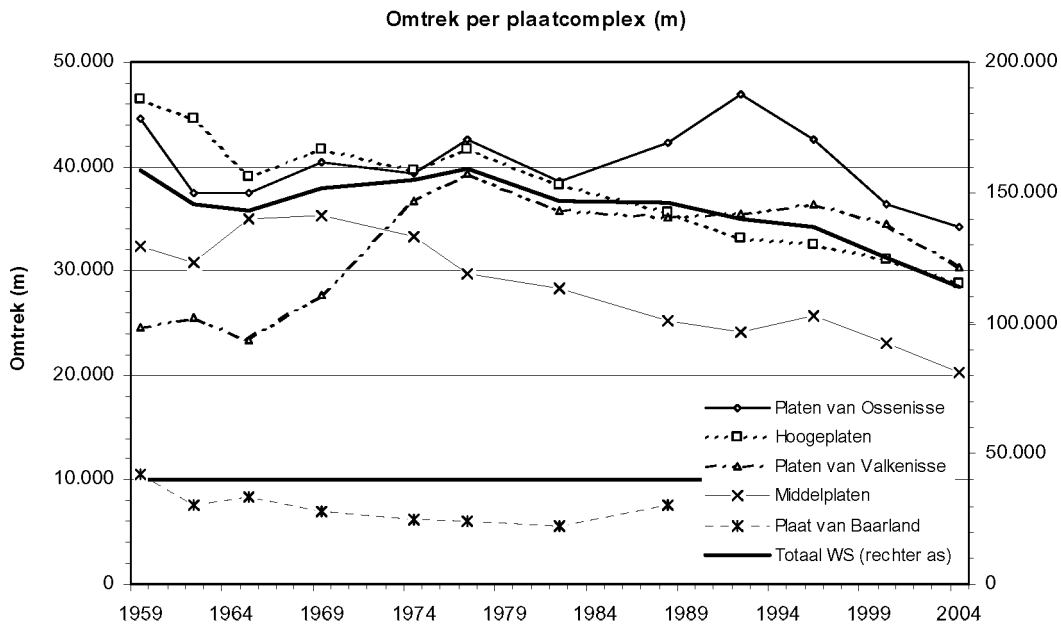
Figuur 5.9. De kaarten met droogvalpercentages van het platen complex van Ossensisse in 1959 (links) en in 2004 (rechts). De contour van het 30 procent droogvallen die is gebruikt voor de analyses van het plaatreliëf is aangegeven.

De omtrek van de platen is de optelsom van de grilligheid van de platen en het aantal platen. Hoe meer platen, des te groter de omtrek en hoe grilliger de platen, des te groter de omtrek. In figuur 5.11 is de ontwikkeling van de omtrek per plaatcomplex weergegeven. Zichtbaar is dat de omtrek van alle plaatcomplexen sinds 1992 is afgenomen. In de periode daarvoor is bij sommige plaatcomplexen sprake van een toename en bij ander sprake van een afname van de omtrek. Voor de optelsom van alle plaatcomplexen van de Westerschelde geldt dat de omtrek van de platen is afgenomen.

³ De kleinste platen, met een omtrek van minder dan 200 meter zijn in de beschouwing niet meegenomen. Wel meenemen van deze kleine platen zou het beeld in figuur 5.8 versterken. Geulen die worden omsloten door een plaat zijn ook meegeteld als platen.

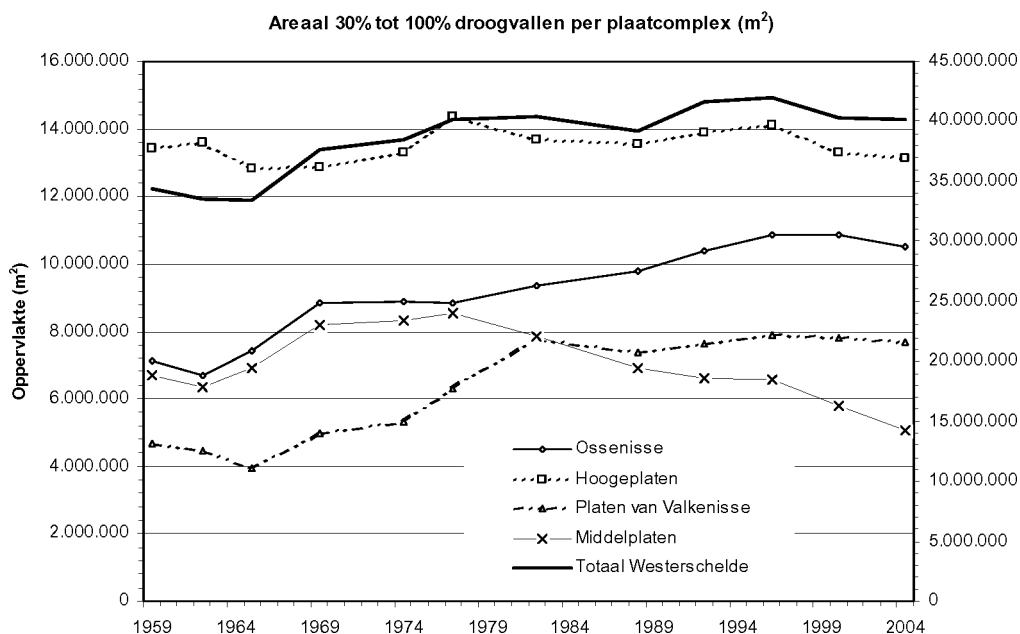


Figuur 5.10: Grafiek van het aantal platen per platencomplex in de Westerschelde. De platen zijn gedefinieerd door de contour van het 30% droogvallen.

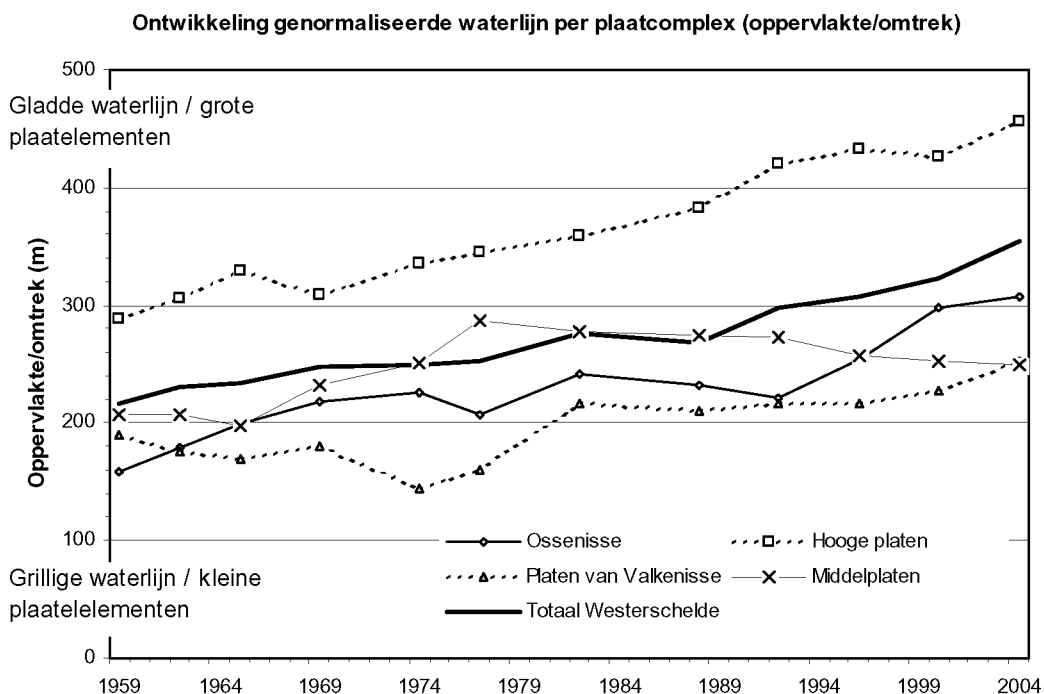


Figuur 5.11. Grafiek van de plaatomtrek in meters (de contour van het 30% droogvallen) per platencomplex in de Westerschelde.

Bij het bepalen van de omtrek is geen rekening gehouden met de toe- of afname van het oppervlakte van de plaatcomplexen. Bij een toename van het areaal bij een gelijkblijvende grilligheid van de platen moet de omtrek van de platen toenemen. Door het plaatareaal per complex (figuur 5.12) te delen door de omtrek (figuur 5.11) wordt de toe- en afnamen van het areaal gecorrigeerd.



Figuur 5.12: Grafiek van het areaal van 30% tot 100% droogvallen per platencomplex in de Westerschelde.

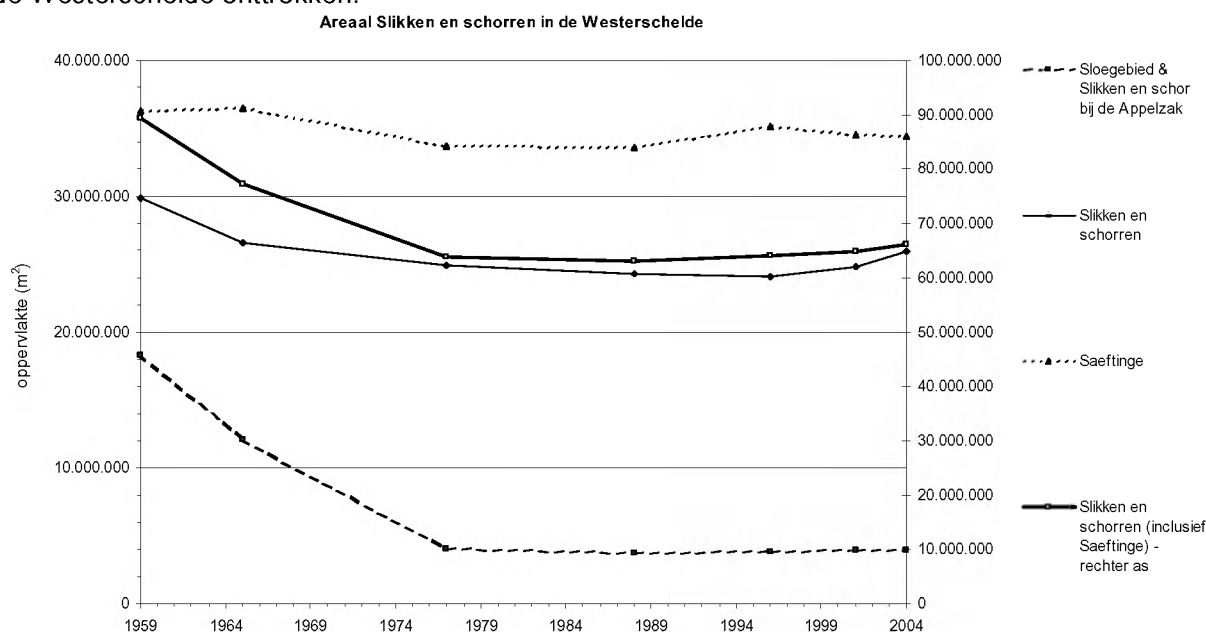


Figuur 5.13. Grafiek van de ontwikkeling van de genormaliseerde waterlijn (plaatomtrek/oppervlakte) platencomplex en voor de gehele Westerschelde (op basis van de contour van het 30% droogvallen).

De ontwikkeling van de genormaliseerde waterlijn (oppervlakte/omtrek) is weergegeven in figuur 5.13. De genormaliseerde waterlijn is een maat voor de veranderingen van het reliëf van de plaatcomplexen in de Westerschelde. De oppervlakte/omtrek laat voor alle plaatcomplexen een continue toename zien, met uitzondering van de Middelplaten. De toename betekent dat de droogvalcontour (de kustlijn), relatief korter wordt. Het reliëf van de plaatcomplexen in de Westerschelde neemt dus af.

5.4 Slikken en schorren

In het begin van de onderzochte periode (tussen 1959 en 1977) heeft een aantal inpolderingen en functieveranderingen het areaal slikken en schorren in Westerschelde doen afnemen (figuur 5.6). De functieveranderingen betreffen de verandering van het Sloe-gebied van schorren en slik in haven- en industrieterrein (afname van ruim 500 hectare), de ontwikkeling van industrieterrein 'de Mosselbanken' bij de Paulinapolder (afname van ruim 150 hectare) en de inpolderingen van de slikken van Ossendrecht ter hoogte van de Appelzak in het uiterste oosten van de Westerschelde (afname van ruim 900 hectare). Kort voor de onderzochte periode heeft de afdamming van de Braakman (afname areaal van 1525 ha in 1952) plaatsgevonden en is al een deel van het Sloe-gebied veranderd in industriegebied. Met deze ingrepen is een groot areaal slikken en schorren aan de Westerschelde onttrokken.



Figuur 5.6: Ontwikkeling van het areaal voor alle slikken en schorren langs de oevers van de Westerschelde inclusief het Land van Saeftinge (rechter as) en voor enkele deelgebieden (linker as)

Na de jaren zestig is het areaal slikken en schorren langs de oevers van de Westerschelde in totaal enigszins toegenomen. Het areaal van het Land van Saeftinge, dat de grootste bijdrage aan het areaal schorren vormt, is stabiel gebleven. Het areaal van de slikken en schorren bij de Paulinapolder, Baarland, de Biezelingsche Ham, de Kapellebank en de Schor van Waarde is toegenomen. Het areaal van de Schor van Baalhoek is afgenomen.

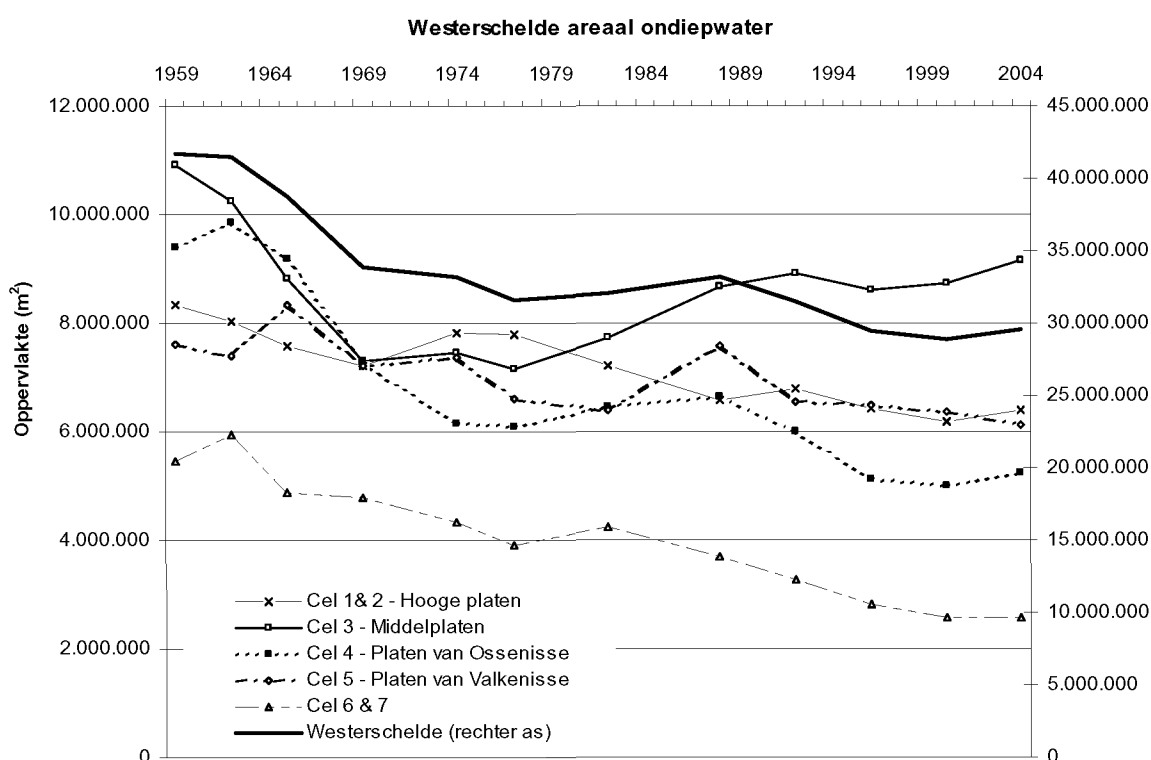
De locatie en daarmee het areaal van de slikken en schorren langs de oevers van de Westerschelde ligt tegenwoordig relatief vast in vergelijking met de platen. Dit is het gevolg van het vastleggen van de geulen langs de oevers. De mogelijkheid voor landwaartse verplaatsing van de geulen is op vrijwel alle locaties waar slikken en schorren aanwezig zijn, beperkt door het aanbrengen van bestorting en dwarsdammen. Op sommige locaties heeft de afgelopen tien jaar verlaging van de slikken plaatsgevonden. Deze verlaging heeft er mede toe geleid dat op meer plekken veenbanken zijn bloot gespoeld (de situatie in figuur 3.2 is hiervan een voorbeeld)

De uitzonderingen op deze regel dat de slikken en schorren min of meer zijn vastgelegd zijn te vinden bij het vaarwater langs de Hoofdplaat/Paulinapolder (Slikken bij de Paulinapolder), bij de Geul van Baarland (Slikken van Baarland) en bij de Geul Zimmerman (Schor van Waarde). De afname van de grootte van deze geulen heeft op deze plekken de ruimte geboden aan de uitbreiding van de slikken.

5.5 Het ondiepwater

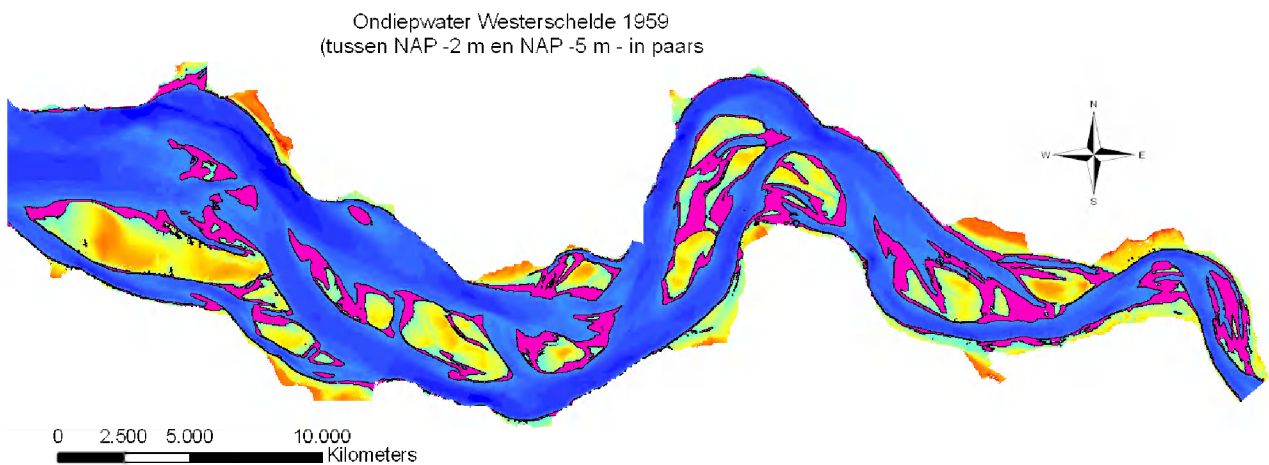
In deze studie is het ondiepwater gedefinieerd als de gebieden met een hoogte tussen NAP-2 m en NAP -5 m. Deze definitie komt overeen met *morfologische* definitie in bijvoorbeeld de MOVE-studies (bijvoorbeeld van Eck & Holzhauer, 2007 en Holzhauer e.a., 2007), maar is anders dan de *ecotopen* definitie (in Bouma e.a., 2005 en van Eck & Holzhauer, 2007). In het volgende hoofdstuk van dit rapport wordt stilgestaan bij de achtergrond van de morfologische definitie van ondiepwater.

Het areaal van het ondiepwater neemt af in alle macrocellen van de Westerschelde, met uitzondering van de macrocel 3 (figuur 5.14). Het areaal ondiepwater in het macrocel 3, rond de Middelplaten, neemt na een minimum in 1977 toe. De afname van het areaal ondiepwater is het gevolg van het verdwijnen van kortsluitgeulen en eb- en vloedshaartjes in de meeste plaatcomplexen. Deze ontwikkeling hangt samen met de ontwikkeling van het aantal platen per plaatcomplex (figuur 5.11).

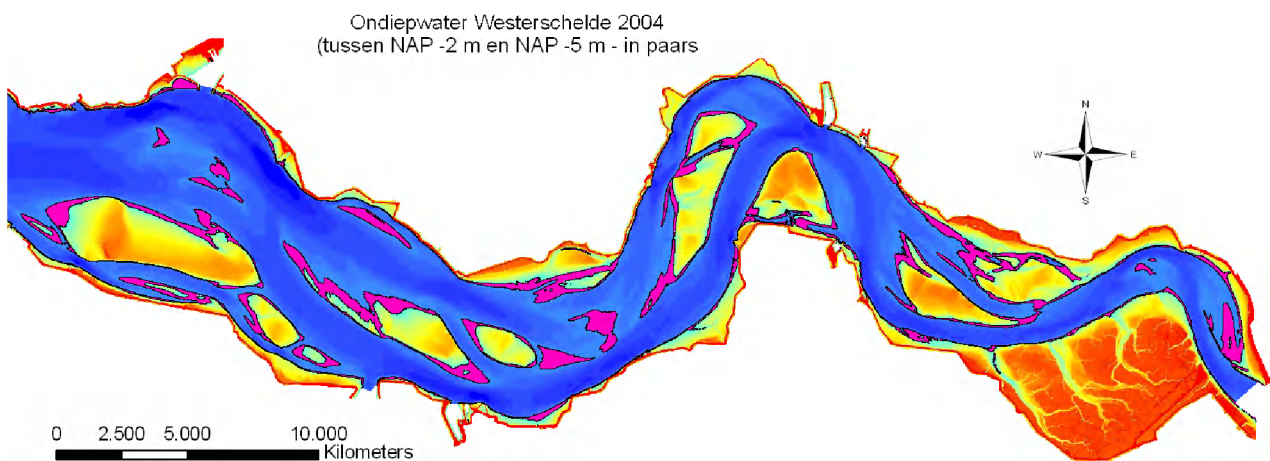


Figuur 5.14. Grafiek van het areaal ondiepwater (gedefinieerd ten opzichte van een vaste referentiehoogte) in de periode 1959 tot 2004.

In de figuren 5.15 en 5.16 zijn kaarten van de bodemligging van de Westerschelde van 1959 en 2004 weergegeven, waarin het ondiepwater in paars is aangegeven. In één oogopslag is duidelijk dat het ondiepwater met name rond de plaatcomplexen ligt. De overgang van diep naar ondiepwater langs de oevers van de Westerschelde is dusdanig steil dat het areaal ondiepwater op deze overgangen zeer beperkt is.



Figuur 5.15. Kaart van de bodemligging van de Westerschelde in 1959 met het ondiepwater (van NAP -5 meter tot NAP -2 meter) in paars.



Figuur 5.16. Kaart van de bodemligging van de Westerschelde in 2004 met het ondiepwater (van NAP -5 meter tot NAP -2 meter) in paars.

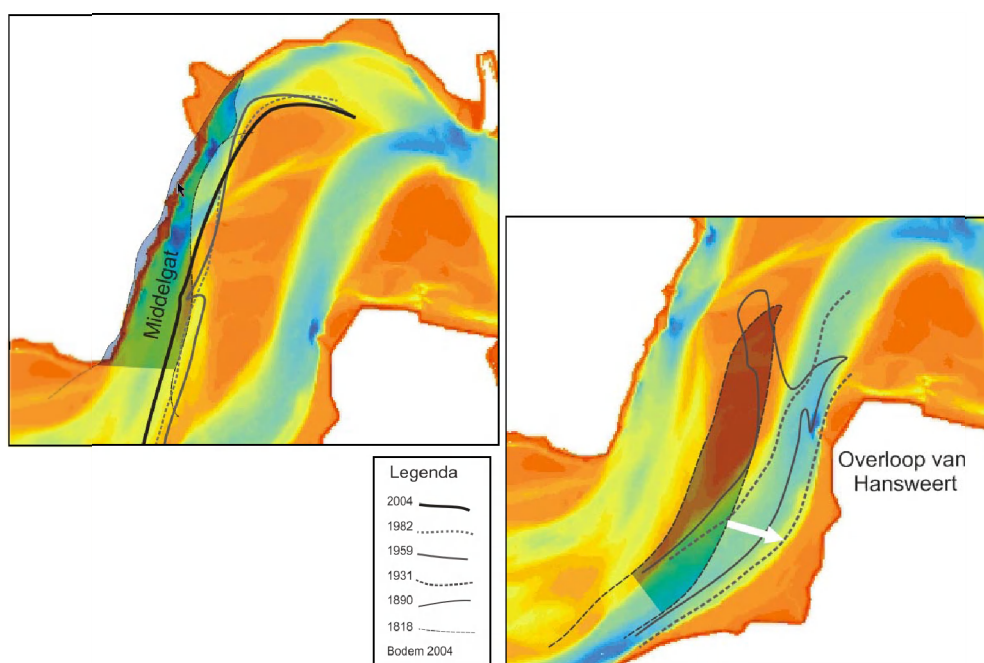
In de kaart van 1959 in figuur 5.15 is zichtbaar dat bij de plaatcomplexen in het midden en het oosten van de Westerschelde (vanaf de westelijke Platen van Ossenis) het areaal ondiepwater met name tussen de platen lag. In de kaart van 2004 in figuur 5.16 is dit ondiepwater grotendeels verdwenen. Het resterende ondiepwater areaal in 2004 ligt voor de gehele Westerschelde met name aan de uiteinden van de platen. Dit was voor de Hooge platen ook in 1959 al voornamelijk het geval.

5.6 De geulen

De ontwikkelingen van het plaatareaal en de ligging van de platen wordt bepaald door de ontwikkelingen van de aangrenzende geulen. Met de verplaatsing en de toe- of afname van de grootte van de geulen verandert ook de ligging en de grootte van de platen. In de bijlagen 1 tot en met 5 wordt per macrocel stilgestaan bij de morfologische ontwikkeling van de geulen. Hieronder worden drie aspecten van de ontwikkeling van de geulen besproken die bepalend zijn geweest voor de ontwikkeling van de plaatcomplexen in de periode van 1959 tot 2004.

5.6.5 De verbinding tussen het Gat van Ossenis en de Put van Hansweert

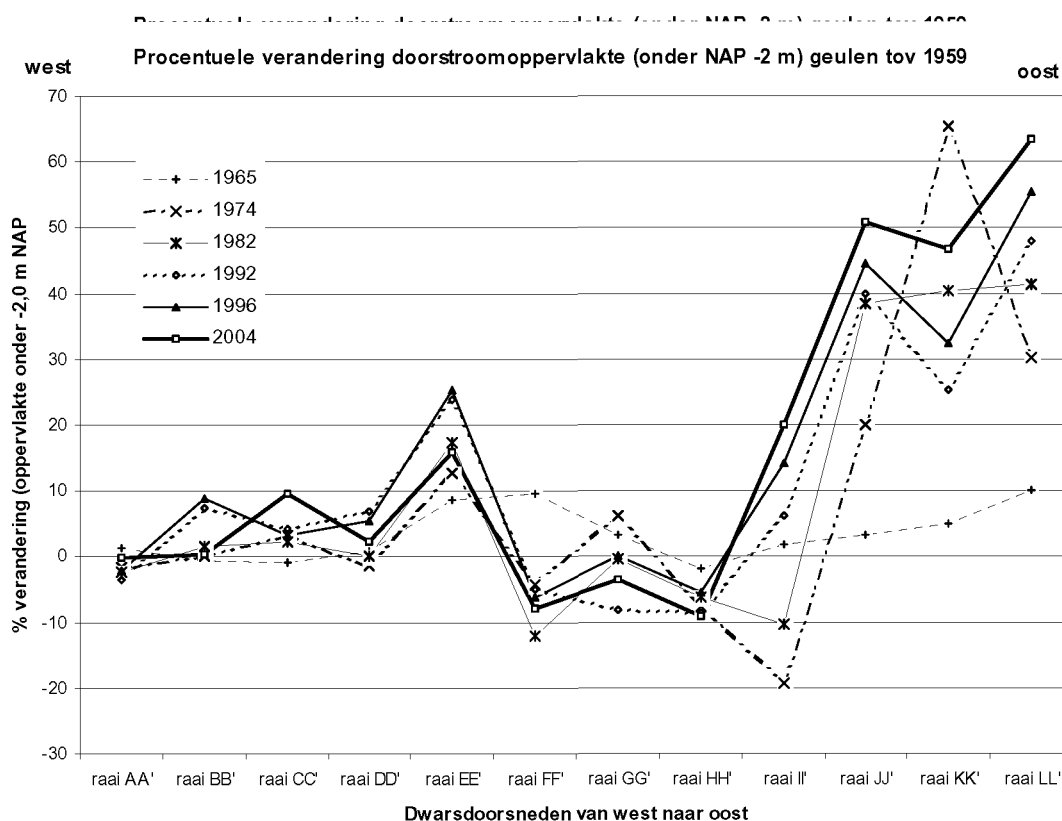
De meest ingrijpende verandering die in de afgelopen eeuw heeft plaatsgevonden in het geulpatroon van de Westerschelde is het ontstaan van de 'kortsluiting' tussen de Put van Hansweert en het Gat van Ossenis door Overloop van Hansweert (figuur 5.17, Van den Berg et al, 1996, Jeuken, 2000). De oude verbinding via het Middelgat is hierdoor sterk in grootte afgenomen en deze geul is van een hoofd- in een nevengeul veranderd. Een meer uitgebreide beschrijving kan worden gevonden in bijlage 3. De ontwikkeling is begonnen voor 1930 en was min of meer compleet aan het begin van de jaren tachtig. Het plaatcomplex van Ossenis is hierbij in een westelijk en een oostelijk deel gesplitst. Deze verbinding heeft ook geresulteerd in een andere aanstroming naar het Zuidergat, de Schaar van Waarde en de Schaar van Valkenisse in macrocel 5.



Figuur 5.17. Ontstaan van de Overloop van Hansweert (rechts) en de afname van het Middelgat (links).

5.6.6 Ontwikkeling van het doorstroomoppervlak

In de bijlage is per macrocel de ontwikkeling van het doorstroomoppervlak van een aantal dwarsdoorsneden weergegeven. Er is hierbij gekeken naar de gehele dwarsdoorsnede van de noordoever tot de zuidoever en de naar de individuele geulen. Het doorstroomoppervlak is bepaald onder een referentiehoogte op NAP –2,0 meter. Dit betekent dat het ondiepwater (tussen NAP –2 meter en –5 meter) ook in de vergelijking is betrokken. Het doorstroomoppervlakte van de geulen kan afwijken van het doorstroomoppervlakte zoals genoemd in het Achtergrondrapport Systeembeschrijving Schelde-estuarium (Kuijper, 2007). Deze afwijking is het resultaat van het verschil in het bepalen van het doorstroomoppervlakte.



Figuur 5.18: Grafiek met de ontwikkeling van het doorstroomoppervlakte (in procenten t.o.v. 1959) van de dwarsdoorsneden van de Westerschelde. De locatie van de raaien is gegeven in figuur 4.4

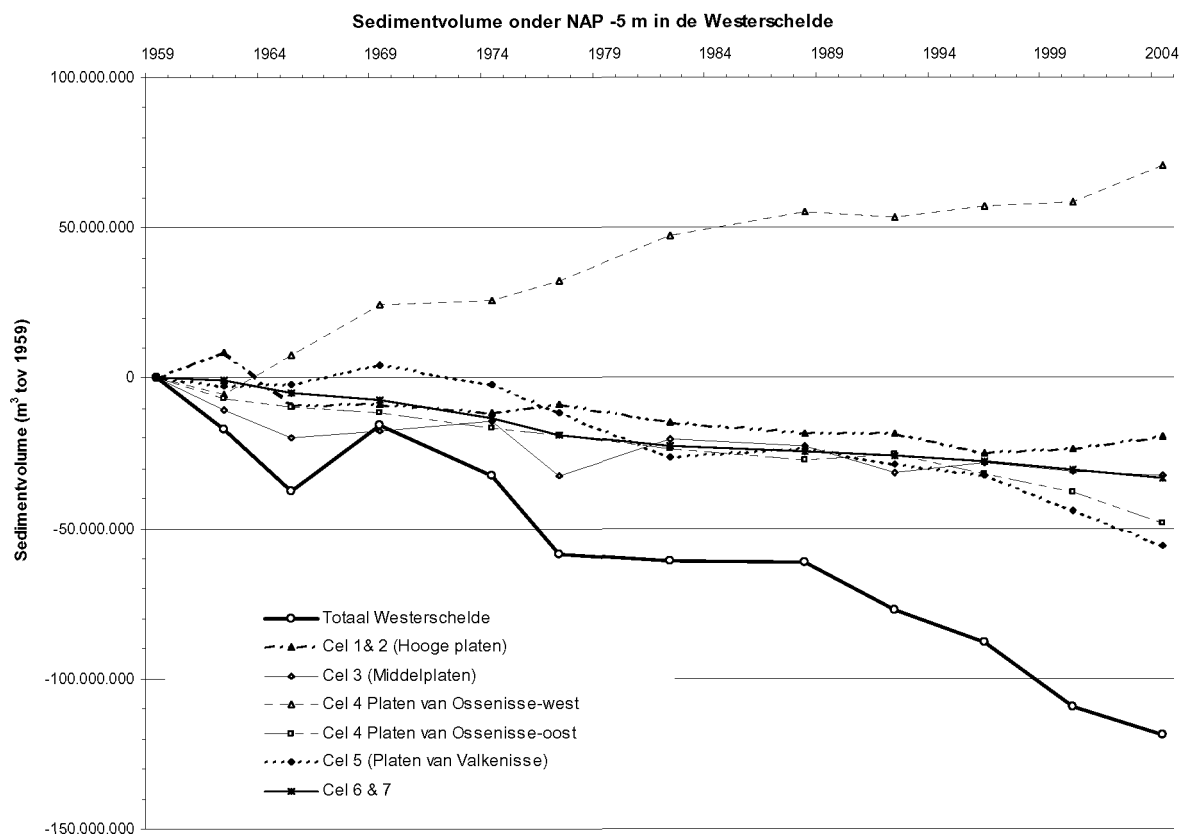
Het doorstroomoppervlak onder NAP –2 m neemt af van rond de $70 \times 10^3 \text{ m}^2$ in het westen tot rond de $12 \times 10^3 \text{ m}^2$ in het uiterste oosten van de Westerschelde. Deze afname van west naar oost volgt de afname van het getijdeprisma van west naar oost. De relatieve ontwikkeling van het doorstroomoppervlakte ten opzichte van de 1959 is weergegeven in figuur 5.18. In de oostelijke helft van de Westerschelde is het doorstroomoppervlak in de gebruikte dwarsdoorsneden toegenomen met 50 procent in raai KK' tot 60 procent in raai LL' ten opzichte van de grootte in 1959. Het doorstroomoppervlak in het oostelijke deel van de Westerschelde is beduidend groter geworden. In het uiterste westen van de Westerschelde is sprake van een toename van enkele procenten van het doorstroomoppervlak.

Rond de drempel in de Everingen varieert de grootte van het doorstroomoppervlak (raai EE' in macrocel 3). Deze variaties zijn terug te voeren op het ontstaan en daarna in grootte toe- en afnemen van eb- en vloedscharen op de drempel (figuur B2.17 en de beschrijving in bijlage 2).

Bij de Overloop van Hansweert en het Middeldgat is sinds de jaren '70 in raai GG' en HH' sprake van een afname van het doorstroomoppervlak. Deze afname heeft te maken met de wisseling van de hoofd- en nevengeul, van het Middeldgat en de Overloop van Hansweert. Voordat deze wisseling plaatsvond moest het merendeel van het getijvolume door het Middeldgat, terwijl na de wisseling het merendeel van het water door de Overloop van Hansweert ging. Beide geulen moesten daarom ergens tijdens hun ontwikkeling voldoende groot zijn om het getijvolume te accommoderen. Het doorstroomoppervlak van de beide geulen tezamen is daarbij tijdelijk te groot geworden. Door het opvullen van het Middeldgat met sediment neemt het doorstroomoppervlak in de dwarsdoorsneden nu weer af.

5.6.7 Sedimentvolume van de geulen

In figuur 5.19 is de ontwikkeling van het sedimentvolume van de macrocellen onder NAP – 5 meter uitgezet. In alle gebieden is het sedimentvolume afgenomen. Macrocel 4 is opgesplitst in het deel rondom de westelijke platen van Ossenissee en rondom de oostelijke platen van Ossenissee. In het westelijke deel van de Platen van Ossenissee neemt het sedimentvolume sinds de jaren zestig sterk toe, omdat hier het Middeldgat wordt opgevuld met sediment. Door de sedimentatie in het Middeldgat is macrocel 4 de enige macrocel waarvan de sedimentinhoud toeneemt.

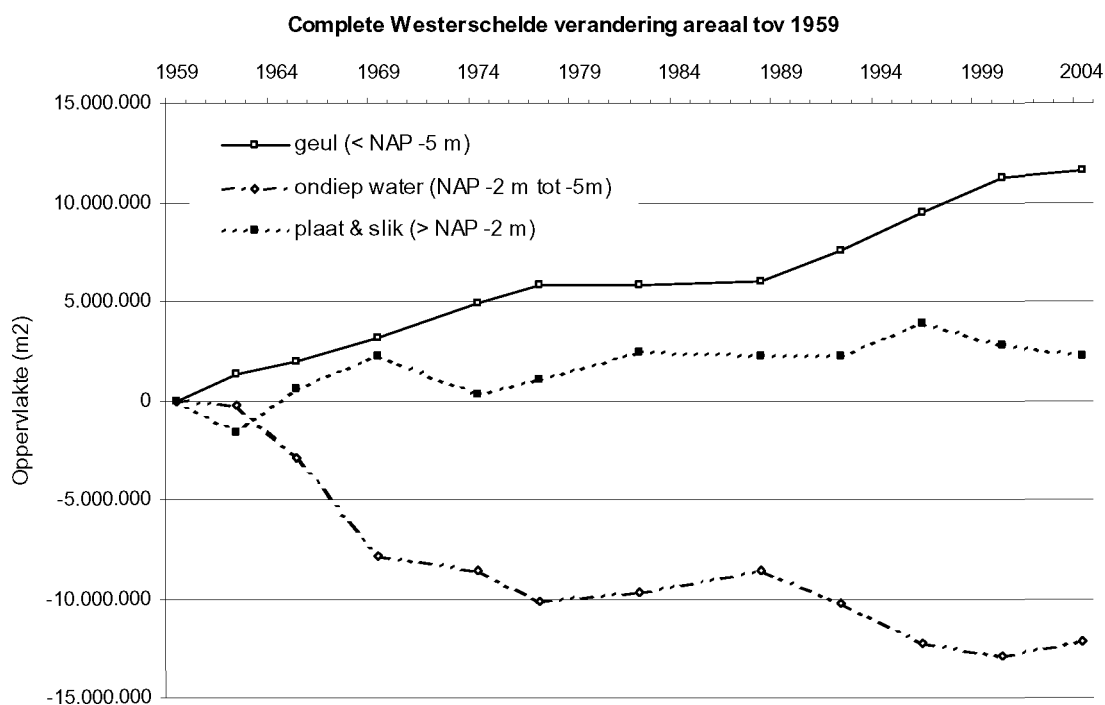


Figuur 5.19. Ontwikkeling van het sedimentvolume van de lagere delen van de Westerschelde (onder NAP –5 meter).

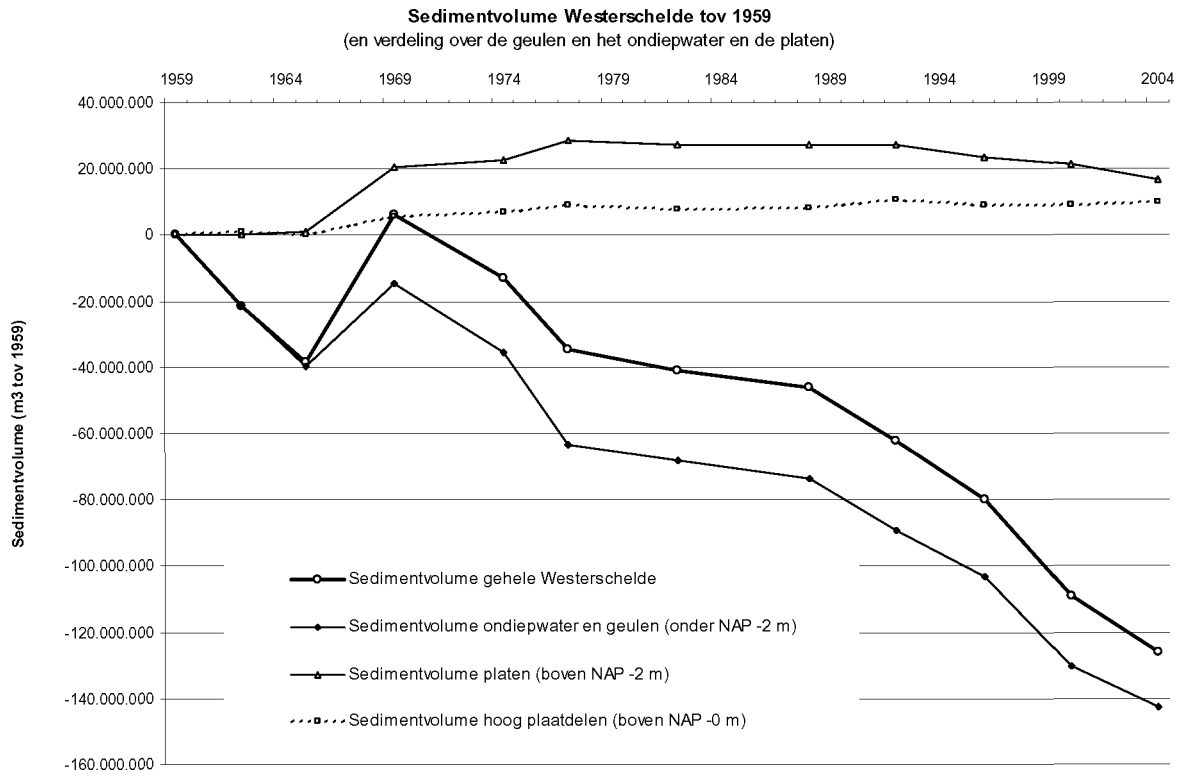
De afname van de sedimentinhoud betekent dat de geulen groter zijn geworden, dat wil zeggen dieper en/of breder. De uitzonderingen in de vorm van een toename van het sedimentvolume betreffen de Honte ten noorden van de Spijkerplaat (vak 2 in macrocel 1), het vaarwater langs de Hoofdplaat en het eerder genoemde Middelgat. Verder is er een aantal gebieden die beperkte toe- of afname laten zien. De afname van het sedimentvolume in de geulen (figuur 5.19) is veel groter dan de toename van het sedimentvolume van de platen (figuur 5.7).

5.7 De Westerschelde

In figuur 5.20 is de optelsom voor de arealen in alle macrocelen van de Westerschelde weergegeven. In figuur 5.21 zijn de ontwikkelingen van het sedimentvolume in de Westerschelde voor de geulen en het ondiepwater en de platen voor de gehele Westerschelde weergegeven. Ook is in deze figuur het resultaat van de optelsom voor de gehele Westerschelde weergegeven, waaruit de netto afname van het sediment blijkt. De grote afname is het gevolg van het onttrekken van sediment aan de Westerschelde (zandwinning) en de sedimenttransporten uit de Westerschelde naar de Zeeschelde, het Land van Saeftinge en de monding van de Westerschelde (Haecon, 2006). De platen in de Westerschelde worden hoger, de geulen worden dieper en het areaal ondiepwater neemt af.



Figuur 5.20. Ontwikkeling van de arealen van de geulen, het ondiepwater en de platen en slikken.



Figuur 5.20. Ontwikkeling van het sedimentvolume van de Westerschelde en de ontwikkeling van de geulen, de platen en de hoge delen van de platen.

6 Analyse van de morfologische ontwikkelingen

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een analyse gepresenteerd van de morfologische ontwikkelingen van de plaatcomplexen, waarbij de mogelijke oorzaken van de ontwikkelingen centraal staan. De ontwikkelingen van de (geo)morfologische karakteristieken zijn verschillend voor elk plaatcomplex. De verschillen die optreden in de ontwikkelingen van de plaatcomplexen suggereren dat hiervoor de verklaringen met name moeten worden gezocht in de lokale veranderingen binnen de macrocellen.

De overeenkomstige ontwikkelingen van de plaatcomplexen zijn de toename van het areaal met hoge droogvalklassen, de toename van het sedimentvolume van de hoge delen van de platen en de toename van de oppervlakte/omtrek (dat een maat is voor het aantal platen en de grilligheid van de plaatranden). Deze veranderingen treden op bij alle plaatcomplexen, met uitzondering van het Middelpaatcomplex. De vergelijkbare ontwikkelingen, namelijk het hoger en droger worden van de platen en het aaneengroeien van de plaatcomplexen hebben waarschijnlijk eenzelfde oorsprong. De sleutel voor het begrijpen van de ontwikkelingen ligt in het Middelpaatcomplex, omdat dit complex een afwijkende ontwikkeling vertoont. Ook het areaal ondiepwater neemt af voor alle macrocellen, met uitzondering van macrocel 3 (met het Middelpaatcomplex). De afname van het ondiepwater areaal speelt waarschijnlijk een belangrijke rol in het groter en 'gladder' en hoger en droger worden van de plaatcomplexen. De morfologische veranderingen zijn het eerst in deze dieptezone zichtbaar.

6.2 Plaat- en ondiepwaterareaal en de geulen

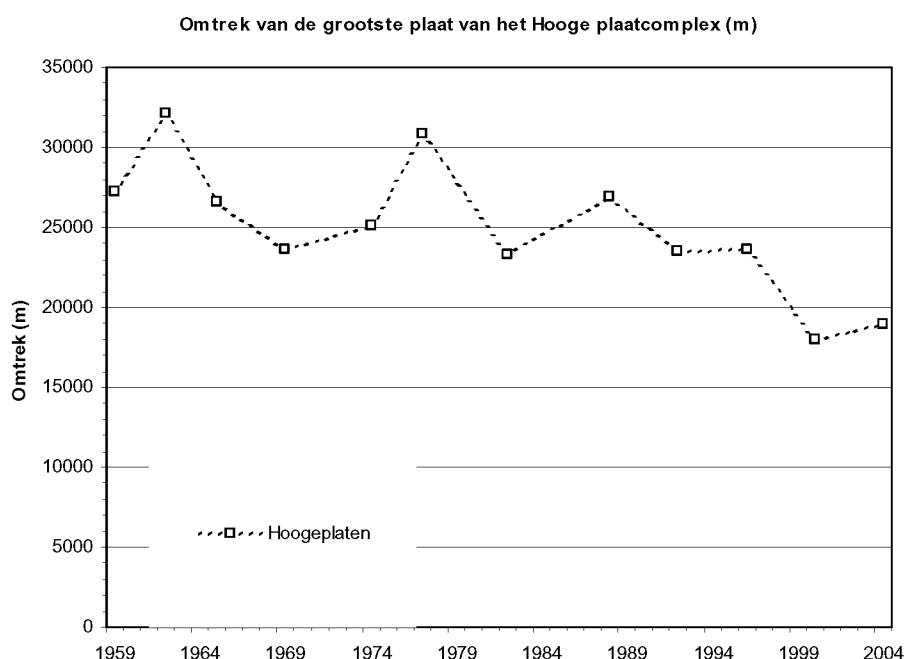
De verplaatsing van de oevers van de geulen in de Westerschelde is het bepalende proces voor de arealen plaat en ondiepwater in de Westerschelde. In alle macrocellen zijn voorbeelden te vinden van gebieden waar de migratie van een geul heeft geleid tot een afname of juist een toename van het areaal ondiepwater en plaat. Willekeurige voorbeelden zijn de noordwaartse verplaatsing van het Vaarwater onder de Hooge plaat en de bijbehorende erosie aan de zuidzijde van de Hooge plaat (figuur B1.20) en de zuidwaartse verplaatsing van de binnenbocht van Walsoorden waarbij de Plaat van Walsoorden in omvang is toegenomen (figuur B4.18).

Het 'uitbochten' van de buitenbochten in de richting van de oevers van de Westerschelde is vrijwel overal tot stilstand gebracht door het aanbrengen van onderwateroeververdedigingen (bestortingen). Een direct gevolg hiervan is dat op deze locaties de veranderingen van het areaal slikken en schorren na het aanbrengen van de bestortingen zeer beperkt zijn gebleven. Migratie van de geulen is eigenlijk alleen mogelijke nog langs en door de plaatcomplexen. Dit zijn dan ook de gebieden waar nog steeds veranderingen. Enkele kleinere geulen (het vaarwater onder de Hoofdplaat, de geul van Ossensisse en de geul Zimmerman) nemen al jaren in omvang af. Op deze locaties hebben de platen of de slikken kunnen uitbreiden.

In het oostelijke deel van de Westerschelde zijn het doorstroomoppervlak en het areaal van de geulen (figuur 5.18) toegenomen. De toename van de breedte van (met name) de (hoofd)geulen is ten koste gegaan van het areaal ondiepwater.

6.3 De ontwikkeling van de waterlijn van de plaatcomplexen

Het reliëf van de plaatcomplexen in de Westerschelde is sinds 1959 consequent afgenomen, zoals zichtbaar is in figuur 5.13. Deze afname is voor een deel het gevolg van het afnemen van het aantal platen per plaatcomplex. Minder platen met een gelijkblijvend oppervlakte betekent automatisch dat de omtrek per oppervlakte afneemt. Daarnaast is ook de omtrek per plaat kleiner geworden, omdat de waterlijn 'gladder' is geworden. Dit is inzichtelijk gemaakt in figuur 6.1, waarin de omtrek van de grootste plaat van macrocel 1 is weergegeven (de eigenlijke Hooge plaat). De netto afname van 1959 tot 2004 is in zijn geheel toe te schrijven aan veranderingen van de grilligheid van de omtrek, omdat de veranderingen van deze plaat niet bestaan uit het verhelen van de platen en het oppervlakte van de plaat geen grote variaties vertoont. De plaatrand van de Hooge plaat is in de loop van de tijd 'gladder' geworden.



Figuur 6.1: Grafiek van de plaatomtrek (de waterlijn bij 30% droogvallen) van de Hooge plaat.

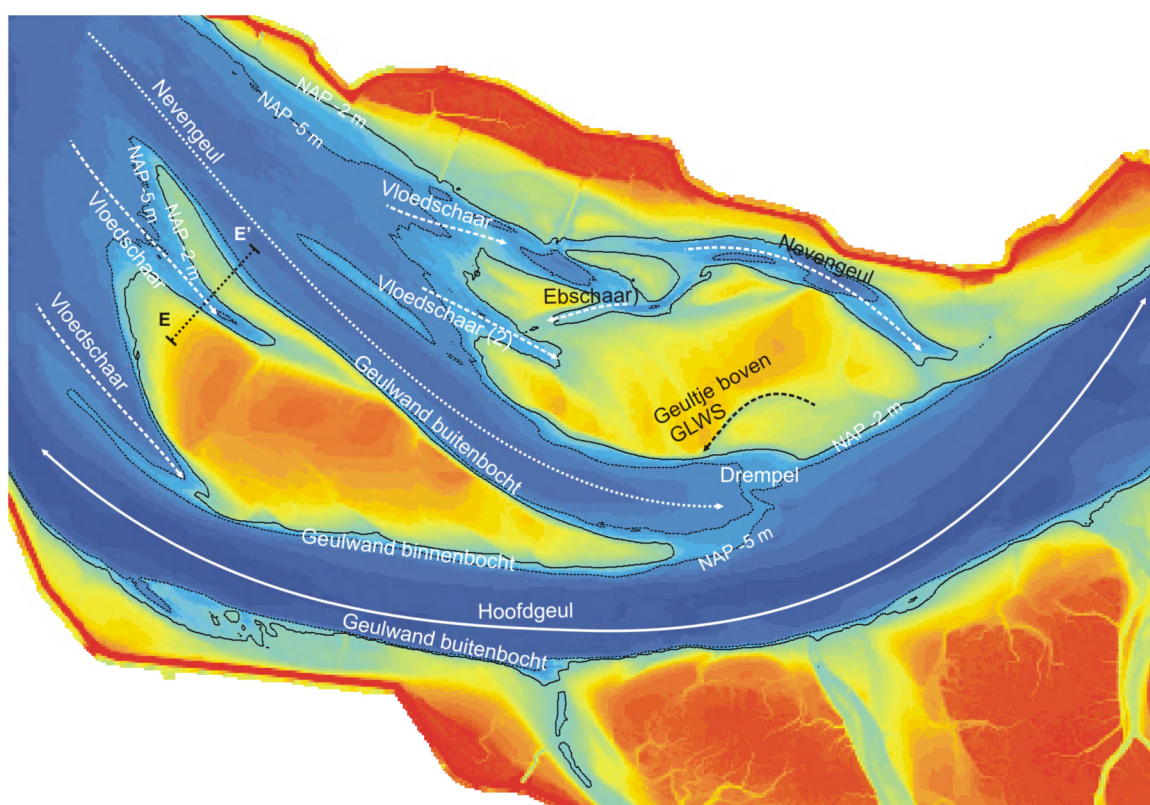
De afname van het aantal platen wordt verklaard uit de afname van het aantal kortsluitgeulen door de plaatcomplexen. De afname van de grilligheid van de plaatranden wordt verklaard doordat tegenwoordig minder vloed- en ebscharen de platen insteken. De vergelijking van de kaart van het Plaatcomplex van Ossensisse uit 1959 met die van 2004 (in figuur 5.9) laat zien dat er minder geulen door de platen steken en dat er minder geulen in de platen eindigen. Het bekijken van de contouren van de droogvalpercentages laat zien dat ook minder droogvallende geulen de plaat insteken. De afname van het aantal kortsluitgeulen en de vloed- en ebscharen is ook zichtbaar in de afname van het areaal ondiepwater (tussen NAP -2 en NAP -5 meter, figuur 5.14).

Een aanwijzing voor het belang van de kortsluitgeulen voor het reliëf van de plaatcomplexen wordt gevonden in de afwijkende ontwikkeling van de Middelplaten. De Middelplaten is het enige platencomplex waarvan het aantal kortsluitgeulen tussen hoofd- en nevengeul niet is afgenomen en waarvan de genormaliseerde waterlijn niet is afgenomen (figuur 5.13).

Het reliëf van de plaatcomplexen is van belang voor foeragerende steltlopers. Meer kleinschalig reliëf wordt over het algemeen als positief beschouwd voor het aantal steltlopers dat op een plaat kan foerageren. Een van de aspecten die hierbij een rol speelt is dat steltlopers bij het foerageren de waterlijn volgen. Meer reliëf betekent dat de waterlijn grilliger en langer is en daarmee nemen ook de foerageermogelijkheden toe. De afname van het reliëf van de plaatcomplexen heeft geleid tot een absolute (figuur 5.12) en een relatieve (figuur 5.13) afname van de omtrek en daarmee van de waterlijn. Het visueel vergelijken van de contour van het 30% droogvallen met de andere contouren (figuren 5.2 tot en met 5.5) leert dat ook voor de andere contouren de grilligheid is afgenomen. Gedurende het gehele getij is de waterlijn tegenwoordig korter dan vroeger. De foerageermogelijkheden langs de waterlijn gedurende het getij zijn dus in de periode 1959 tot 2004 voor alle plaatcomplexen afgenomen, met uitzondering van de Middelpaten.

6.4 Wat is 'ondiepwater' in de Westerschelde?

Het areaal ondiepwater in de Westerschelde is in alle macrocellen afgenomen, met uitzondering van de Middelpaten (figuur 5.14). Deze verandering in ondiepwater areaal gaat samen op met de afname van het mesoreliëf en de toename van de hoogte van de platen. Mogelijk is er een oorzakelijk verband tussen de ontwikkelingen. Om dat verband te leggen moet eerst in meer detail worden bepaald waar het areaal ondiepwater in de Westerschelde uit bestaat.

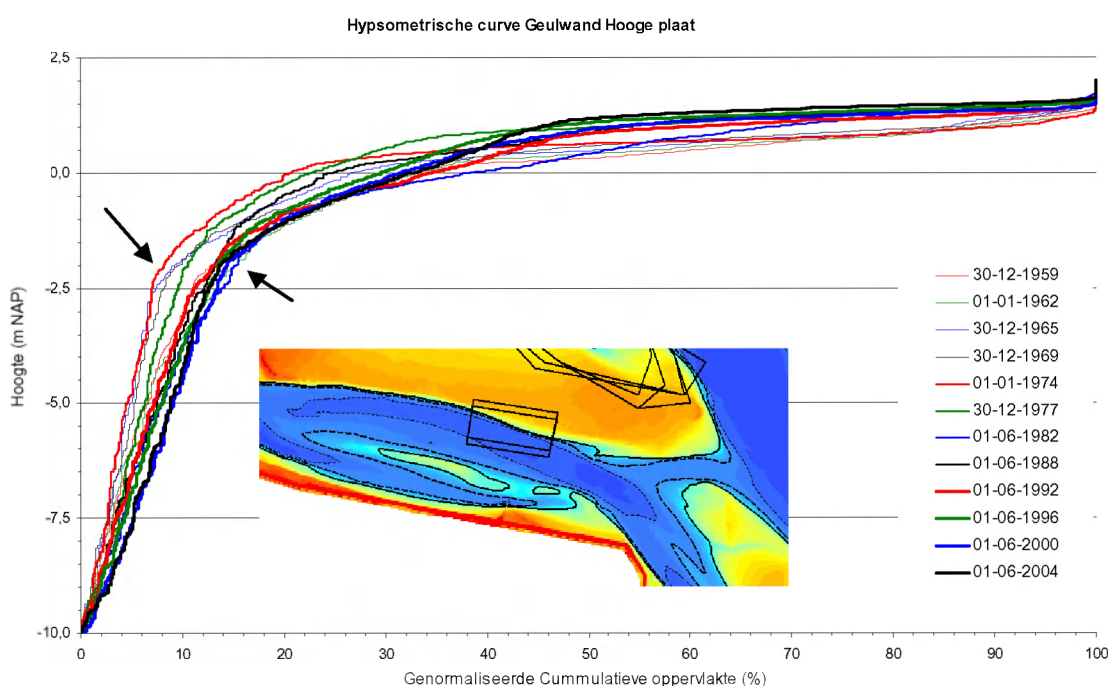


Figuur 6.2. Kaart van het platencomplex van Valkenisse in 2004, met het ondiepwater tussen de contour van de NAP – 5 meter en de NAP -2 meter dieptelijn.

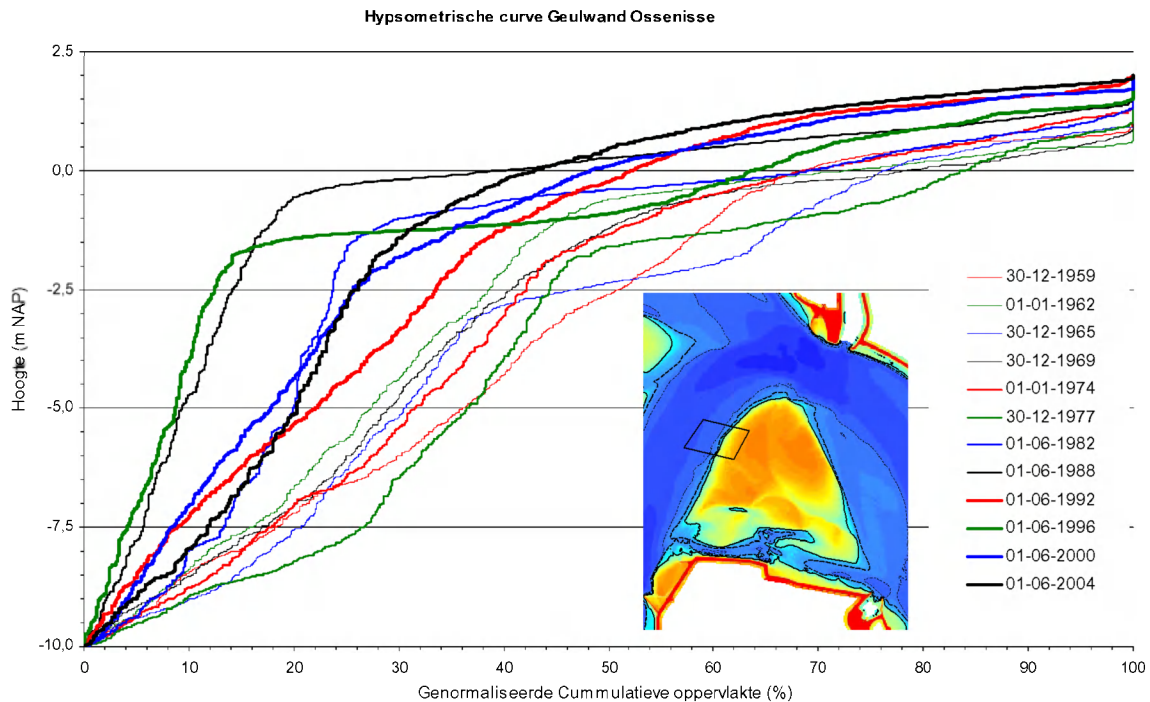
In figuur 6.2 zijn voor het plaatcomplex van Valkenisse in een kaart de contouren van de NAP –5 meter en de NAP –2 meter weergegeven. Het gebied tussen deze contouren wordt in dit rapport beschouwd als het ondiepwater areaal. In dezelfde figuur is ook schematisch aangegeven welke morfologische elementen in het ondiepwater areaal liggen. Het grootste deel van het areaal ondiepwater ligt op de plek waar de nevengeul uitwaaiert in een aantal vloedscharen. Ook de noordoever van de nevengeul bestaat voor een deel uit ondiepwater. De nevengeul die met zwarte letters is gemarkeerd is wat resteert van de Geul Zimmerman. Deze geul bestaat tegenwoordig voor een belangrijk deel uit ondiepwater. Verder ligt langs de binnenbocht en de buitenbocht van de hoofdgeulen en de buitenbocht van de nevengeul nog een smalle strook ondiepwater op de steile geulwanden.

Het areaal ondiepwater bij de Plaat van Valkenisse is dus samengesteld uit delen van de verschillende morfologische elementen. Ook bij de andere plaatcomplexen blijkt dit het geval te zijn. Twee belangrijke bijdragen aan het areaal ondiepwater, namelijk de overgang van plaat naar geulwand en de vloedscharen worden in detail geanalyseerd.

De absolute grens van NAP –2 meter aan de bovenzijde van het ondiepwater komt overeen met de hoogte waarop de platen met een (scherpe of flauwe) kink overgaan in de geulwanden. De aanwezigheid van de knik wordt geïllustreerd met voorbeeld van de Hooge platen (figuur 6.3) en de Platen van Ossenis (figuur 6.4). Door hypsometrische curves te gebruiken in plaats van één enkele dwarsdoorsnede wordt voorkomen dat kleinschalige ontwikkelingen het beeld te veel beïnvloeden. Per jaar kan de hypsometrische curve in dit geval worden beschouwd als een weergave van het gemiddelde dwarsdoorsnede.



Figuur 6.3. Genormaliseerde hypsometrische curve (procentuele bijdrage per hoogte aan het totale cumulatieve areaal) van de overgang van geul (Vaarwater) naar plaat (Hooge platen) (zie inzet voor de locatie). De pijlen markeren enkele van de veranderingen in de helling (knikken).

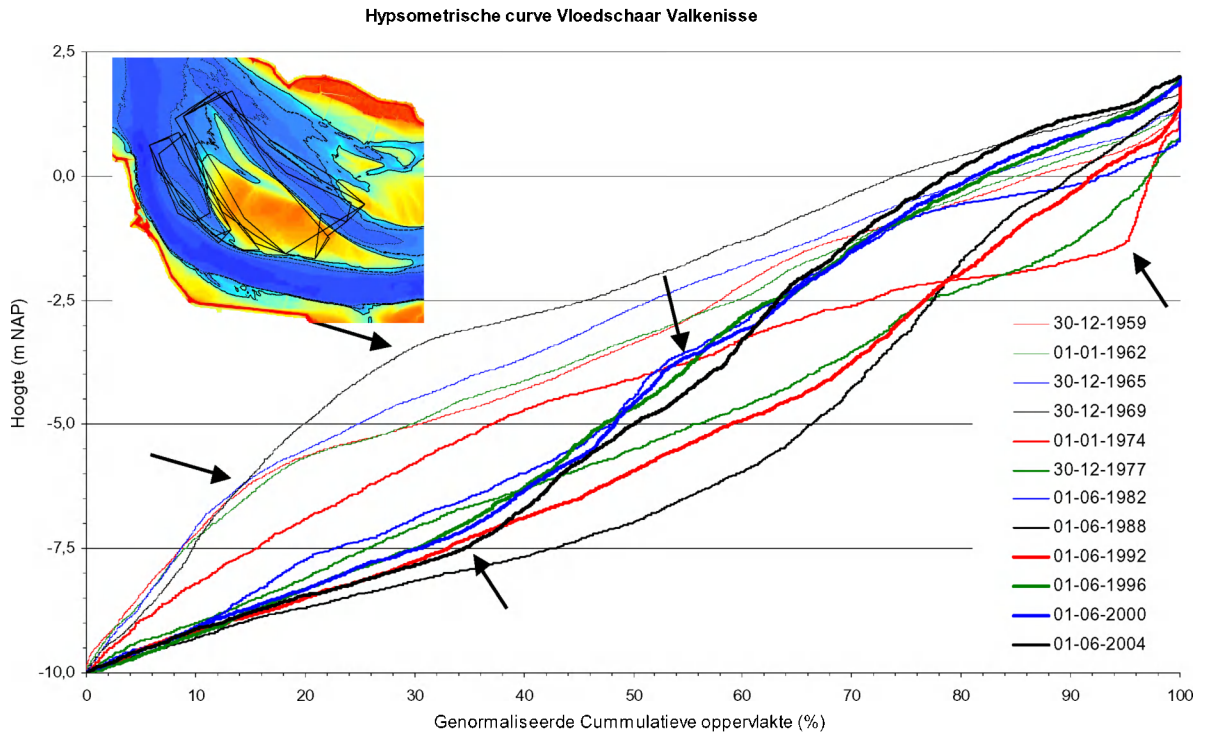


Figuur 6.4. Genormaliseerde hypsometrische curve (procentuele bijdrage per hoogte aan het totale cumulatieve areaal) van de overgang van geul (Overloop van Terneuzen) en een plaat (Plaat van Ossenisse oost).

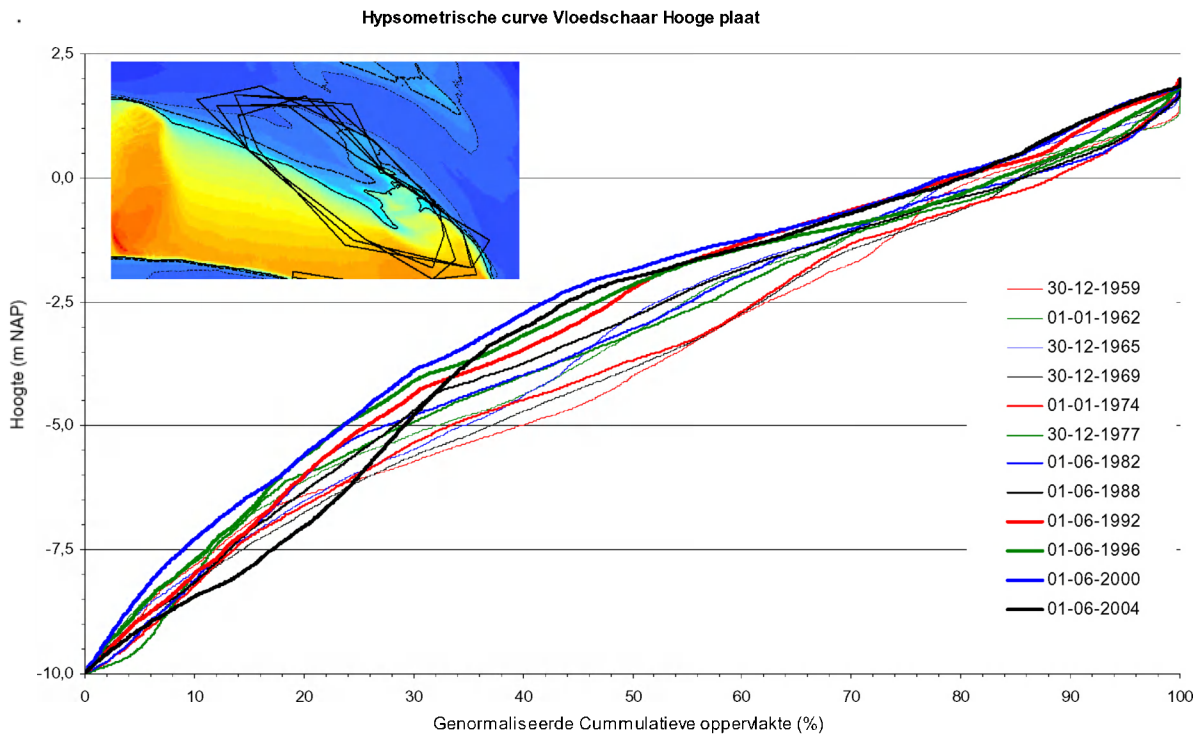
In de genormaliseerde hypsometrische curves van een vloed-schaar bij Valkenisse (figuur 6.5) en een vloed-schaar bij de Hooge platen (figuur 6.6) is slechts in een enkel jaar sprake van een knik in de dwarsdoorsnede die de overgang van schaar naar plaat markeert. Blijkbaar is in deze gebieden de overgang van schaar naar plaat een geleidelijke.

Voor de keuze van de overgang van plaat naar ondiepwater op de NAP -2 m is een duidelijke aanwijzing gevonden in de dwarsdoorsnedes van plaat naar geulwand. Dit is niet het geval voor de overgang van ondiepwater naar geulen die op NAP -5 m is gelegd. In de genormaliseerde hypsometrische curves van de plaat-geulwand overgangen (figuren 6.3 en 6.4) en in die van de vloed-scharen ontbreken duidelijke knikken die de onderzijde van het ondiepwater begrenzen. In de kaart van met het ondiepwater rond Valkenisse loopt de NAP -5 meter door verschillende geulen en vloed-scharen.

De keuze van de begrenzing van het ondiepwater op NAP -5 meter is dus enigszins willekeurig. Het is dus niet mogelijk om op grond van de morfologie een betere of beste dieptebegrenzing van de overgang van ondiepwater naar geul te definiëren. De overgang zoals die nu is gedefinieerd op NAP -5 m zou redelijkerwijs ook een á twee meter lager of een meter hoger kunnen worden gelegd. Met deze begrenzingen wordt de ontwikkeling van de het interval ondiepwater voornamelijk bepaald door de ontwikkeling van de vloed- en ebscharen en de kortsluitgeulen. Een alternatieve benadering zou zijn om het areaal ondiepwater op te bouwen uit de vloed- en ebscharen en kortsluitgeulen.



Figuur 6.5. Genormaliseerde hypsometrische curve (procentuele bijdrage per hoogte aan het totale cumulatieve areaal) van een vloedschaar in de Plaat van Walsoorden (zie de inzet voor de locaties van de gebruikte vakken). De pijlen markeren enkele van de veranderingen in de helling (knikken).

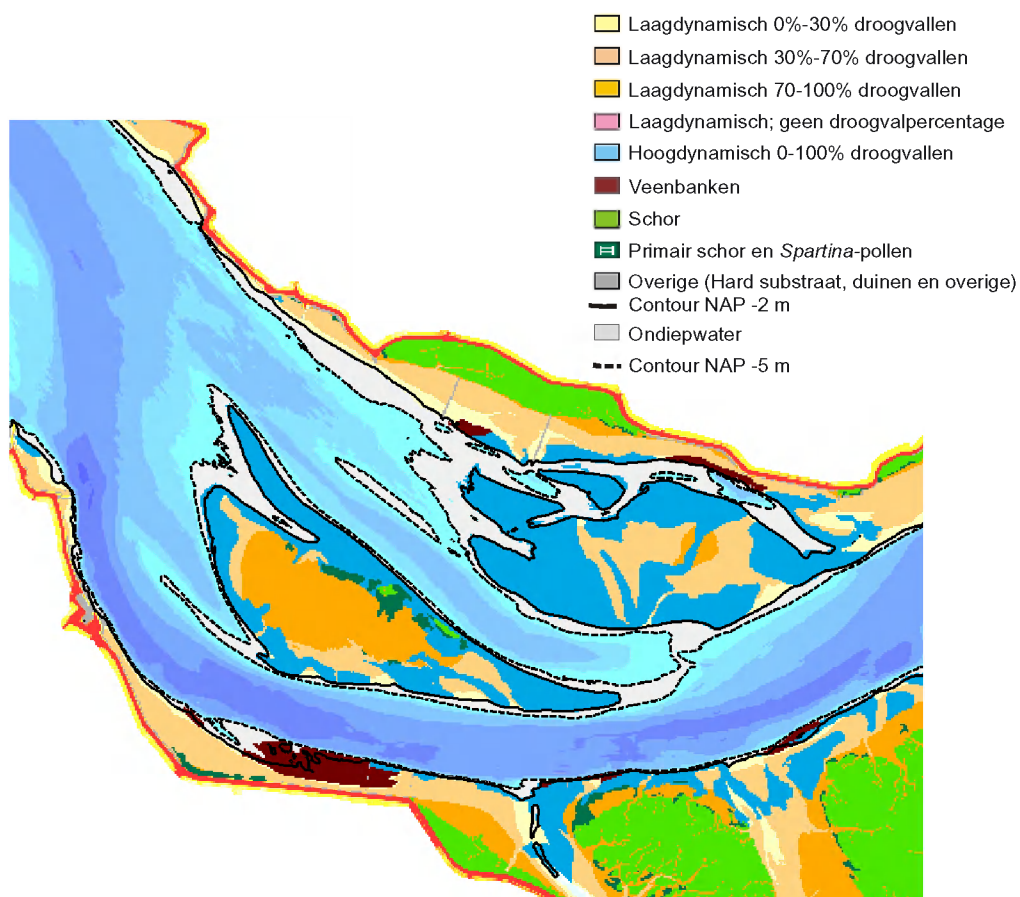


Figuur 6.6. Genormaliseerde hypsometrische curve (procentuele bijdrage per hoogte aan het totale cumulatieve areaal) van een vloedschaar in de Hooge platen (zie de inzet voor de locatie).

6.5 De ontwikkeling van het ondiepwater in de Westerschelde?

De afname van het areaal ondiepwater heeft zich vooral voorgedaan binnen de plaatcomplexen, zoals de vergelijking van de figuren 5.11 en 5.12 leert. Dit areaal ondiepwater binnen de complexen bestaat voornamelijk uit kortsluitgeulen die door de complexen liepen en uit eb- en vloedscharen die de complexen instaken.

De kortsluitgeulen, vloed- en ebscharen en delen van grote geulen die samen het ondiepwater vormen worden allemaal gekenmerkt door het optreden van hoge stroomsnelheden tijdens een deel van het getij. Het is daarom waarschijnlijk dat de bodem van de ondiepwatergebieden hoogdynamisch is. Een aanwijzing hiervoor wordt gevonden in de ligging van het hoogdynamische areaal direct in het verlengde van het ondiepwater (figuur 6.7).



Figuur 6.7: Ecotopenkaart van het platencomplex van Valkenisse in 2004 met de bodemligging van de geulen. Het ondiepwater is in grijs aangegeven tussen de NAP –2 meter dieptelijn (ononderbroken zwarte lijn) en de NAP –5 meter dieptelijnen (gestippelde zwarte lijn).

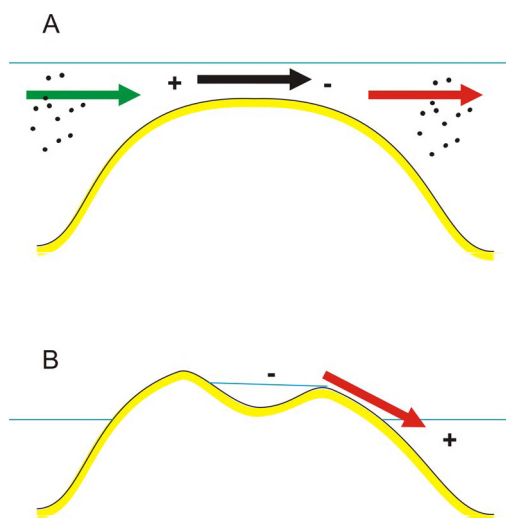
De verklaring voor de afname van de kortsluitgeulen moet waarschijnlijk worden gezocht in de grootschalige waterbeweging in de Westerschelde. De aandrijvende krachten voor de verschillende mechanismen voor het ontstaan en de ontwikkeling van de kortsluitgeulen zijn waarschijnlijk afgenomen (Swinkels, 2006, Swinkels et al submitted).

De afname van het aantal eb- en vloedscharen dat de platen insteekt heeft mogelijk ook te maken met de grootschalige veranderingen in de waterbeweging in de Westerschelde. Een ander aspect dat hierbij een rol speelt is de toegenomen hoogte van de plaatcomplexen. Door de toegenomen hoogte fungeren de platen minder als meestromende delen van de Westerschelde en meer als barrière/stroomgeleider. Minder meestromen betekent ook dat er minder eb- en vloedscharen de platen insteken.

6.6 De balans tussen aan- en afvoer van sediment naar de platen

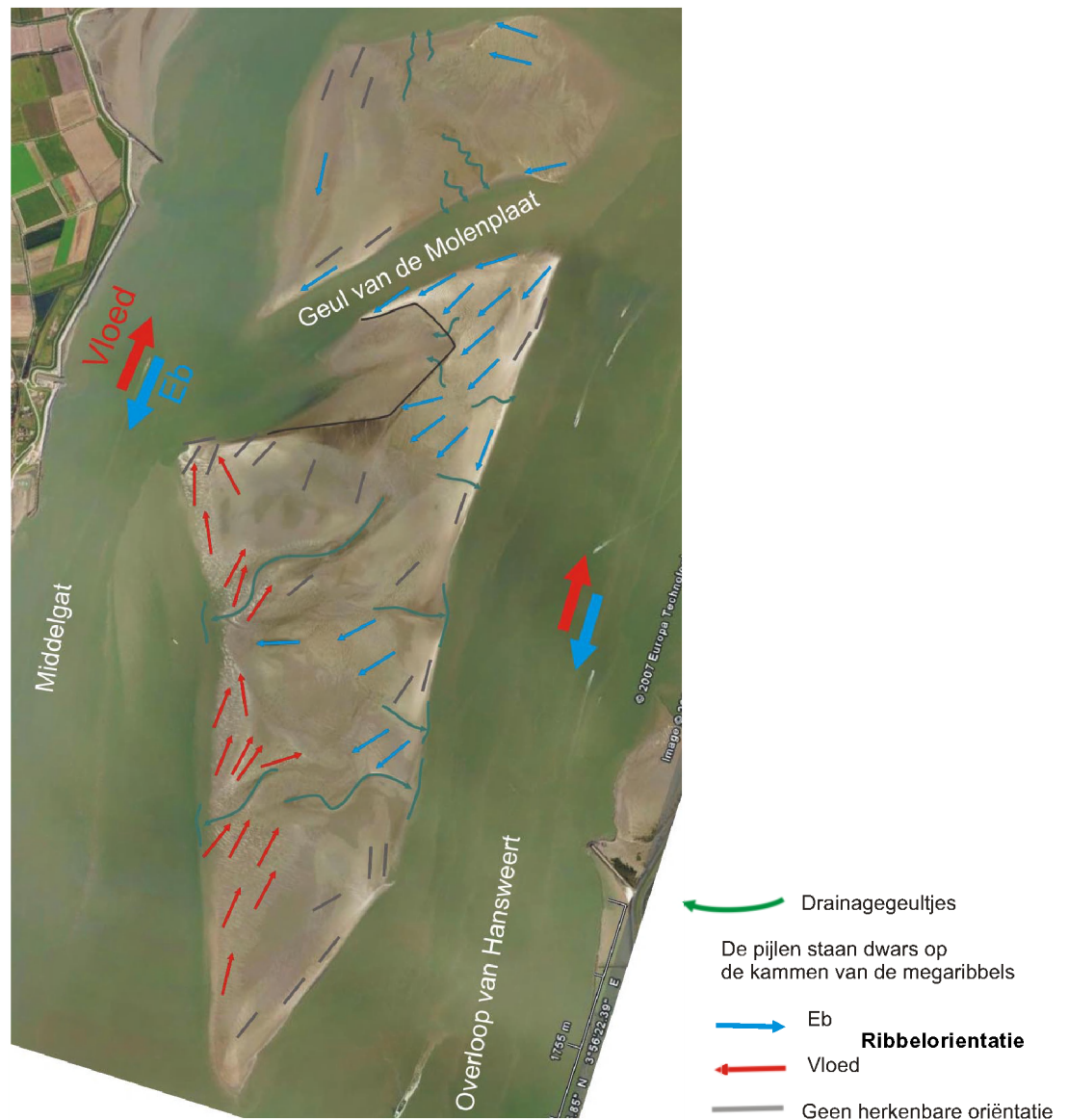
De Middelplaat is de enige plaat in de Westerschelde waarvan de hoogte niet is toegenomen in de afgelopen jaren. Het is ook het enige geulcomplex waar nog steeds grote kortsluitgeulen doorheen steken. Deze geulen migreren, waarbij grote hoeveelheden sediment worden verplaatst. Wat is de rol van de kortsluitgeulen voor de aan- en afvoer van sediment naar de plaat?

Platen en slikken in de Westerschelde bestaan bij de gratie van de aanvoer van sediment vanuit de geulen. Zonder deze aanvoer waren de platen en slikken al lang geleden verdronken onder invloed van de stijgende zeespiegel. Het sediment wordt met het water dat de platen opstroomt meegevoerd en daar afgezet (figuur 6.9A). In de Westerschelde kan het water zowel bij eb als bij vloed over de platen stromen (maar wel op verschillende plaatsen) en kan de opbouw van de platen zowel tijdens de vloed als de eb plaatsvinden.



Figuur 6.9: Schematische dwarsdoorsnede van de balans tussen aan- en afvoer van sediment van en naar de platen. A: Het effect van stroming over de plaat met de bijbehorende aan- en afvoer van sediment. B: Het effect van afstromend water tijdens laagwater.

De aanwijzingen voor het opstromen van het water uit de geul de plaat op, worden gevonden in de megaribbels die in de hoogdynamische gebieden langs de plaatranden worden gevonden (figuur B4.28). Deze megaribbels geven zowel een aanwijzing voor de bereikte stroomsnelheden als een aanwijzing voor de stroomrichting. De stroomsnelheid moet hoog genoeg zijn geweest om (bij de waterdiepte en korrelgrootte ter plaatse) de ribbels op te bouwen. De kammen van de megaribbels staan dwars op de stroomrichting en de stroom is over de kam gericht geweest van de flauwe helling naar de steile helling. De analyse van de ribbeloriëntatie laat zien dat bij alle plaatcomplexen sprake is van locaties met vloed- en ebgeoriënteerde megaribbels. In figuur 6.10 wordt hiervan een voorbeeld gepresenteerd.



Figuur 6.10: Luchtfoto van westelijke Platen van Ossensisse (bron: Google Earth).

Naast de aanvoer van sediment de platen op, wordt ook sediment afgevoerd van de platen. Voor een deel gaat dit op dezelfde wijze als waarop het sediment wordt aangevoerd, namelijk met de stroming die de plaat afstroomt (figuur 6.9A). Ook voor het optreden van de stroming de plaat af worden aanwijzingen gevonden in de ribbelpatronen. En ook voor de stroming de plaat af geldt dat dit zowel bij vloed als bij eb kan plaatsvinden.

De mate waarin water de plaat op- en afstroomt bij eb en bij vloed is afhankelijk van de waterstand (het verticale getij) en de stroomsnelheid (het horizontale getij). Er stroomt namelijk alleen water de plaat op als de waterstand hoger is dan het plaatniveau én het water daadwerkelijk stroomt. De veranderingen in de voortplanting van het getij in de Westerschelde in de afgelopen eeuw hebben de relatieve bijdrage van de stroming de plaat óp en áf veranderd.

In het bovenstaande staat in feite dat sprake is van een balans van sedimenttransport naar de platen toe en van de platen af (Dronkers, 2005). Veranderingen in deze balans bepalen de mate waarin de plaat omhoog kan 'groeien'.



Figuur 6.11: De zuidelijk grens van de Hooge Plaat, met een aantal vertakkende drainagegeulen die vanaf de plaat naar het Vaarwater langs de Hoofdplaat lopen. Let ook op de uitbouw van de waterlijn ter hoogte van de mondingen van de geulen.

De lokale stroming van de plaat af tijdens laagwater (die dus niet gekoppeld is aan de stroming door de geulen) is een ander proces dat sediment kan afvoeren van de platen (figuur 6.9B). Het water dat is achtergebleven op de platen wordt afgevoerd via drainagegeulen op de platen. In figuur 6.11 wordt hiervan een opname getoond en in figuur 6.10 zijn meerdere van dergelijke geultjes aangegeven. Deze stroming wordt gegenereerd door het waterstandsverschil op de plaat en in de geul. De afvoer van sediment op deze wijze is belangrijker naarmate er meer sprake is van een komvorm in het plaatoppervlak. Een dergelijke kom fungeert als een soort miniatuur-getijdebekken waaruit tijdens laagwater in de geul het water wordt afgevoerd via de drainagegeul (het miniatuur-zeegat). Ook de snelheid waarmee de waterstand in de geulen daalt is belangrijk voor de bijdrage van dit proces aan de afvoer van sediment van de platen, deze snelheid bepaalt deels het waterstandsverschil tussen het water op de plaat en in de geul.

De balans tussen aan- en afvoer van sediment verandert wanneer de platen hoger worden, omdat de afvoer van sediment door de drainagegeulen afneemt. Paradoxaal genoeg kan het hoger worden van de platen daarmee verder toenemen.

De afname van afvoer van het sediment de plaat af, onder invloed van de afname van het aantal vloed- en ebschaartjes dat de plaat insteekt en de afname van het aantal kortsluitgeulen is een verklaring voor het hoger worden van de plaatcomplexen. De afname van het aantal drainagegeultjes de plaat af heeft deze ontwikkeling mogelijk verder versterkt.

6.7 De rol van de 'harde lagen' in de ondergrond voor de stabiliteit en vorm van de geulen, de slikken en de platen

Geologische formaties en laagpakketten die minder gevoelig zijn voor erosie zijn in de ondergrond van de gehele Westerschelde aanwezig. Op sommige locaties zijn deze lagen in het veld zichtbaar (figuur 6.12). Deze 'harde lagen' eroderen minder snel dan het recent (in de afgelopen honderden jaren) afgezette zand en slib. De oorzaak en de mate van de erosiebestendigheid verschilt per laag en dit heeft te maken met de sedimentsamenstelling en de ouderdom van het materiaal.

De aanwezigheid van erosiebestendige lagen heeft lokaal de ontwikkeling van de Westerschelde op verschillende manieren beïnvloed. Directe invloed is opgetreden, omdat:

- De 'harde lagen' de vorming van geulen hebben bemoeilijkt, omdat de geulen zich eerst in moeten snijden in de ondergrond;
- De verplaatsing van geulen wordt beperkt, omdat de geulen deze natuurlijke oeververdediging moeten eroderen;
- De diepte van insnijden van de geulen beperkt wordt door de harde lagen.

Indirecte invloed treedt op doordat de vorm van de geul mede wordt bepaald door de harde lagen. Wanneer geulen moeilijk de diepte in kunnen vanwege de aanwezigheid van erosiebestendige afzettingen zal de geul relatief breder moeten worden om het benodigde doorstroomoppervlak te behalen. En omgekeerd, wanneer de geul aan de zijkant wordt gehinderd door de aanwezigheid van een erosiebestendige afzetting, dan zal het benodigde doorstroomoppervlak worden bereikt door dieper in te snijden.



Figuur 6.12: Veenklif bij op de rand van het slik, op de overgang van slik naar de Overloop van Hansweert (Knuitershoek).

Vanwege de invloed die de 'harde lagen' hebben op de ontwikkeling van de geulen bepalen ze mede de aanwezigheid en de ontwikkeling van de platen. De 'bewijslast' voor het effect van erosiebestendige afzettingen op de morfologie van de Westerschelde is bijzonder lastig, omdat de sporen van het effect worden opgeruimd tijdens de ontwikkeling. Daar waar een formatie of laagpakket de verplaatsing of verdieping in het verleden heeft beperkt ontbreekt deze tegenwoordig.

Op verschillende plaatsen is de ontwikkeling van geulen beïnvloed door de aanwezigheid van moeilijk erodeerbare lagen. Een voorbeeld is de knik in het dwarsdoorsnede van de noordoever van de Honte bij Vlissingen en Borssele (figuur B1.26), die waarschijnlijk het gevolg is van de aanwezigheid van dikke deels verkitte schelpenbanken uit de Formatie van Oosterhout ("craggs"). De maximale insnijdingdiepte van de Bocht van Walsoorden wordt mogelijk beperkt door de aanwezigheid van dezelfde Formatie van Oosterhout (figuur B4.21). Onder de slikken van de oevers van het midden en oosten van de Westerschelde zijn vaak veenlagen en onderliggende oudere pakketten aanwezig (figuur 6.12). Deze lagen hebben in het verleden waarschijnlijk de migratie van de geulen vertraagd. In de bijlagen zijn verschillende andere voorbeelden gepresenteerd waar 'harde lagen' de ontwikkeling van de morfologie van de Westerschelde beïnvloed hebben.

Aanwijzingen voor de aanwezigheid van 'harde kernen' van moeilijk erodeerbare lagen direct onder de plaatcomplexen zijn niet gevonden. De verplaatsing van de hoofd- en nevengeulen heeft de ooit aanwezige lagen grotendeels opgeruimd.

Voor bepaalde vermoedens biedt de beschikbare dataset geen uitsluitel. Het is bijvoorbeeld goed mogelijk dat de eb- en vloedscharen van de Spijkerplaat een beperkte diepte hebben door de aanwezigheid van een of meerdere erosiebestendige lagen in het laagpakket van Walcheren. Dit onderscheidt kan met de huidige gegevens niet worden gemaakt. Ook is de geologische data nooit volledig, omdat deze door interpolatie vanuit een beperkt aantal boringen wordt gegenereerd. Het is daarom nooit uit te sluiten dat in werkelijkheid in bepaalde gebieden toch wel of toch geen erosiebestendige lagen aanwezig zijn.

6.8 Storten en baggeren van sediment en de ontwikkeling van de platen

Voor elke macrocel is de ontwikkeling van de morfologie naast de onttrekkings- en stortlocaties en bagger- en stortvolumes gelegd om de mogelijke relatie tussen beiden te achterhalen. Hierbij is speciaal aandacht besteed aan de ontwikkeling van de plaatcomplexen. Slechts in enkele gevallen is er een mogelijk verband gevonden tussen de ontwikkeling van de platen en de stortvolumes. De toename van het sedimentvolume van de Platen van Valkenisse is mogelijk deels gerelateerd aan de storting van sediment in de Schaar van Waarde. De toename van het sedimentvolume van de Platen van Baarland is mogelijk gekoppeld aan het storten van sediment in het Middelgat.

Tussen onttrekkingen in de nabijheid van de platen en de ontwikkelingen van de platen lijkt geen direct verband te zijn. Direct naast de baggerlocatie tussen het Zuidergat en Put van Hansweert, waar in totaal $102 \times 10^6 \text{ m}^3$ sediment is onttrokken in de periode 1959 tot 2004 is de plaat van Ossensisse groter en hoger geworden. Van een directe uitwisseling van sediment tussen geul en de aangrenzende plaat lijkt geen sprake te zijn.

Waar delen van de slikken en platen zijn gebaggerd ten bate van de verruiming van de vaargeul is het areaal plaat en slik afgenomen.

De bagger-, zandwin- en stortactiviteiten hebben mogelijk wel indirecte effecten op de ontwikkeling van de plaatcomplexen door de invloed op de grootschalige waterbeweging in de Westerschelde. De afname van het aantal kortsluitgeulen en vloed- en ebscharen dat de platen insteekt is mogelijk een gevolg van de veranderingen in de waterbeweging. Deze morfologische veranderingen hebben op hun beurt mogelijk effecten op de ontwikkeling van de platen, zoals hiervoor is beschreven.

7 Synthese: Een conceptueel model voor de ontwikkeling van de platen in de Westerschelde

In hoofdstuk 5 is de ontwikkeling van de morfologie in de periode 1959 tot 2004 beschreven. De meest in het oog springende veranderingen in de Westerschelde die in de voorgaande hoofdstukken zijn genoemd zijn: het hoger en droger worden van de plaatcomplexen van de Westerschelde en de afname van het aantal kortsluitgeulen en vloed- en ebscharen (ondiepwater). Deze afname is ook zichtbaar in de afname van het aantal platen per plaatcomplex en in de afname van de grilligheid van de waterlijn; en de veranderingen in de ligging en de toename van de grootte van de geulen.

In hoofdstuk 6 is een analyse gemaakt van deze ontwikkelingen. De afname van het ondiepwater lijkt de sturende factor te zijn voor de ontwikkeling van de platen. Deze afname is weer gerelateerd aan de ontwikkelingen van de geulen en de waterbeweging in het estuarium.

In dit hoofdstuk worden observaties en analyse gecombineerd in een conceptueel model van de vermoedelijke sturende fysische factoren achter de morfologische ontwikkeling van de platen in de Westerschelde.

1. In de morfologische ontwikkelingen is de grootschalige verandering van het patroon en de grootte van de geulen in de afgelopen tweehonderd jaar sturend. Met de verandering van het geulpatroon is de stroming in toenemende mate geconcentreerd in de hoofdgeul van de Westerschelde. De geuldynamiek is daarbij afgenomen. Dat wil zeggen dat de steeds minder vloed- en ebscharen en kortsluitgeulen aanwezig zijn.

2. De platen (en vroeger waarschijnlijk ook de slikken) worden in de ontwikkeling van hun hoogte en in hun aaneengeslotenheid gehinderd door de aanwezigheid en de verplaatsing van kortsluitgeulen en vloed- en ebscharen. De laterale verplaatsing van (kort)sluitgeulen door de plaatcomplexen leidt tot een regeneratie van de platen (afbraak aan de ene kant en opbouw aan de andere kant). De balans tussen de opbouw en de afbraak van de plaatcomplexen is het gevolg van de lokale asymmetrie in de aanvoer en afvoer van sediment naar en van de plaat⁴.

3. Uit de ontwikkelingen die zijn geschetst bij 1 en 2 volgt dat de platen hoger en meer aangesloten worden. Deze verandering is het directe gevolg van de afname van het aantal kortsluitgeulen en vloed- en ebscharen en die afname is weer het gevolg van de veranderingen van het geulenpatroon. Met het hoger worden van de platen worden de kleine getijdekommen die op de platen liggen, opgevuld met sediment. Lokale drainagegeulen die van de plaat afstromen verliezen daarmee hun aandrijvende kracht en verdwijnen. Hierdoor neemt de afvoer van sediment vanaf de plaat verder af. Het hoger worden van de platen versterkt zichzelf op deze wijze.

⁴ Als illustratie kan de opbouw en afbraak van de Hinderplaat in de Haringvlietmonding worden genoemd. Na de afsluiting van de Haringvliet is het relatieve belang van de opbouwende krachten (de golfwerking) toegenomen ten opzichte van de afbrekende en opbrekende krachten (de getijstroming). De Hinderplaat is daardoor hoger en meer aangesloten geworden. Na aanleg van het baggerspeciedepot de Slufter is het relatieve belang van de opbouwende krachten weer afgenomen, door de afscherpende werking van de Slufter. De Hinderplaat is daardoor weer opgebroken in een aantal lossen platen en de hoogte is afgenomen. Deze ontwikkeling is een equivalent voor de platen in de Westerschelde, waarbij moet worden aangetekend dat de sedimenttransportprocessen in de beide gevallen verschillen.

Het aandrijvende mechanisme voor de ontwikkeling van de platen ligt dus in de lange termijn (honderden jaren) verandering van de geulen. De factoren die bepalend zijn voor de grootschalige lange termijn veranderingen van de geulen zullen hieronder worden toegelicht.

1 De ontwikkeling van het geulenstelsel en van de grootschalige waterbeweging

De factoren die de ligging en de ontwikkeling van de geulen hebben bepaald zijn de natuurlijke dynamiek, inpolderingen en afdammingen, het aanbrengen van bestortingen en het baggeren van de geulen en drempels. Deze factoren worden hieronder toegelicht, waarbij de factoren die de langste periode beslaan (eeuwen) voorop staan. Deze volgorde is dus geen hiërarchie van het belang van de verschillende factoren.

- De inpolderingen en afdammingen hebben de zijtakken van de Westerschelde gaandeweg afgesloten, zodat het wijd vertakkende geulenstelsel is veranderd in het trechtersvormige geulenstelsel van vandaag.
- De natuurlijke dynamiek heeft geresulteerd in de erosie van de buitenbochten van de geulen en in het ontstaan van nieuwe kortsluitingen tussen geulen. De ontwikkeling van de Overloop van Hansweert in de periode van 1930 tot 1980 is het meest recente voorbeeld van een dergelijke kortsluiting.
- De bestortingen zijn met name aangebracht in de buitenbochten van de geulen op de plekken waar de menselijke activiteiten werden bedreigd door erosie. De buitenbochten van de geulen werden hierdoor vastgelegd langs de oevers van de Westerschelde. De bestortingen vormen een aantal 'ophangpunten' voor de geul.
- Het baggeren van de hoofdgeul en van de drempelgebieden tussen de geulen heeft geresulteerd in een doorgaande (vaar)geul. Met name in het oostelijke deel van de Westerschelde is de inhoud van de hoofdgeul toegenomen.

De wijze waarop het water bij vloed de Westerschelde inloopt en bij eb de Westerschelde uitloopt is veranderd door de andere vorm van het estuarium.

- De richting van de getijstrooming is geconcentreerd in de oost-west richting van het trechtersvormige estuarium.
- De getijstrooming is in toenemende mate gekoppeld aan de 'ophangpunten' die zijn ontstaan door de bestortingen.
- De getijstrooming is (met name in het oostelijke deel van de Westerschelde) geconcentreerd in de hoofdgeul, omdat:
 1. Hier meer ruimte (in de vorm van doorstroomoppervlak) beschikbaar is gekomen voor het accommoderen van de strooming.
 2. De aanstroming vanuit de ophangpunten meer geconcentreerd is in de hoofdgeul.

Het is niet mogelijk om de oorzaak en gevolg relaties in de bovenstaande opsomming van elkaar te onderscheiden, omdat de ontwikkelingen van de geulen en van waterbeweging sterk zijn gekoppeld (zie bijvoorbeeld de inleiding in 'estuarine morphodynamics' in Hibma, 2004). Wel kan worden vastgesteld dat de ontwikkelingen elkaar hebben versterkt. Het effect is grosso modo dat de waterbeweging in de afgelopen eeuwen steeds meer in de hoofdgeul is geconcentreerd. Het gevolg daarvan is een afname van het aantal vloed- en ebscharen en migrerende kortsluitgeulen.

Ook veranderingen buiten de Westerschelde, in de monding van de Westerschelde (Coosen et al, 2006, Steijn en Van der Spek, 2005) en in de Zeeschelde (Van Braeckel, 2007), hebben bijgedragen aan de veranderingen in de waterbeweging in de Westerschelde. De aanstroming vanuit de monding naar de Westerschelde is veranderd en getijvoortplanting en het getijvolume van de Zeeschelde is gewijzigd. Deze ontwikkelingen hebben de ontwikkelingen van de morfologie beïnvloed en hebben bijgedragen aan de concentratie van de stroming door de hoofdgeul.

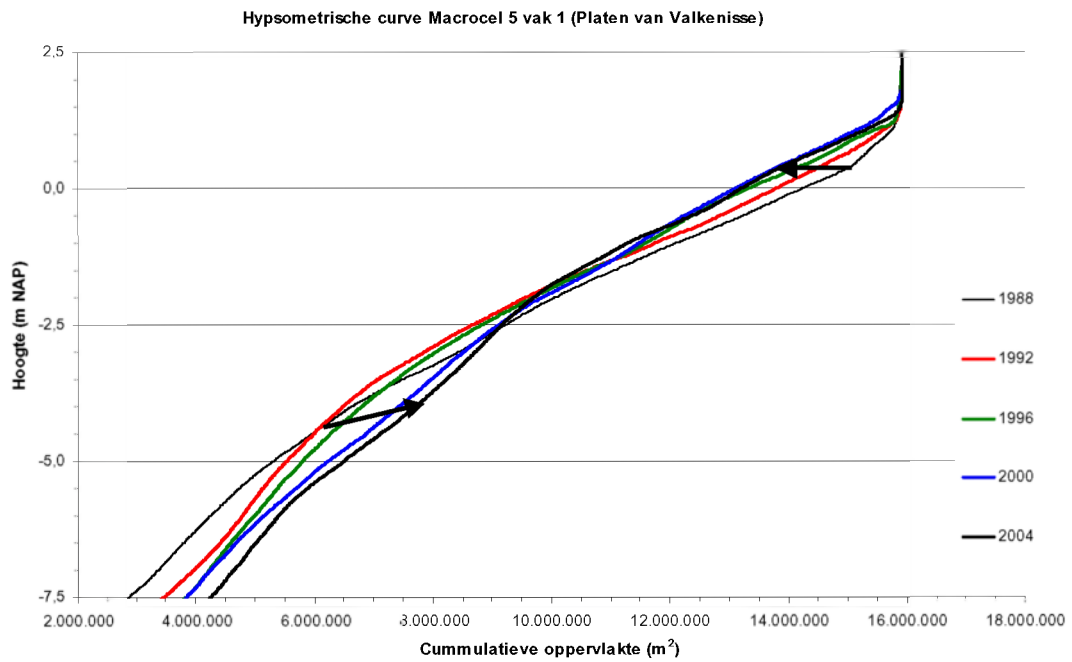
De in de geulwand aanwezige moeilijk erodeerbare lagen hebben de erosie in de buitenbochten op sommige locaties vertraagd. Verder hebben andere moeilijk erodeerbare lagen op sommige locaties waarschijnlijk bijgedragen aan het ontstaan van ontgrondingskuilen, doordat ze als een natuurlijke bestorting hebben gefungeerd.

2 De afname van de kortsluitgeulen en de vloed- en ebscharen

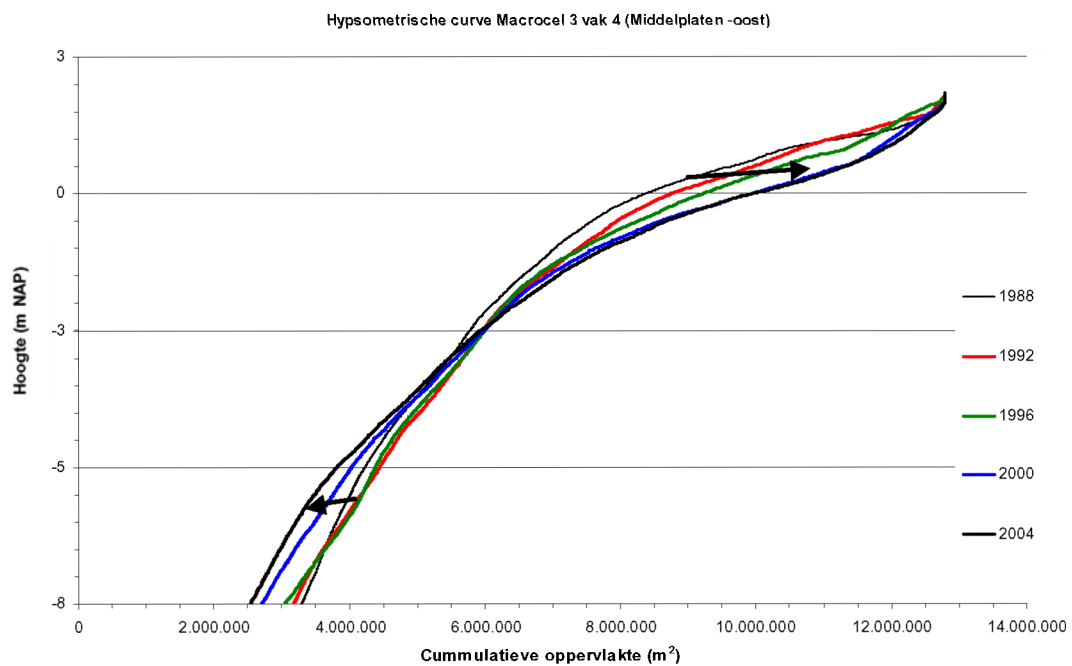
De grootschalige verandering van een wijdvertakt getijdebekken naar het trechtersvormige estuarium waarbij de stroming is geconcentreerd in de hoofdgeul, is waarschijnlijk de oorzaak voor de veranderingen in de plaatcomplexen. Het aantal kortsluitgeulen door de plaatcomplexen en het aantal vloed- en ebscharen op de drempels en naar de platen is afgenomen. Dit is geïllustreerd met de verandering van de hyposmetrische curve van de Plaat van Valkenisse (figuur 7.1), waarin de achteruitgang van het areaal onder NAP –2 meter duidelijk zichtbaar is. De kortsluitgeulen en vloed- en ebscharen samen vormen het grootste aandeel van het areaal ondiepwater. De afname van het areaal ondiepwater is feitelijk de afname van het aantal kortsluitgeulen en vloed- en ebscharen.

In Van den Berg et al (1996) zijn vier mechanismen benoemd die verantwoordelijk zijn voor de aanwezigheid van kortsluitgeulen en vloed- en ebscharen. Deze mechanismen zijn het verschil in reisduur van de getijgolf door de ene en de andere geul, centrifugaal krachten, coriolis krachten en het verlies van impuls. In Swinkels (2006) zijn naast deze primaire mechanismen twee secundaire effecten benoemd. Deze secundaire mechanismen treden op omdat binnen de geul lokale waterstandsverhagen optreden die afhankelijk zijn van de bochtwerking van de geul. De orde van grootte van de drie belangrijke hoofdmechanismen en de secundaire mechanismen is vergelijkbaar. Het verlies van impuls blijkt geen belangrijke bijdrage te leveren aan de instandhouding van de kortsluitgeulen en vloed- en ebscharen.

De geobserveerde afname van de kortsluitgeulen in de macrocellen 5 (rondom de Platen van Valkenisse) en 7 (de Pas van Rilland) wordt in Swinkels (2006) gerelateerd aan het baggeren in de hoofdgeulen en het storten in de nevengeul. De ingrepen hebben geresulteerd in het afnemen van het verhang tussen de hoofd- en de nevengeul. Met deze afname is de grootte van de primaire en secundaire aandrijfmechanismen voor de kortsluitgeulen en eb- en vloedscharen afgenomen. Hierboven is geconstateerd dat de veranderingen in de waterbeweging zijn terug te voeren op een groot aantal langjarige veranderingen in de morfologie van de Westerschelde. Waarschijnlijk is de afname van het aantal kortsluitgeulen en vloed- en ebscharen daarom niet alleen gekoppeld aan de bagger- en stortinspanningen in de geulen, maar ook aan de andere lange termijn (eeuwen) veranderingen in de morfologie en waterbeweging van de Westerschelde.



Figuur 7.1: Hypsometrische curve (cumulatieve areaal per hoogte) van de Plaat van Valkenisse (vak 1 in macrocel 5, zie figuur B4.2 voor de locatie).



Figuur 7.1: Hypsometrische curve (cumulatieve areaal per hoogte) van de oostelijke Middelplaat (vak 4 in macrocel 3, zie figuur B2.2 voor de locatie).

3 De toename van de hoogte van de platen

De plaatcomplexen in de Westerschelde zijn hoger geworden, zowel ten opzichte van een vast referentieniveau als ten opzichte van het veranderende laagwaterniveau. De platen zijn daarmee ook droger geworden. Ook deze ontwikkeling wordt geïllustreerd met de verandering van de hyposmetrische curve van de Plaat van Valkenisse (figuur 7.1), waarin de toename van het areaal boven NAP -2 meter kan worden herkend. De uitzondering op deze ontwikkeling wordt gevormd door het Middelpaatcomplex, zoals duidelijk wordt in de hyposemetrische curves van de oostelijke Middelpaat in figuur 7.2. Het Middelpaatcomplex is ook het plaatcomplex waar het aantal kortsluitgeulen en eb- en vloedsharen niet is afgenomen. De afwijkende ontwikkeling van het complex is het directe gevolg van het in stand blijven van de vloedgeul (Everingen) in macrocel 3.

Het gelijk opgaan van het hoger worden van de platen en de afname van het aantal kortsluitgeulen is waarschijnlijk niet toevallig. Onze veronderstelling is dat de aanwezigheid van kortsluitgeulen en eb- en vloedshartjes die de platen insteken een sleutelrol spelen in de afvoer van sediment van de platen. De balans tussen de sedimentaanvoer en -afvoer naar en van de plaat wordt waarschijnlijk mede bepaald door de aanwezigheid van de vloed- en ebschaartjes en kortsluitgeulen. Met het afnemen van dit ondiepwater areaal is de balans verschoven naar een afgenomen afvoer van sediment. Deze verschuiving in de balans resulteert in het hoger worden van de platen.

Het geschetste conceptuele model is met name bruikbaar om de ontwikkeling van de plaatcomplexen te beschrijven. De balans tussen de sedimentaanvoer en -afvoer van en naar de slikken zal in theorie via dezelfde mechanismen totstandkomen als voor de platen, zoals is beschreven in paragraaf 6.5. In de praktijk wordt de ontwikkeling van de slikken tegenwoordig met name bepaald door aanwezigheid van geulwandbestortingen langs de plaatranden. Het areaal van de slikken is hierdoor voor een belangrijk deel stabiel.

Resumerend

In het conceptuele model voor de ontwikkeling van de platen is de afname van het aantal kortsluitgeulen en vloed- en ebscharen de sturende factor. Deze afname heeft geresulteerd in een toename van de sedimentatie op platen die daardoor hoger en relatief droger zijn geworden. De aanwezigheid van de kortsluitgeulen en vloed- en ebscharen is gekoppeld aan de waterbeweging in de geulen. Daarmee is de ontwikkeling van het ondiepe water gekoppeld aan de verschillende factoren die de ontwikkeling van de geulen en de waterbeweging bepalen. De veranderingen in de grootte en het patroon van de geulen en in de waterbeweging zijn al enkele eeuwen aan de gang.

Het conceptuele model betreft de morfologische ontwikkelingen van de platen en het ondiepe water. De ecologische effecten volgen uit de ontwikkelingen van de morfologie. De consequenties die voortkomen uit dit conceptuele model voor de beoordeling van de verschillende stortscenario's, worden in het volgende hoofdstuk benoemd.

8 De ontwikkeling van de (vereenvoudigde) ecotopen in de Westerschelde

8.1 Inleiding

In de hoofdstukken 5 en 6 en in de bijlagen 1 tot en met 5 zijn de morfologische ontwikkeling op meso-schaal beschreven. In het voorgaande hoofdstuk is een conceptueel model gepresenteerd dat een verklaring geeft voor de morfologische ontwikkelingen van de platen. In dit hoofdstuk worden de ecologische consequenties van de morfologische ontwikkelingen van de platen in beeld gebracht aan de hand van de vereenvoudigde ecotopen kaarten. In bijlage 8 zijn de beschikbare ecotopenkaarten voor de Westerschelde weergegeven voor de jaren 1959, 1965, 1977, 1988, 1996, 2001 en 2004. In de bijlage per macrocel staat steeds een korte beschrijving van de ontwikkeling van de ecotopen, inclusief de grafieken met de arealen per vak (plaatcomplexen en slikken en schorgebieden, figuur 4.2). De belangrijkste veranderingen in de ecotopen per plaatcomplex worden in dit hoofdstuk genoemd, de ontwikkelingen van slikken en schorren worden beschreven en de ontwikkelingen voor de gehele Westerschelde worden gepresenteerd.

8.2 De ecotopen op de plaatcomplexen.

De ontwikkelingen van de ecotopen verschillen per plaatcomplex. Dat is niet verwonderlijk, omdat ook de morfologische ontwikkeling per plaatcomplex duidelijk anders verloopt en deze ontwikkelingen direct zijn gekoppeld. In figuur 8.1 tot en met 8.3 zijn de drie veranderingen weergegeven die tezamen de belangrijkste ontwikkelingen van de ecotopen op de platen beschrijven. Deze drie ontwikkelingen zijn de afname totale plaatareaal in de Westerschelde sinds 1977 (figuur 8.1), de absolute (ten opzichte van NAP) en relatieve (ten opzichte van de GLMWS) toename van de hoogte (relatieve ontwikkeling weergegeven in figuur 8.2) en de relatieve toename van het hoogdynamische areaal ten koste van het laagdynamische areaal (figuur 8.3). In deze figuren is zowel de ontwikkeling per plaatcomplex weergegeven, als de optelsom voor alle platen in de Westerschelde.

De belangrijkste ontwikkelingen per plaatcomplex zijn:

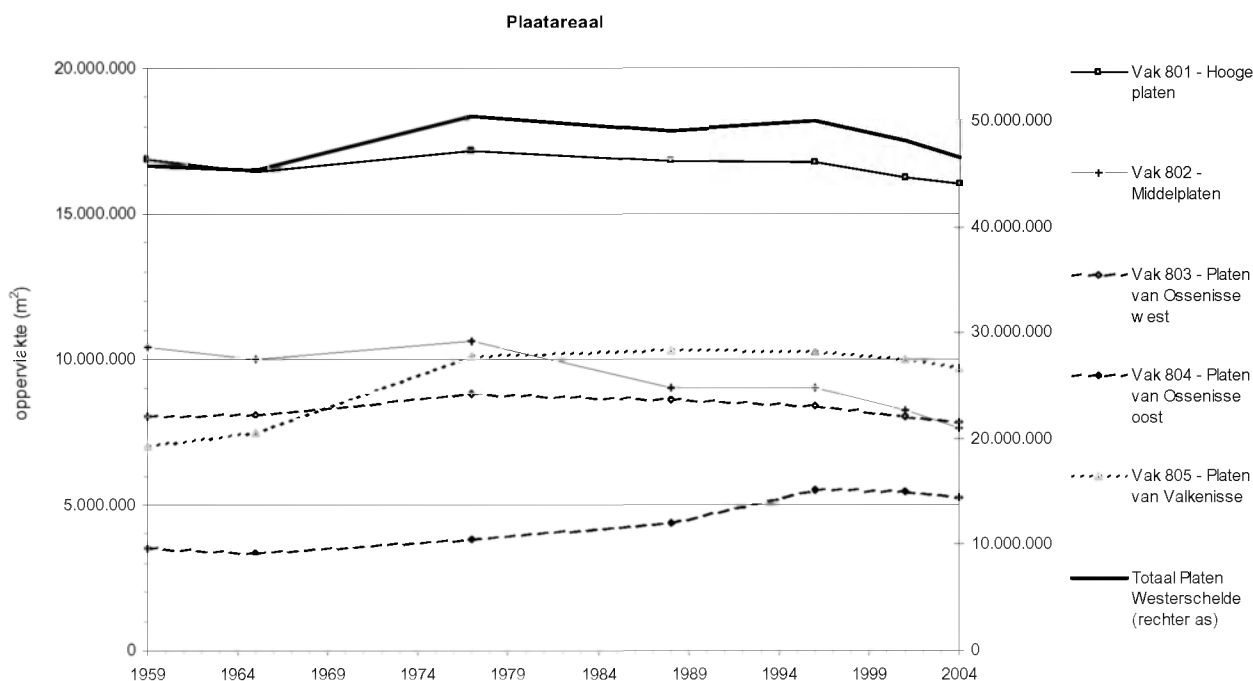
- Op de Hooge platen zijn de totale gecombineerde arealen van de ecotopen absoluut en relatief stabiel. Wel is de Hooge plaat hoger geworden, zodat steeds meer areaal in de hoge droogvalklassen valt. Het areaal in de klasse laagdynamische plaat midden (30%-70% droogvallen) is afgenomen van ruim 550 ha (in 1959) tot ruim 400 ha (in 2001) (zie ook figuur B1.12 in bijlage 1).
- Het totale areaal van de Middelpalten is afgenomen van 1.060 ha in 1977 tot 765 ha in 2004. De hoogte van de Middelpalten is slechts weinig veranderd. Het percentage hoogdynamische plaat is toegenomen van 49% (in 1988) tot 57% in 2004. Het areaal in de klasse laagdynamische plaat midden (30%-70% droogvallen) is afgenomen van ruim 400 ha (in 1977) tot ruim 220 ha (in 2004) (zie ook figuur B2.16 in bijlage 2).

De ontwikkelingen van de westelijke helft van de platen van Ossenisse verschillen sterk van de ontwikkelingen van de oostelijke helft en deze worden daarom afzonderlijk beschreven.

- Het areaal van de westelijke platen van Ossenisse is afgenomen van het maximum van 880 ha in 1977 tot 786 ha in 2004. Op de westelijke platen vormen de hoge delen slechts een zeer beperkt deel van het areaal en verandert weinig. Het percentage hoogdynamische plaat is afgenomen

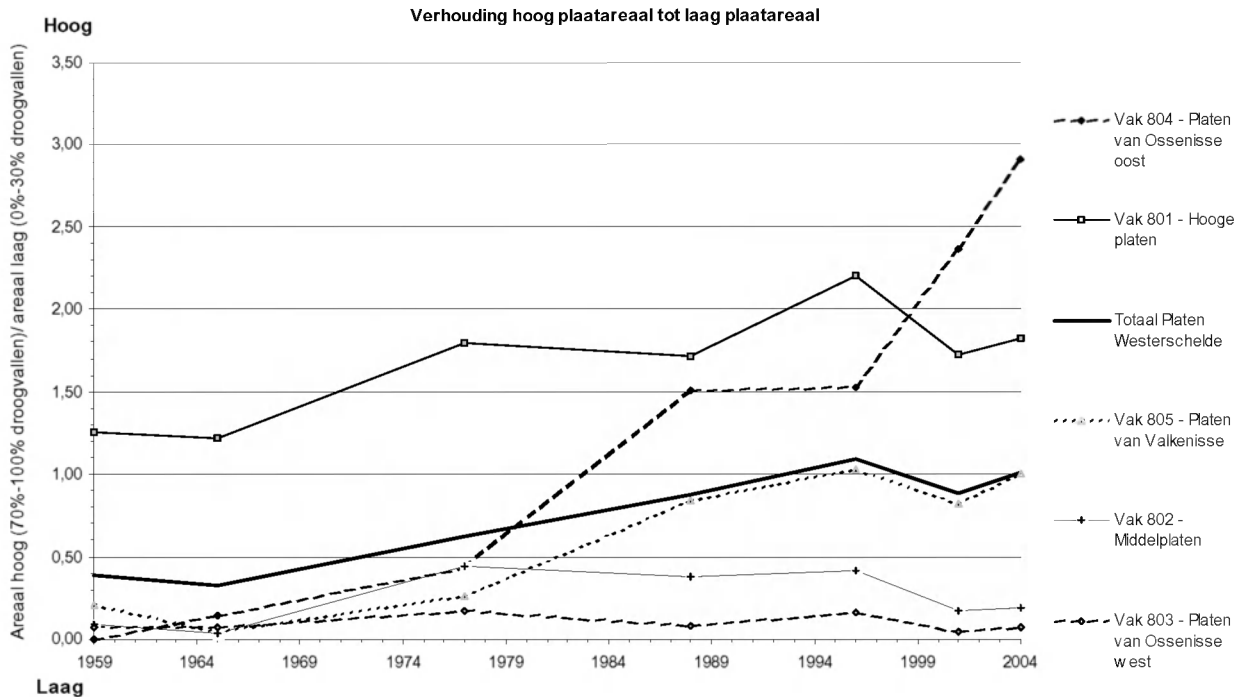
van 65% in 1959 tot 39% in 1977 en daarna weer toegenomen tot 64% in 2004. Het areaal in de klasse laagdynamische plaat midden (30%-70% droogvallen) is afgenomen van ruim 350 ha (in 1977) tot een kleine 230 ha (in 2004) (zie ook figuur B3.20 in bijlage 3).

- De oostelijke platen van Ossensisse zijn in oppervlakte toegenomen van een kleine 340 ha in 1965 tot een maximum van bijna 550 ha in 1996. De hoogte van de plaat is daarbij flink toegenomen, in 1959 was sprake van slechts 0,4 ha in de klasse 70% tot 100% droogvallen en dit was 234 ha in 2004. Het percentage hoogdynamische plaat is afgenomen van 93% in 1959 tot 62% in 1996 en daarna weer toegenomen tot 79% in 2004. Het areaal in de klasse laagdynamische plaat midden (30%-70% droogvallen) is gedurende de gehele onderzoeksperiode klein, met een minimum van ruim 14 ha (in 1988) en een maximum van een kleine 49 ha (in 1996) (zie ook figuur B3.27 in bijlage 3).
- Het totale areaal van de Platen van Valkenisse is toegenomen van 700 ha in 1959 tot bijna 1.030 ha in 1988 en weer iets afgenomen tot ruim 970 ha in 2004. Ook de hoogte van de plaat is toegenomen, in 1959 was sprake van bijna 50 ha in de klasse 70% tot 100% droogvallen en dit was bijna 250 ha in 1988. Het percentage hoogdynamische plaat is snel toegenomen van 32% in 1959 tot 72% in 1977 en schommelt daarna rond de 63 %. Het areaal in de klasse laagdynamische plaat midden (30%-70% droogvallen) is afgenomen van ruim 310 ha (in 1959) tot 130 ha (in 1977) en varieert sindsdien tussen de 135 ha en 170 ha (zie ook figuur B4.11 in bijlage 4).

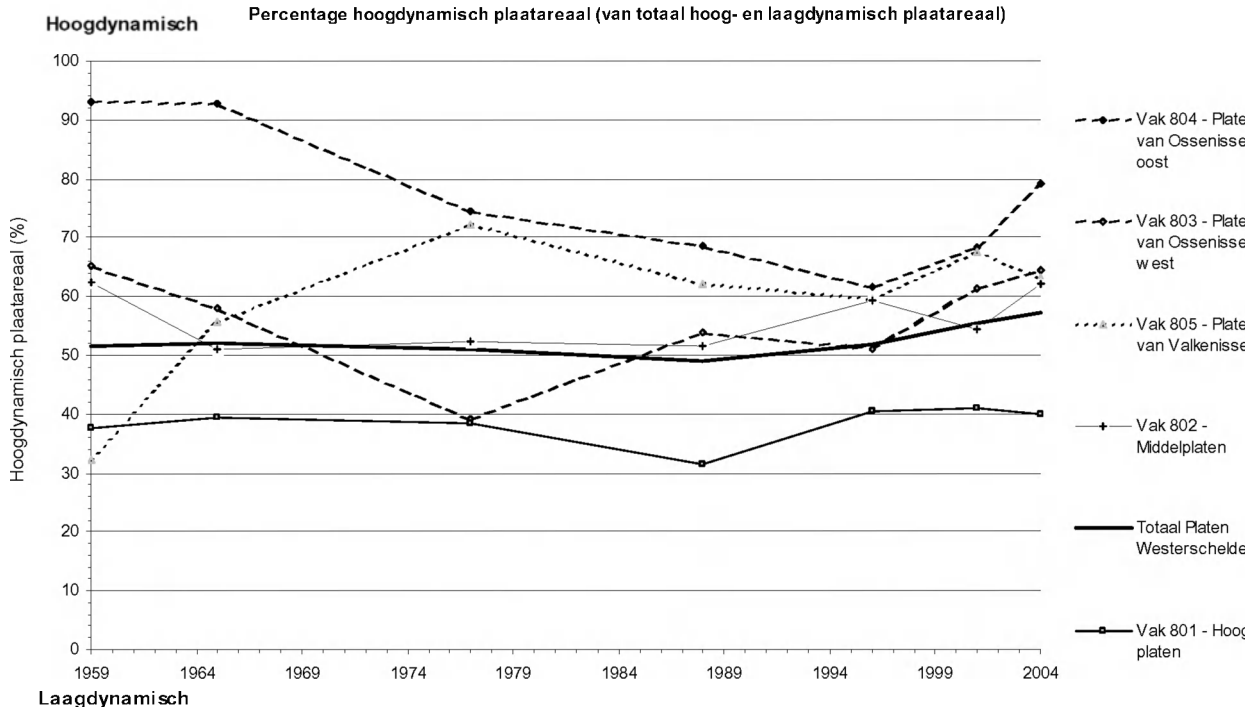


Figuur 8.1: Grafiek met het areaal per de plaatcomplexen (linker as) en voor de gehele Westerschelde (rechter as).

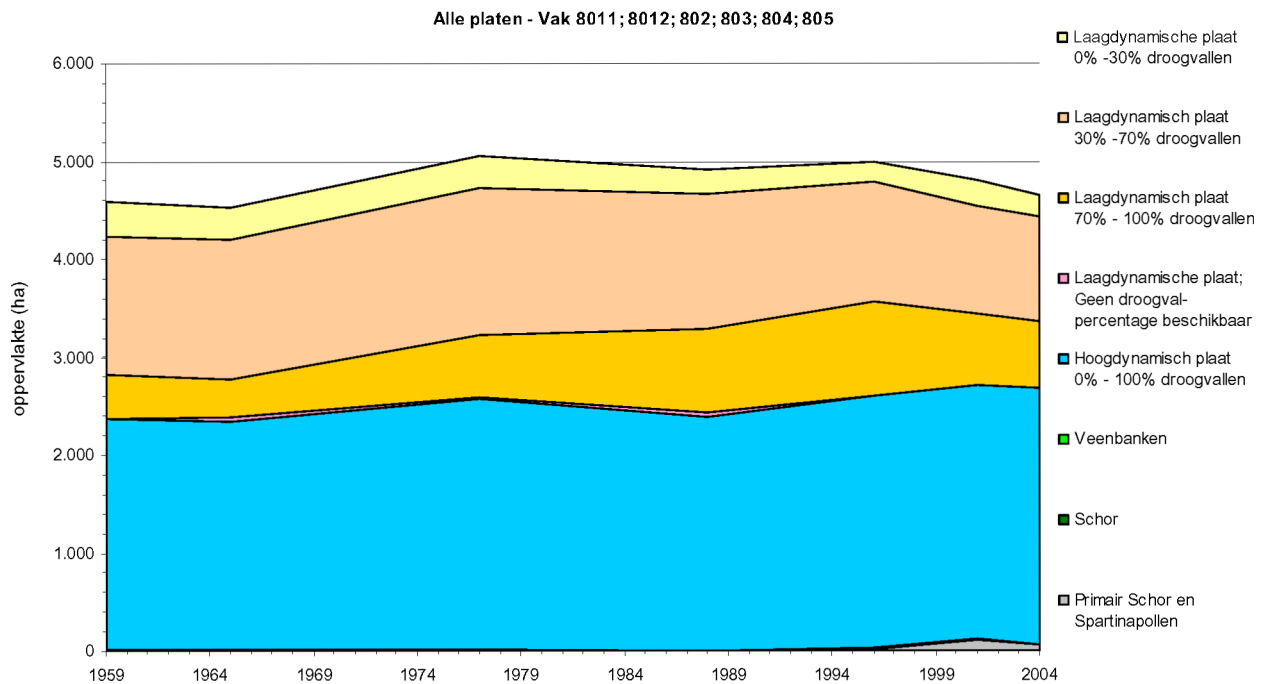
De optelsom van de ontwikkeling van de ecotopen per plaatcomplex is weergegeven in figuur 8.4. In deze figuur is een toename zichtbaar van het totale plaatareaal tot een maximum van bijna 5100 ha in 1977 die wordt gevolgd door een afname tot 4650 ha in 2004. De toename is vooral toe te schrijven aan de toename van het oppervlakte van de Platen van Valkenisse met bijna 300 ha tot 1977.



Figuur 8.2: Grafiek met de verhouding tussen het hoge plaatareaal (droogvalpercentage 70% - 100%) en het lage plaatareaal (droogvalpercentage 0% - 30%) als maat voor de ontwikkeling van de hoogte van de platen en de gehele Westerschelde.



Figuur 8.3: Grafiek met het percentage dat het hoogdynamische plaatareaal uitmaakt van het totale hoog- en laagdynamische plaatareaal voor de plaatcomplexen en de gehele Westerschelde.

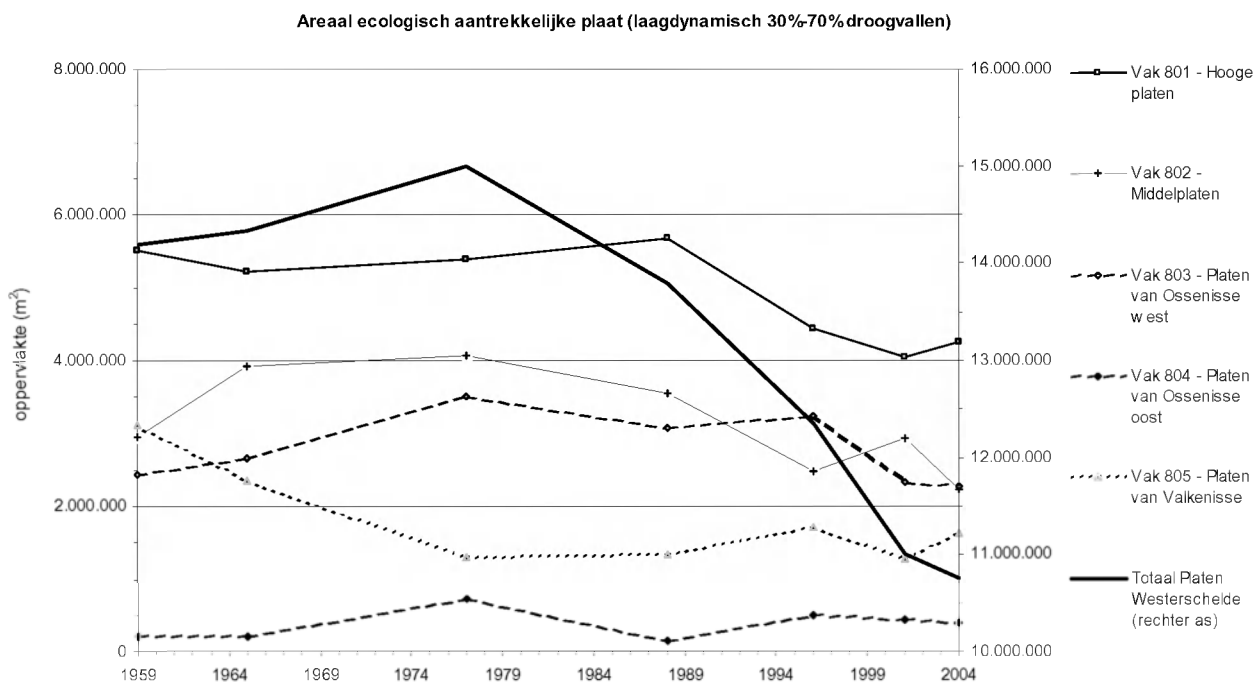


Figuur 8.4: Grafiek met het areaal per ecotopenklasse voor alle platen in de Westerschelde.

De verdeling over de verschillende klassen verandert in de loop van de jaren. Tot en met 1988 neemt het areaal hoogdynamische plaat enigszins af, van rond de 52% in 1959 en 1965 tot 49% en neemt het areaal laagdynamische plaat toe. Na 1988 neemt het areaal hoogdynamische plaat toe tot 57%. De hoogdynamische platen vormen een minder aantrekkelijke vestigings- en standplaats voor bodemfauna. De relatieve toename van het areaal hoogdynamische plaat is daarom ecologisch gezien geen gunstige ontwikkeling.

Het areaal laagdynamische plaat bestaat is onderverdeeld in laag (0%-30% droogvallen), midden (30%-70% droogvallen) en hoog (70%-100% droogvallen). De laagdynamische plaat midden (30%-70% droogvallen) is ecologisch het meest aantrekkelijke ecotoop in de Westerschelde. De aantrekkelijkheid voor steltlopers bestaat uit relatief goede leefomstandigheden voor hun voedsel (bodemdieren) en voldoende tijd om te foerageren. De ontwikkeling van het areaal in de klasse laagdynamische plaat midden (30%-70% droogvallen) voor alle plaatcomplexen tezamen is weergegeven in figuur 8.5. Het areaal vertoont een toename van 1420 ha in 1959 tot bijna 1500 ha in 1977. Na 1977 neemt het areaal af tot 1075 ha in 2004. Dit is een afname van 28% ten opzichte van het maximum. In figuur 8.5 zijn de verschillende ontwikkelingen weergegeven van het laagdynamische areaal per plaatcomplex. De verandering in de gehele Westerschelde bestaan uit de optelsom van de toe- en afnamen per complex.

Bij de constatering dat het ecologisch meest aantrekkelijke areaal is afgenomen sinds 1977 hoort de kanttekening dat de klassen die de plaats van het de laagdynamisch areaal midden hebben ingenomen weliswaar minder mogelijkheden bieden voor bodemdieren en daarop foeragerende vogels, maar dat hun ecologische waarde niet nul is. Wel kan worden vastgesteld dat de kwaliteit van de platen voor foeragerende steltlopers in de Westerschelde is afgenomen, zoals eerder is geconstateerd in Alkyon (2006).



Figuur 8.5: Grafiek met het areaal laagdynamische plaat midden (30%-70% droogvallen) per plaatcomplex (linker as) en voor de gehele Westerschelde (rechter as).

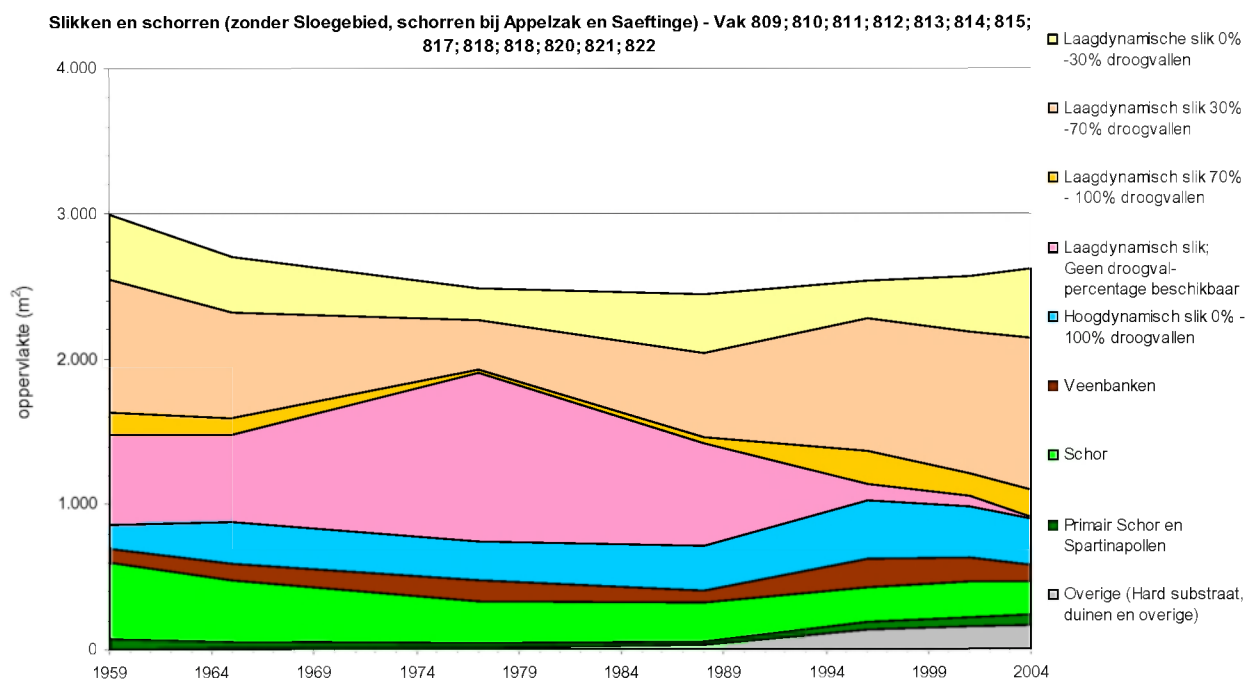
8.3 De ecotopen op de slikken en schorren

Per slikken- en schorregebied is sprake van andere ontwikkelingen van de ecotopen. In de bijlagen 1 tot en met 5 worden de ontwikkelingen per gebied weergegeven en kort beschreven. De optelsom van deze ontwikkelingen is weergegeven in figuur 8.6. Het Sloegebied en de slikken en schorren bij de Appelzak en Saeftinge laten we in dit overzicht buiten beschouwing, omdat de inpolderingen en functiewijzigingen in deze gebieden anders alle andere ontwikkelingen overvleugelen. De ontwikkeling in deze gebieden worden beschreven in Bijlage 1 (het Sloegebied) en bijlage 5 (de slikken en schorren bij de Appelzak). Ook voor de ontwikkelingen op het Het Land van Saeftinge wordt verwezen naar bijlage 5.

In vergelijking met de figuur van de ontwikkelingen van de arealen op de platen (figuur 8.4) valt in figuur 8.6 van de slikken en schorren de klasse 'laagdynamisch slik; geen droogvalpercentage beschikbaar' op. Deze klasse is in 1977 groter dan de andere laag- en hoogdynamische klassen tezamen en levert ook voor andere jaren tot 1996 een belangrijk aandeel in het totale areaal slikken. De aanwezigheid van deze klasse is het gevolg van het ontbreken van de bodemligging en daarmee de droogvalpercentages van delen van de slikken voor sommige jaren. De aanwezigheid van deze klasse, of eigenlijke het ontbreken van gebiedsdekkende hoogtegegevens, maakt het onmogelijk om te beoordelen op de hoogte van de laagdynamische slikken is veranderd. Dit compliceert de vertaling van de ontwikkelingen van de ecotopen op de slikken naar de ecologische consequenties daarvan.

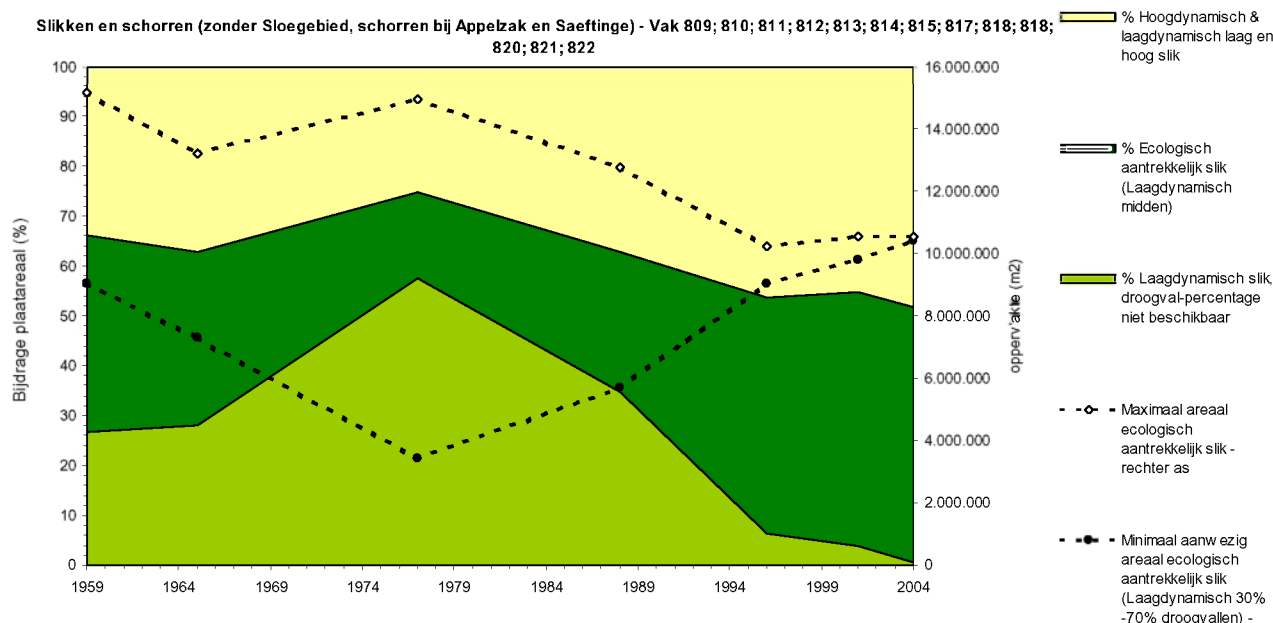
Het totale areaal van de slikken en schorren is afgenomen van bijna 3.000 ha tot ruim 2.400 ha in 1996. Na 1996 is een toename opgetreden tot bijna 2590 ha in 2004. Het areaal schor en primair schor in het totale areaal is afgenomen tot 1977 en schommelt sindsdien rond de 2.900 ha. In de geomorfologische kaarten is zichtbaar dat het areaal hoogdynamische slikken maximaal 22% van het totale areaal hoog- en laagdynamische slikken bedraagt in 1996. Dit percentage was veel lager in 1959 (namelijk 7%) en is weer afgenomen na 1996, tot 16% in 2004. Over de ontwikkelingen van

verdeling over de hoogtezones kunnen geen uitspraken worden gedaan vanwege het ontbreken van gegevens.



Figuur 8.6: Grafiek met het areaal per ecotopenklasse voor de slikken en schorren in de Westerschelde, met uitzondering van Sloegebied en de slikken en schorren bij de Appelzak en Saeftinge.

Op basis van de gegevens kunnen geen exacte uitspraken worden gedaan over ontwikkeling van het areaal laagdynamische slik midden (30% tot 70% droogvallen). Het areaal dat is weergegeven in figuur 8.7 geeft een minimum areaal weer. De grootte van de bijdrage uit het 'roze' gebied, waarvan de droogvalpercentages niet bekend zijn, aan het areaal laagdynamisch slik midden is onbekend. Het maximum areaal in de klasse bedraagt daarom de optelsom van het areaal laagdynamisch slik midden en het areaal laag- of hoogdynamisch slik; geen droogvalpercentage beschikbaar. Het minimum en het maximum areaal laagdynamische slik midden (30% tot 70% droogvallen) is weergegeven in figuur 8.7. De werkelijk opgetreden waarde voor het areaal laagdynamische slik midden zal ergens tussen het minimum en het maximum in liggen. Door het ontbreken van de gegevens is het niet mogelijk om vast te stellen of het ecologisch meest aantrekkelijke areaal is toe- of afgenomen.



Figuur 8.7: Grafiek met in kleur t.o.v. de linkeras de verdeling van het areaal slikken over de klasse laagdynamisch midden (droogvallen 30%-70%), alle andere laag- en hoogdynamische klassen met droogvalpercentages en de klasse laagdynamisch slik zonder droogvalpercentages. De lijnen geven t.o.v. de rechteras het minimale en het maximale areaal in de klasse laagdynamisch midden (droogvallen 30%-70%). Voor de slikken en schorren in de Westerschelde, zonder het Sloegebied, de slikken en schorren bij de Appelzak en Saeftinge.

8.4 De ontwikkeling van de ecotopen in de Westerschelde en de ecologische gevolgen

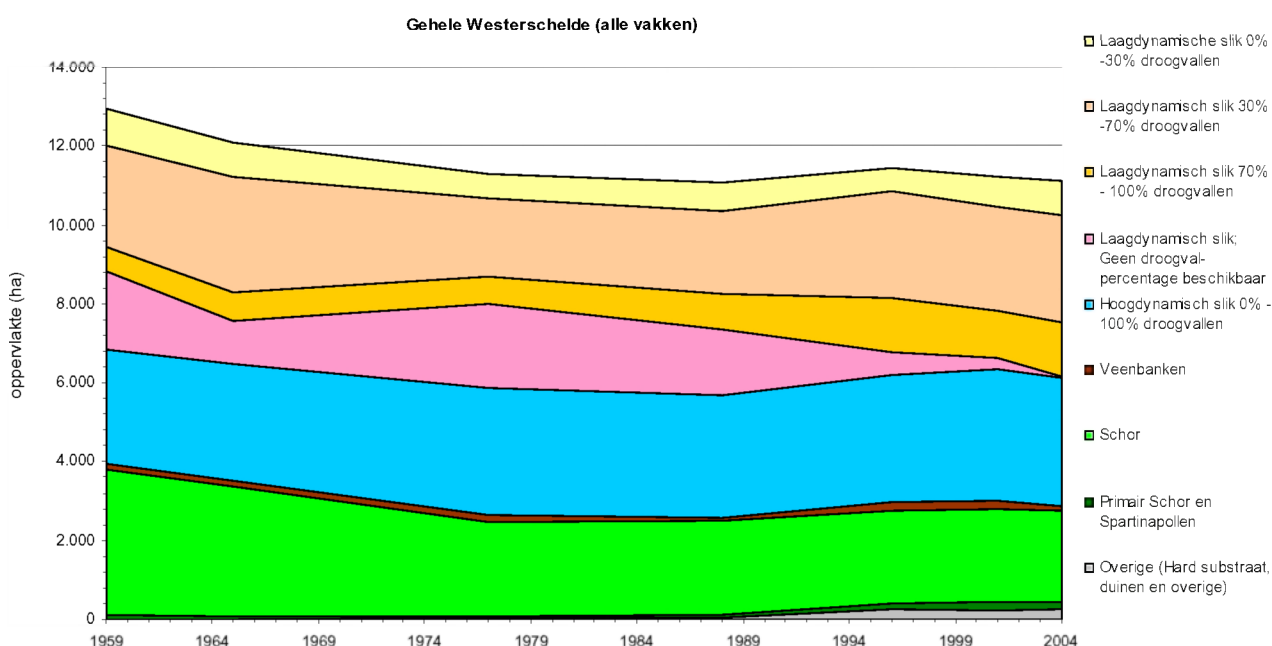
In de voorgaande paragrafen is duidelijk gemaakt dat de ontwikkelingen van de ecotopen per plaatcomplex verschillen. In deze paragraaf wordt een overzicht gepresenteerd van de ontwikkelingen van de ecotopen voor de gehele Westerschelde. De ontwikkelingen in het Sloegebied en de slikken en schorren bij de Appelzak en Saeftinge worden hierbij inbegrepen, zodat een compleet beeld ontstaat van de ontwikkelingen in de vereenvoudigde ecotopen van de Westerschelde. Dit is weergegeven in tabel 8.1 en in figuur 8.8

Het totale areaal van alle ecotopen bij elkaar is afgenomen van ruim 13.000 ha tot ruim 11.000 ha. Een belangrijk deel van deze afname betreft het areaal schorren (schor en primair schor) dat bijna 1.300 ha kleiner is geworden. Het areaal laag- en hoogdynamische slikken en platen, oftewel het onbegroeide intergetijdegebied, is afgenomen met bijna 900 ha. Een deel van het areaal schorren, slikken en platen is van karakter veranderd, onder andere door de aanleg van dammen en bestortingen, en valt nu in de categorie 'overige'.

De mogelijkheden voor de vestiging en het handhaven van bodemdieren op de slikken en platen zijn afgenomen door de afname van het areaal. De foerageer- en rustruimte op de platen, slikken en schorren is evenzeer afgenomen.

Tabel 8.1: Tabel met het areaal per ecotopenklasse *in hectaren* voor de gehele Westerschelde (platen, slikken en schorren inclusief het Slogebied, de slikken en schorren bij de Appelzak en Saeftinge)

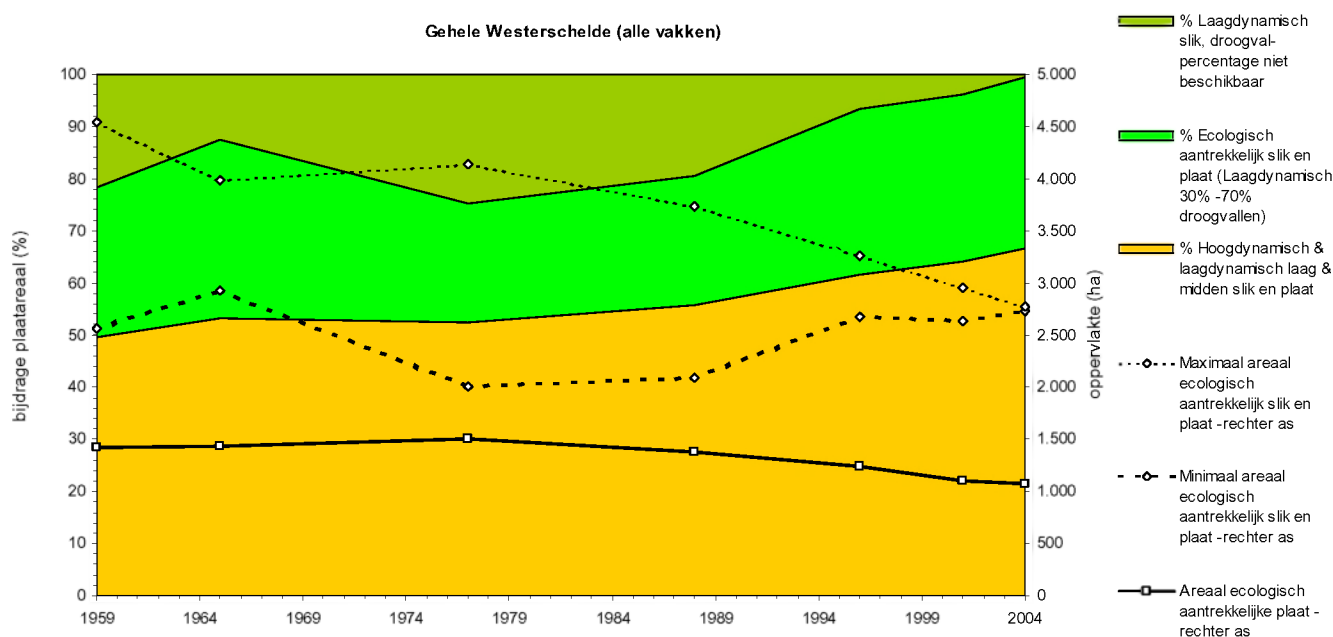
	1959	1965	1977	1988	1996	2001	2004
Laagdynamische slik laag 0% -30% droogvallen	946	886	635	737	589	757	870
Laagdynamisch slik midden 30% -70% droogvallen	2.567	2.927	2.001	2.094	2.681	2.634	2.729
Laagdynamisch slik hoog 70% - 100% droogvallen	618	710	669	890	1.406	1.195	1.353
Laagdynamisch slik; Geen droogval-percentag beschikbaar	1.969	1.106	2.139	1.693	574	315	38
Hoogdynamisch slik 0% - 100% droogvallen	2.920	2.944	3.219	3.080	3.218	3.314	3.254
Veenbanken	147	159	174	95	224	205	138
Schor	3.678	3.294	2.400	2.399	2.337	2.358	2.299
Primair Schor en <i>Spartinapollen</i>	106	52	48	40	143	215	193
Overige (Hard substraat, duinen en overige)	3	13	21	51	253	224	241
Totaal	13.043	12.268	11.397	11.191	11.501	11.348	11.251



Figuur 8.8: Grafiek met het areaal per ecotopenklasse *in hectaren* voor de gehele Westerschelde (platen, slikken en schorren inclusief het Slogebied, de slikken en schorren bij de Appelzak en Saeftinge).

Naast de afname van het areaal heeft een verschuiving plaatsgevonden binnen de platen van laagdynamische naar hoogdynamische plaat en van lage droogvalpercentages naar hoge droge droogvalpercentages. De ontwikkeling van het areaal in de klasse laagdynamisch slik en en plaat

midden (30% - 70% droogvallen) is als maat gebruikt voor de ecologische kwaliteit (figuur 8.9). De veranderingen op de platen hebben geresulteerd in een afname van deze klasse. De kwaliteit van de plaatgebieden voor bodemdieren en de hierop foeragerende steltlopers is dus waarschijnlijk minder geworden in de periode van 1959 tot 2004. Mogelijk heeft deze verandering zich ook voorgedaan op de slikken, maar er zijn niet voldoende gegevens beschikbaar om hier een uitspraak over te doen. Voor de Westerschelde als geheel betekent dit dat nog niet duidelijk is of er sprake is van een lichte toename van de kwaliteit voor bodemdieren en steltlopers van de slikken -en platen tezamen (van 2.567 ha in 1959 tot 2.729 ha in 2004) of een sterke afname (van 4.691 ha in 1959 tot 2.737 ha in 2004).



Figuur 8.9: Grafiek voor de gehele Westerschelde met in kleur t.o.v. de linkeras de verdeling van het areaal slikken over de klasse laagdynamisch midden (droogvallen 30%-70%), alle andere laag- en hoogdynamische klassen met droogvalpercentages en de klasse laag- en hoogdynamisch slik zonder droogvalpercentages. De lijnen geven t.o.v. de rechteras het minimale en het maximale areaal in de klasse laagdynamisch midden (droogvallen 30%-70%).

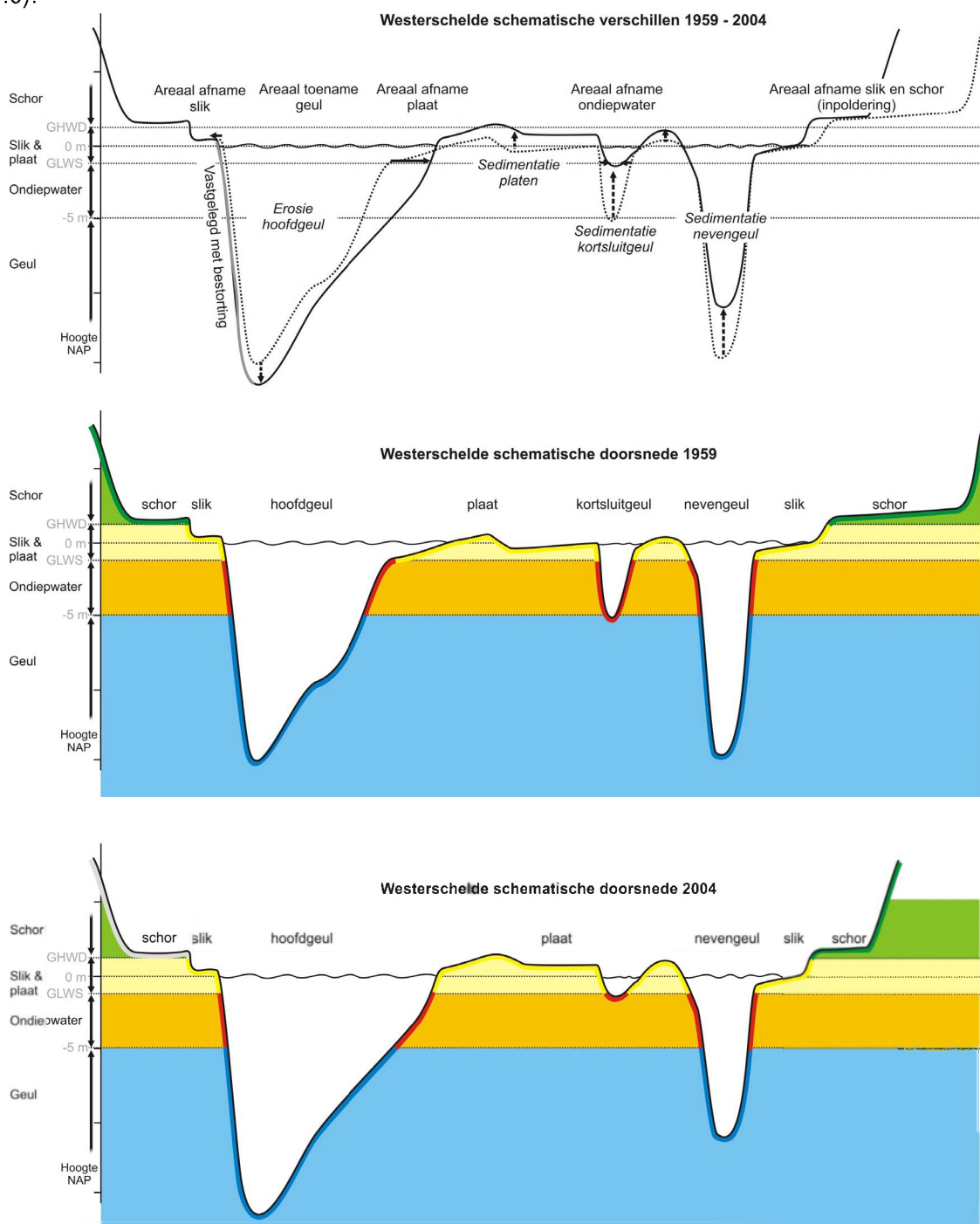
8.5 Oorzaken van de veranderingen in de ecotopen

De ontwikkelingen van de geotopenarealen zijn schematisch weergegeven in figuur 8.10. De analyse van de veranderingen van de ecotopen verschilt voor de plaatcomplexen en de slikken en schorren, vanwege het ontbreken van hoogteinformatie voor een variabel deel van het slikken en schorregebied. De analyse van de ontwikkelingen op de slikken blijft beperkt tot de ontwikkeling van het gehele areaal. Bij de plaatcomplexen zal ook worden gekeken naar de verschuivingen van de ene naar de ander klasse die zich hebben voorgedaan.

8.5.1 Veranderingen van het areaal schorren en slikken

De afname van het areaal van de slikken en schorren in de Westerschelde van 1959 tot 1996 (figuur 8.6) is het gevolg van inpolderingen aan de landzijde en erosie door de migratie van geulen. De afname van het areaal heeft in verschillende slikken- en schorregebieden langs de Westerschelde plaatsgevonden. De grootste afnamen hebben plaatsgevonden in het Sloegebied (bijna 500 ha) en

bij de Slikken en schorren bij de Appelzak (940 ha). Deze zijn wel opgenomen in figuur 8.8, maar niet in figuur 8.6. Het einde van de inpolderingen en het vastleggen van de geulen met bestortingen heeft de erosie van de slikken en schorren tot stilstand gebracht. De uitbouw van de slikken op locaties waar de ontwikkelingen van de geulen hiervoor ruimte hebben geboden heeft geresulteerd in een toename van het areaal van de slikken en schorren in de Westerschelde van 1996 tot 2004 (figuur 8.6).



Figuur 8.10: Samenvattende schematisch dwarsdoorsneden met de morfologische ontwikkelingen voor de gehele Westerschelde in de periode 1959 – 2004.

8.5.2 Veranderingen van het plaatareaal

De belangrijkste veranderingen van de plaatcomplexen in de Westerschelde zijn de afname van het totale plaatareaal, de toename van de hoogte van de platen en de relatieve toename van het hoogdynamische areaal ten koste van het laagdynamische areaal.

De afname van het plaatareaal ten opzichte van het maximum areaal in 1977 is waarschijnlijk het gevolg van de verplaatsing van de geulen waarbij delen van de platen worden geërodeerd. Tot 1996 werd deze erosie van enkele van de plaatcomplexen deels gecompenseerd door de uitbouw van de andere plaatcomplexen. Na 1996 neemt de omvang van alle plaatcomplexen af. De toename van het areaal van verschillende plaatcomplexen tot 1996 werd voornamelijk veroorzaakt door de sedimentatie in de kortsluitgeulen en de vloed- en ebscharen. Deze sedimentatie ging gepaard met een afname van het areaal ondiepwater.

De verklaring voor de toename van de plaathoogte is gepresenteerd in het conceptuele model voor de ontwikkeling van de platen (hoofdstuk 7).

De toename van het hoogdynamische plaatareaal ten opzichte van het laagdynamische areaal betekent hoogstwaarschijnlijk dat ter plaatse de stroomsnelheden zijn toegenomen. Een toename van de stroomsnelheden over de platen kan het gevolg zijn van:

1. Veranderingen in de stroomsnelheden in het gehele estuarium;
2. Toename van de debieten over de platen, bijvoorbeeld vanwege de afname van de doorstroomoppervlakte van de kortsluitgeulen door de platen;
3. Een toename van de stroomsnelheden gedurende de periode dat de platen onder water staan, vanwege faseverschuivingen in het getij;

Of een combinatie van bovenstaande veranderingen.

. Alternatieve verklaringen zijn dat de bodemsamenstelling is veranderd of de stabiliserende invloed van bodemorganismen is toegenomen (Vos e.a., 1988), waardoor tegenwoordig de vorming en instandhouding van megaribbels is toegenomen.

Op grond van de morfologie en de ecotopen kan geen uitspraak worden gedaan over de eventuele veranderingen in de stroomsnelheden op de platen en de onderliggende oorzaken hiervan.

Simulaties van de waterbeweging over de platen voor de periode 1959 tot heden zijn noodzakelijk om uitspraken te doen over het optreden van eventuele veranderingen. Daarbij kan op basis van de geobserveerde morfologische veranderingen wel worden opgemerkt worden dat de oorzaak van de veranderingen per plaatcomplex kan verschillen.

9 Conclusies en aanbevelingen

9.1 Inleiding

Het doel van deze studie is het beschrijven en analyseren van de ontwikkelingen van de mesoschaal morfologie van de Westerschelde in de afgelopen 50 jaar ten bate van het Milieueffectrapport Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde. De observaties en de analyse komen samen in het conceptuele model dat in het voorgaande hoofdstuk is beschreven.

Het in deze studie gepresenteerde conceptuele model is complementair aan de visie op de morfologische ontwikkeling zoals deze wordt gepresenteerd in het Achtergrondrapport Systeembeschrijving Schelde-estuarium (Kuijper et al, 2007). De effectbeschrijving van de aanleg en het onderhoud van de verruimde vaargeul in het Achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium is gebaseerd op het cellenconcept (Kuijper et al, 2007). De sedimenttransporten in de geulen, in combinatie met de natuurlijk erosie of sedimentatie en de ingrepen in de parallelle geul zijn hierbij de bepalende factoren. Wanneer baggeren of storten volgens dit concept leidt tot permanente veranderingen in het geulstelsel en de waterbeweging van de Westerschelde, zullen deze doorwerken op het ondiepwater en de platen volgens het conceptueel model dat in deze studie is geschetst.

9.2 Morfologische ontwikkelingen op meso-schaal

De conclusies over de morfologische ontwikkelingen zijn gericht op de veranderingen van de platen, slikken en schorren. De conclusies over platen zijn mede gebaseerd op het conceptuele model dat is gepresenteerd in de synthese (hoofdstuk 7). De basis voor de conclusies wordt gevormd door de observaties en discussie per macrocel (in de bijlagen 1 tot en met 5 en de hoofdstukken 5 en 6) en het hoofdstuk over de ecotopen (hoofdstuk 8).

Ontwikkeling van de platen en de slikken

- De ontwikkelingen van het areaal plaat verschillen per plaatcomplex. De ontwikkelingen en de verschillen daarin worden met name bepaald door de lokale ontwikkelingen van de geulen.
- De ontwikkeling van het areaal slikken en schorren is ook gekoppeld aan de lokale ontwikkeling van de geulen. Omdat het merendeel van de geulen in de omgeving van de slikken en schorren is vastgelegd met bestortingen, verandert het areaal sinds het begin van de jaren '70 slechts marginaal.
- Het sedimentvolume van de hoge delen van de plaat neemt toe. De resulterende toename van de hoogte van de platen is groter dan lokale toename van de hoogwaterstand(en), zodat de droogvalpercentages van de platen toenemen.
- Het aantal platen waaruit de plaatcomplexen is opgebouwd neemt af. De grilligheid van de plaatranden neemt af. De absolute lengte en de relatieve lengte van de waterlijn (ten opzichte van de oppervlakte van de platen) tijdens het droogvallen en het onderlopen van de platen is door beide ontwikkelingen afgenomen.
- De afwijkende ontwikkeling van het sedimentvolume, de droogvalpercentages, het aantal platen en de relatieve lengte van de waterlijn van het complex van de Middelpaten wijst op de sturende rol van aanwezigheid van kortsluitgeulen op de ontwikkeling van de platen.

Moeilijk erodeerbare lagen

- Moeilijke erodeerbare lagen spelen geen rol bij de stabiliteit van de plaatcomplexen in de Westerschelde.
- Moeilijke erodeerbare lagen spelen lokaal een rol bij het beperken van de insnijding (maximale diepte) en de verplaatsing (erosie van de geulwand) van de geulen.
- De slikken en schorren van de Westerschelde liggen voor een belangrijk deel op moeilijk erodeerbare lagen en de aanwezigheid van deze lagen heeft waarschijnlijk een belangrijke rol gespeeld in het beschermen van de slikken tegen oprukkende geulen. Tegenwoordig is deze beschermende rol voor een belangrijk deel overgenomen door geulwandverdedigingen, in de vorm van bestortingen op de geulwanden.

Baggeren, storten en zandwinnen

- Het storten van sediment heeft op sommige locaties (Platen van Valkenisse, Plaat van Baarland) waarschijnlijk een bijdrage geleverd aan de toename van het sedimentvolume van de platen. Voorwaarde voor de aanvoer van sediment is dat het gestorte sediment met de stroming meegevoerd kan worden naar de platen.
- Het baggeren van sediment, al dan niet ten bate van zandwinning, heeft een direct effect op de platen wanneer dit op de plaat(rand) plaatsvindt.
- Het baggeren in de hoofdgeulen en de zandwinning hebben, in combinatie met andere ingrepen en de autonome ontwikkelingen, de grootschalige waterbeweging verandert. Deze verandering in de waterbeweging werkt waarschijnlijk door in de afname van het areaal ondiepwater en de toename van de hoogte van de platen.

9.3 Ecologische consequenties van de morfologische ontwikkelingen

De ecologische consequenties van de veranderingen in de morfologie zijn in dit rapport beschouwd door het beschrijven van de ontwikkelingen van enkele ecologisch relevante parameters. Deze parameters zijn de droogvalpercentages per plaatcomplex, de ecotopen klassen per plaatcomplex en slikken en schorregebied, de lengte van de waterlijn per plaatcomplex (aangeduid met het begrip mesoreliëf) en de arealen ondiepwater, geul en slikken en platen en schorren per macrocel. Het verschil in de morfologische ontwikkeling per macrocel heeft als gevolg dat de ontwikkeling van de ecologisch relevante parameters per plaatcomplex en per slikken- en schorregebied moeten worden beschouwd. Voor de beschrijving van de parameters per plaatcomplex wordt verwezen naar bijlagen 1 tot en met 5.

De veranderingen in deze ecologisch relevante parameters kunnen op hoofdlijnen worden doorvertaald in de effecten op steltlopers. Hierbij wordt voorbijgegaan aan de complexe relaties tussen de abiotische en biotische parameters die de aanwezigheid van de steltlopers bepalen. Uitgangspunt bij deze vertaling is dat de droogvallende platen tussen de 30 en 70 procent het meest waardevolle areaal voor steltlopers opleveren, dat laagdynamisch intergetijdengebieden waardevoller zijn voor steltlopers dan de andere ecotopenklassen en dat de lengte van de waterlijn medebepalend is voor het aantal foeragerende steltlopers op een plaatcomplex.

- Het totale areaal intergetijdengebied van de plaatcomplexen in de Westerschelde is min of meer gelijk gebleven in de periode van 1959 tot 2004. Het areaal in de droogvalklasse tussen de 30 procent en 70 procent is in de gehele Westerschelde afgenomen, omdat de platen hoger zijn geworden. De kwaliteit van de platen voor steltlopers is hierdoor afgenomen.

- Het areaal hoogdynamische plaat is iets toegenomen ten opzichte van het areaal laagdynamische plaat. Deze relatieve toename van het hoogdynamische areaal heeft ook plaatsgevonden op de slikken. De kwaliteit voor steltlopers van het intergetijdengebied (platen en slikken) is hierdoor afgenomen.
- Het areaal laagdynamische plaat midden (30%-70%droogvallen) is met 28% afgenomen ten opzichte van het maximum in 1977, van 1500 ha tot 1075 ha in 2004.
- De lengte van de waterlijn van de plaatcomplexen is afgenomen, zowel absoluut als relatief ten opzichte van de oppervlakte van de platen. De kwaliteit van de platen voor steltlopers is hierdoor afgenomen.
- Het areaal slikken en schorren is sinds eind jaren zestig slechts marginaal veranderd, omdat het merendeel van de geulen in omgeving van de slikken en schorren is vastgelegd met bestortingen. Over de kwaliteit van de slikken en schorren voor steltlopers kunnen geen uitspraken worden gedaan wegens het ontbreken van droogvalgegevens van een deel van de slikken en schorren.

9.4 De effecten van de verruiming van de vaargeul

De kleine veranderingen in de hoofdgeul van de Westerschelde door de voorgenomen (aanleg- en onderhouds)baggerwerkzaamheden zullen waarschijnlijk slechts een beperkt effect hebben op de grootschalige waterbeweging (van Banning, 2007) en op de ontwikkeling van de geulen (Bruens, 2007). Vanwege de beperkte effecten op de waterbeweging wordt ook verwacht dat het effect van de verruiming op het ondiepwatergebied en de platen beperkt zal zijn. De voorspelde veranderingen zijn relatief klein in vergelijking met de ontwikkelingen die al enkele eeuwen gaande zijn.

Het storten van sediment heeft voornamelijk indirecte effecten op de morfologie van de platen en daarmee op de ecologie. Wanneer het storten van het sediment leidt tot een andere ligging en grootte van de geulen dan zal dit doorwerken op het ondiepe water en de platen. Dit geldt voor de verschillende stortstrategieën (plaatrandstortingen of de stortingen in de nevengeulen). De morfologische voorspellingen (Bruens, 2007) en de beschouwing in het licht van de macro-morfologische ontwikkelingen (Kuijper, 2007) zijn doorslaggevend voor het bepalen van de eventuele veranderingen in de ligging en de grootte van de geulen. Het in dit rapport gepresenteerde conceptuele model, biedt slechts beperkte aanknopingspunten voor het beoordelen van de verschillende stortstrategieën.

Lokaal kan het storten van sediment langs de plaatranden, in eb- en vloedscharen en of kortsluitgeulen, leiden tot een toename van de sedimentaanvoer naar de plaat. Een toename van de sedimentaanvoer kan leiden tot een toename van de plaathoogte. De kans op het toenemen van de sedimenttoevoer is afhankelijk van de lokale stromingscondities en deze dienen per locatie te worden beoordeeld aan de hand van modelresultaten. Bij voorkeur worden deze modelresultaten lokaal in het veld geverifieerd door middel van metingen. De voorgestelde locaties voor het storten van baggerspecie op de plaatrand zijn zodanig gekozen dat zo min mogelijk sedimenttransport naar de plaat zal plaatsvinden. Deze analyse is uitgevoerd op basis van modelresultaten en experijment.

Bij het daadwerkelijk uitvoeren van stortingen op de plaatrand wordt aanbevolen om met behulp van metingen te controleren of inderdaad geen sedimenttransport naar de plaat plaatsvindt. In het licht van de toename van de plaathoogte in afgelopen 50 jaar die bij alle plaatcomplexen reeds heeft plaatsgevonden, met uitzondering van de Middelpalaten, moet een verdere toename van de plaathoogte worden voorkomen. Nog hogere platen leidt namelijk niet tot een grotere kwaliteit van de Westerschelde voor steltlopers.

Consequent storten van baggerspecie in eb- en vloedscharen en of kortsluitgeulen (ondiepwater) kan leiden tot een afname van de aanwezigheid van deze morfologische elementen. Vanwege het belang van deze morfologische elementen voor de ontwikkeling van de plaatcomplexen wordt een dergelijke strategie afgeraden. 'Consequent storten' betekent hier dat in opeenvolgende jaren het morfologische element wordt opgevuld met baggerspecie. Herhaaldelijk storten met een tussenperiode van enkele jaren waarin de oorspronkelijk morfologie kan herstellen, levert waarschijnlijk geen afname van deze morfologische elementen.

9.5 Aanbevelingen

Het conceptuele model uit deze studie is gebaseerd op de observaties en analyse van de morfologische ontwikkelingen. Het model kan worden geverifieerd door het uitvoeren van numeriek modelonderzoek, waarin de relaties tussen de lokale waterbeweging en de ontwikkeling van de plaatcomplexen worden onderzocht. Ook andere aspecten die in deze studie aan de orde zijn gekomen kunnen worden onderbouwd door het uitvoeren van aanvullend onderzoek. De belangrijkste aanbevelingen voor aanvullend onderzoek worden hieronder op een rij gezet.

De veranderingen van platen en slikken

In het voorliggende onderzoek is gewerkt met de kaarten van de droogvalpercentages van een beperkt aantal jaren. Van de Westerschelde is van veel meer jaren de bodemligging (digitaal) beschikbaar. Door de bodemligging en eventueel de droogvalpercentages voor een groter aantal jaren te onderzoeken kan beter worden vastgesteld of de gevonden ontwikkelingen trends betreffen, of dat sprake is van fluctuaties.

Door de kaarten met droogvalpercentages uit te breiden met een groter aantal jaren kan een betere dekking worden verkregen van de slikken. De analyse van de droogvalpercentages kan dan worden uitgebreid met de slikken.

De analyse van de ontwikkeling van de waterlijn kan worden uitgebreid naar de slikken.

Boringen in de plaatcomplexen

Waar in het verleden geen geulen hebben gelegen, kan een boring of sondering in de plaatcomplexen uitsluitsel geven of moeilijk erodeerbare lagen inderdaad ontbreken.

Ecologie-morfologie

De betekenis van de morfologie, hydrodynamica en bodemsamenstelling (het plaatfysiotoop, zie Bouma, 2005 en Van Braeckel, 2007) van de platen voor de ecologie kan meer kwantitatief in beeld worden gebracht. Dit vereist naast de kennis van de oorzaak- en effectrelaties in het voedselweb en van de abiotische en biotische factoren ook verificatie van de hieruit voortkomende verbanden (bijvoorbeeld tussen morfologie, geomorfologie, bodemdieren en steltlopers) in het veld in de Westerschelde (Kater, 2005, Van Eck en Holzhauer, 2007).

Oorzaak-effect relaties

De conclusies zijn getrokken op basis van waarnemingen van de (geo)morfologische veranderingen. De aanwijzingen voor het wel of niet bestaan van oorzaak-effectrelaties zijn gebaseerd op waarnemingen van het effect en de eventuele oorzaken. Hoe deze relaties in elkaar zitten, dat wil zeggen welke hydrodynamische processen en sedimenttransporten de veranderingen teweeg brengen, is niet altijd volledig bekend.

Het verdient aanbeveling om verschillende van deze relaties te onderzoeken door middel van gericht numeriek modelonderzoek. Dit modelonderzoek moet specifiek worden gericht op de verificatie van

de drie aspecten van het conceptuele model: 1. De ontwikkeling van het geulenstelsel en van de grootschalige waterbeweging; 2. De afname van de kortsluitgeulen en de vloed- en ebscharen en 3. De toename van de hoogte van de platen.

1. De ontwikkeling van het geulenstelsel en van de grootschalige waterbeweging

Voor het verifiëren van de invloed van de verschillende ingrepen en de natuurlijke ontwikkelingen op de waterbeweging in het estuarium kan de lange termijn ontwikkeling stapsgewijs worden gemodelleerd. Stapsgewijs betekent in dit geval dat enkele bodems met de bijbehorende waterbeweging in de periode van 1800 tot heden worden gebruikt voor het maken van waterbewegings- en bodemveranderingssimulaties. Dit is in feite een voortzetting van het werk van Van der Spek (1994), met het moderne modelinstrumentarium. Hierbij worden de verschillende factoren die bepalend worden geacht aan- en uitgezet, bijvoorbeeld door ingrepen in de modelbodem (met en zonder zijarmen, met en zonder bestortingen, met en zonder baggeren, storten en zandwinnen in de Westerschelde, in de monding en in de Zeeschelde). Op deze wijze kan het relatieve belang van de verschillende ingrepen worden geschat. De voorkeur gaat uit naar quasi-realistische simulaties, voor zover dat mogelijk is met de beperkte historische hydro- en meteorologische informatie.

2 en 3. De afname van de kortsluitgeulen en de vloed- en ebscharen en de toename van de hoogte van de platen.

Om de effecten van de verschillende factoren op deze ontwikkelingen te bepalen wordt bij voorkeur numeriek modelonderzoek in hoge resolutie uitgevoerd van één plaatcomplex (bijvoorbeeld Valkenisse of Ossensisse) of twee plaatcomplexen met een verschillende ontwikkeling (bijvoorbeeld Valkenisse en de Middelpalten). De hoge resolutie is gericht op het modelleren van de kleine geulen en scharen.

En de processen die hierbij centraal staan zijn:

- De uitwisseling van sediment tussen plaat en geul.
- Het groter worden van de platen.
- Het afnemen van de grilligheid van de plaatranden.
- De stabiliteit van kortsluitgeulen (in aansluiting op het werk van Van Swinkels, 2006).

Het waterbewegings en bodemontwikkelingsmodel wordt bij voorkeur (quasi-)realistisch gedraaid, en gevoed met lokale meetgegevens. Met het aan- en uitzetten van verschillende parameters (wind, golven, zout, korrelgrootte), maar ook door ingrepen in de modelbodem (met en zonder kortsluitgeulen, met en zonder stroming over de plaat) kan dan het effect van deze factoren worden bepaald. Ook kan worden gekeken naar de situatie in twee jaren met grote verschillen in de bodemligging. Deze aanpak is met succes toegepast door Elias (2006) voor het bepalen van de dominante factoren in de ontwikkeling van het Zeegat van Texel.

Metingen

Het numerieke modelonderzoek moet bij voorkeur worden afgeregeld en geverifieerd met meetinformatie op dezelfde schaal. Dat betekent meten op de schaal van een plaatcomplex en in de bijbehorende kortsluitgeulen en de aanliggende geulen. De meetgegevens dienen zó verzameld te worden dat zij voedend zijn voor de modelstudies. Daarbij levert de analyse van de metingen zelf stof voor hypothese en conceptvorming.

De gewenste fysische metingen betreffen:

-
1. De waterbeweging (waterstanden en stroomsnelheden gedurende lange tijd in een of enkele punten in combinatie met ADCP-stroomsnelheidsmetingen in enkele raaien, tijdens hoge en lage Scheldeafvoer); en
 2. De bodemligging (gebiedsdekkend, in detail met multibeam en laseraltimetrie) en de saliniteit in de waterkolom (uitgevoerd tijdens de stroomsnelheidsmetingen).

Ten minste tweemaal de korrelgroottes meten (bij voorkeur gebiedsdekkend met bijvoorbeeld de MEDUSA-techniek, zie bijvoorbeeld Koomans, 2004) levert ook input voor de modelstudies. Metingen van het sedimenttransport zijn eventueel extra. De metingen dienen over een voldoende lange periode te worden gecontinueerd, dat wil zeggen tenminste gedurende vier tot zes jaar. De metingen bij Walsoorden zijn een uitstekende basis voor deze meetopzet. De analyse van metingen rond proefstortingen bij de Plaat van Walsoorden biedt overigens een uitgelezen kans om de morfologische veranderingen in het gebied in detail te analyseren en voor hypothesevorming (Ide, 2006). De metingen bieden callibratie- en verificatiemogelijkheden voor numeriek modelonderzoek. Om een vertaling te kunnen maken naar de ecologische relevantie van de morfologische ontwikkelingen moeten de fysische metingen synchroon worden uitgevoerd met biologische metingen.

Referenties

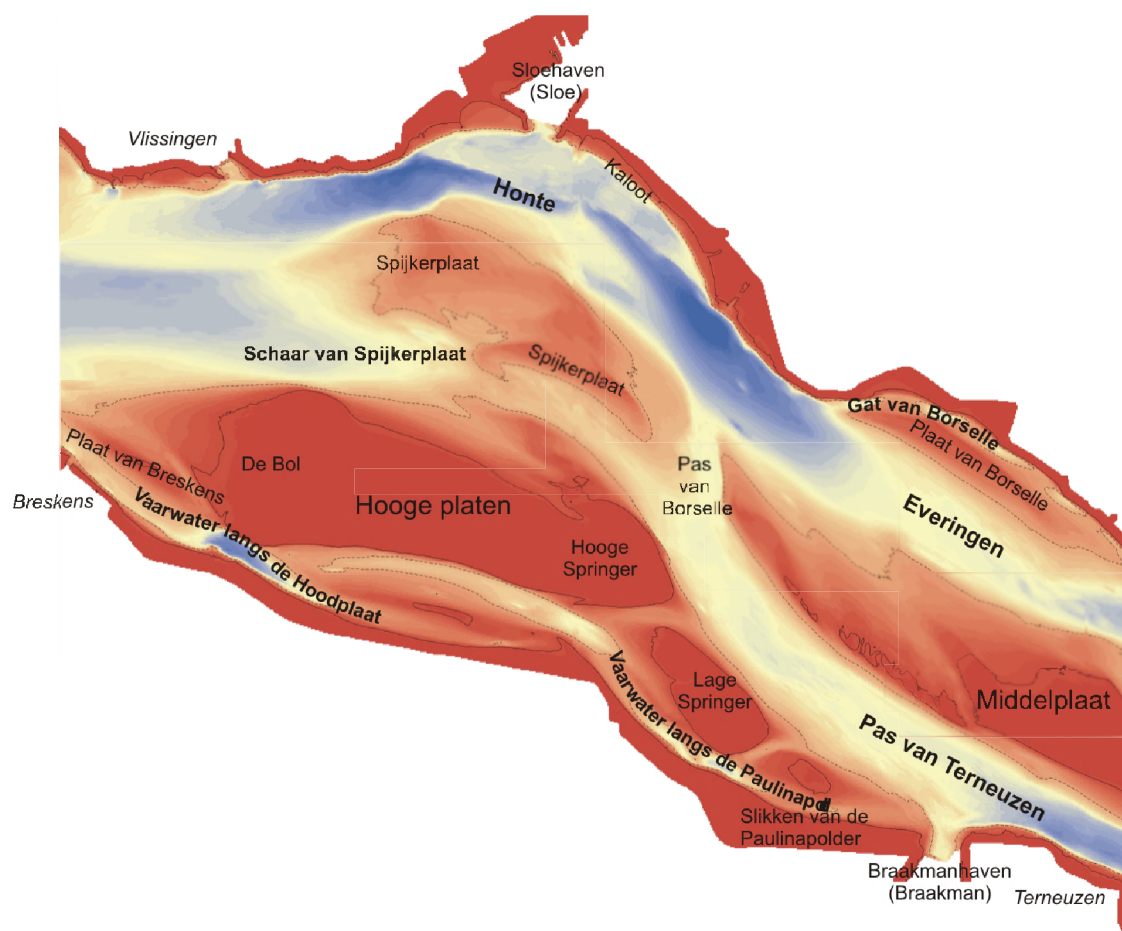
- Alkyon, 2006, Plaatmorfologie Westerschelde; Veranderingen in de plaatmorfologie van de Westerschelde en de gevolgen voor het steltloperhabitat, Alkyon rapport A1774;
- Ashley, G. M. (1990), Classification of large-scale subaqueous bed forms: A new look at an old problem, *J. Sediment. Petrol.*, 60, 160–172.
- Bartholdy, J., Bartholomä, A. en Flemming, B.W., 2002, Grain-size control of large compound flow-transverse bedforms in a tidal inlet of the Danish Wadden Sea, *Marine Geology* 188, 391-413.
- Blomert, A.M., 2002. De samenhang tussen bodemgesteldheid, droogligtijd en foerageerdichtheid van vogels binnen de intergetijdenzone. AenW-rapport 330. Altenburg en Wymenga Ecologisch onderzoek, Veenwouden. Ens, 2004
- Bouma, H., D.J. de Jong, F. Twisk en K. Wolfstein, 2005, Zoute wateren EcotopenStelsel (ZES.1) voor het in kaart brengen van het potentiële voorkomen van levensgemeenschappen in zoute en brakke rijkswateren, Rijkswaterstaat RIKZ Rapport RIKZ/2005.024.
- Bruens, A., A. van der Weck, K. Kuijper, C. Jeuken, B. de Sonnevill, T. van der Kaaij, 2007, Basisrapport Morfologie MER Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde, Consortium ARCADIS-Technum.
- Consortium ARCADIS-Technum, 2006, Startnotitie / Kennisgeving Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde, RWS Zeeland en AWZ Maritieme Toegang, Antwerpen | Middelburg
- Coosen, J., J. Mees, J. Seys en N. Fockedeij (redactie), 2006. Studiedag: De Valkte van de Raan van onder het stof gehaald, VLIZ Special publication 35.
- Dronkers, J., 2005, Dynamics of coastal systems, Advanced Series of Ocean Engineering, Volume 25, World Scientific.
- Ens, B. J., Brinkman, A. G., Dijkman, E. M., Meesters, H. W. G., Kersten, M. Brenninkmeijer, A., Twisk, F., 2005. Modelling the distribution of waders in the Westerschelde: What is the predictive power of abiotic variables? Technical report, Alterra, Wageningen, the Netherlands. Alterra-rapport 1193.
- Elias, E., 2006. Morphodynamics of Texel Inlet, Proefschrift Technische Universiteit Delft, 262 p.
- Erkens, G, 2003. Analyse multibeam data Oostgat, Rijkswaterstaat RIKZ werkdocument RIKZ/OSD/2003.168x.
- Gruijters, S.H.L., J. Schokker en J.G Veldkamp, 2004, Kartering moeilijk erodeerbare lagen in het Schelde-estuarium, TNO rapport 03-213-B1208 Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen, Utrecht
- Habraken, M. E. Parea, 2006, Dynamiekstudie Intergetijdengebied Westerschelde', Rijkswaterstaat Zeeland, Meetadviesdienst, notitie ZLMD-06N.004.
- Habets, L.C.G.J.M., 200?, Inundatiekaarten Westerschelde, TU Eindhoven, Fac. Wiskunde en Informatica.
- Haecon, 2006, Actualisatie van de zandbalans van de Zee- en Westerschelde, Haecon rapport 124976008/lvp.
- Hisgen, R.G.W. en R.W.P.M. Laane, 2004. Geheim van het getij, SDU uitgevers Den Haag.
- Holzhauser, H.; van Eck, B.; van Maldegem, D.; Parée, E., 2007, Monitoring van de effecten van de verruiming 48°43': MOVE-Rapport 9, deel I: Fysische hypothesen 2006: Werkdocument RIKZ, ZDA/2007.808w Rijkswaterstaat Rijksinstituut voor Kust en Zee, 237 pp.
- Ides, 2006. Morfologische analyse van de bagger- en stortintensiteitsgegevens van de Beneden Zee en Westerschelde; Analyse van de monitoringsgegevens van de proefstorting te Walsoorden, Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout.
- Jeuken, M.C.J.L., 2000, On the morphological behaviour of tidal channels in the Westerschelde estuary, Proefschrift Universiteit Utrecht, 378 pp.
- Jeuken, M.C.J.L, I. Tanczos en Z.B. Wang, 2003b, Evaluatie van het Huidige Bagger-, Stort- en Zandwinbeleid met behulp van het Onderbouwde Cellenconcept Westerschelde. WL | Delft Hydraulics
- van de Kam J., B. Ens, T. Piersma en L. Zwarts, 1999. Ecologische atlas van de Nederlandse wadvogels. Schuyt en Co, Haarlem.
- Kater, B.J., 2005, Ontwikkelingen in de kennis van de morfodynamica en ecologie van de Westerschelde, Rijkswaterstaat RIKZ rapport RIKZ/2005.034.
- de Kraker, A., 2002, De Westerschelde, een water zonder weerga, Ontstaansgeschiedenis en kaartbeeld, havens, handel en scheepvaart, verkeer, verdrinken dorpen, oorlog en verdedigingswerken, natuur en milieu en andere aspecten van de Westerschelde, Drukkerij Duerinck, Kloosterzande.
- Koomans, R.L. en R.J. de Meijer, 2004, Density gradation in cross-shore sediment transport, *Coastal Engineering* 51, p. 1105-1115.
- Kuijper, C. M. Sas en M.C.J.L. Jeuken, 2007. Systeembeschrijving; een visie op de morfologische ontwikkeling, CAT consortium rapport Z4008.
- Nederbragt, G. en G.J. Liek, 2004, Beschrijving zandbalans Westerschelde en monding Rijkswaterstaat RIKZ Rapport RIKZ/2004.020.
- Meersschaert, L. J.P. van Roeyen en C. Verbruggen, 2006, Geomorfologisch, geoarcheologisch, paleoecologisch en paleobotanisch onderzoek van de havenuitbreidingswerken op de linker Scheldeoever ten noorden van Antwerpen, *Belgeo* 2006- 3, p. 183-204.

-
- Mulder, E.J.F., M.C. Geluk, I. Ritsema, W.E. Westerhoff en T. E.Wong, 2003, De ondergrond van Nederland, Geologie van Nederland deel 7 Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen, Utrecht
- Meininger, P., R. H. Witte & J. Graveland, 2003, Zeezoogdieren in de Westerschelde : knelpunten en kansen, Rijkswaterstaat RIKZ rapport RIKZ/2003.041.
- Steijn, R.C. en J. Adema, 2000, Stroomvoerend vermogen, getijdinatie en resttransporten; een verkennend onderzoek toegespitst op de Westerschelde, Alkyon rapport A569.
- Steijn, R.C en A.J.F. van der Spek, 2005. Mogelijkheden voor geulwandversterking of verlegging Oostgat/Sardijngemaal, Alkyon rapport A1431.
- Swinkels, C., 2006, Presence of connecting channels in the Western Scheldt Estuary, MSc-thesis, WL Delft Hydraulics report 4057.
- Swinkels, C., C.M.J.L. Jeuken, Z.B. Wang, R. Nicholls, 2006, Presence of Connecting Channels in the Western Scheldt Estuary. A morphologic relationship between main and connecting channels. Submitted to Journal of Coastal Research
- Ten Cate, J.A.M. & G.C. Maarleveld, 1977, Toelichting op de legenda.; Geomorfologische kaart van Nederland schaal 1 : 50 000, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen, Rijks Geologische Dinst, Haarlem.
- Van Banning, 2007, Basisrapport Water MER Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde, Consortium ARCADIS-Technum.
- Van Braeckel, A., F. Piesschaert en E. van en Bergh, 2007. Historische analyse van de Zeeschelde en haar getijgebonden zijrivieren. 19e eeuw tot heden, Instituut voor Natuur en Bosonderzoek, Rapport INBO.R.2006.29.
- van den Berg, J.H., M.C.J.L. Jeuken and A.J.F van der Spek, 1996, Hydraulic processes affecting the morphology and evolution of the Westerschelde Estuary, in K.F. Nordstrum en C.T. Roman (red.), Estuarine shores: Evolution, Environment and Human Alterations, London.
- Van der Spek, A.J.F. van der, 1994, Large-scale evolution of Holocene tidal basins in the Netherlands, PhD-thesis, Universiteit van Utrecht.
- Van Eck, G.T.M. en H. Holzhauer. 2007, Monitoring van de effecten van de verruiming 48'/43'; MOVE eindrapport 2006; MOVE rapport 10; Rijkswaterstaat RIKZ rapport RIKZ/2007/003.
- Van Straaten, L. M. J. U. (1964) De bodem der Waddenzee. In: Het Waddenboek (Ed. by W. F. Anderson, J. Abrahamse, J. D. Buwalda and L. M. J. U. Van Straaten), pp. 75-151. Thieme, Zutphen
- van Veen, J., Eb- en Vloedschaar Systemen in de Nederlandse Getijwateren, 1950, Tijdschrift van het Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap, Vol. 67, ook als speciale uitgave ter gelegenheid van het Waddensymposium 1949.
- Van Veen, 1944, Schelderegiem en Schelderegie, fascimilie-uitgave Rijkswaterstaat 1993.
- Verbeek, H.; Tank, F.T.G.; Groenewoud, M.D. (1998). Drempels in de Westerschelde: natuur en mens samen aan het werk. [Shoals in the Westerschelde: nature and man working together]. Rapport RIKZ, 98(11). Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ): The Netherlands. ISBN 90-369-3472-9. 59 pp.
- Vos, P. C., De Boer, P. L. & Misdorp, R. 1988. Sediment stabilization by benthic diatoms in intertidal sandy shoals; Qualitative and quantitative observations. In: De Boer, P. L. et al. (eds) Tide-Influenced Sedimentary Environments and Facies, 511–526.
- Wang, Z.B., P. Thoolen en I. Tanczos, 2002, Onderbouwing van het cellenconcept Westerschelde als instrument voor beleid en beheer: toetsing aannames met SOBEM berekeningen, rapport WL|Delft Hydraulics Z3325.
- Winterwerp, J.C., M.C.J.L. Jeuken, M.A.G. van Helvert, C. Kuijper, A. van der Spek, M.J.F. Stive, P.M.C. Thoolen, Z.B. Wang, 2000. Lange Termijnvisie Schelde-estuarium. Cluster Morfologie. Uitvoeringsfase. Deel 1: Hoofdrapport en Deel 2: Appendices. Z2878. WL | Delft Hydraulics.

Bijlage 1: Macrocel 1 en 2: Rondom de Hooge platen

1.1 Inleiding

Macrocel 1 en 2 liggen ten zuiden van Vlissingen en de Sloehaven en rondom de De Hooge platen (figuur B1.1). Het is meer correct om te spreken van Macrocel 1, waarvan de geulen bestaan uit de Honte, de Schaar van Spijkerplaat en de Pas van Borselle, die een sedimentcirculatiecel rond en met de Spijkerplaat vormen. Macrocel 2 is een restant van de vroegere sedimentcirculatiecel die rond de Hooge platen lag. Vanwege het afnemende belang van de zuidelijke geulen (het vaarwater langs de Hoofdplaat overgaand in het vaarwater langs de Paulinapolder) is dit geen macrocel meer die vergelijkbaar is met de andere cellen.



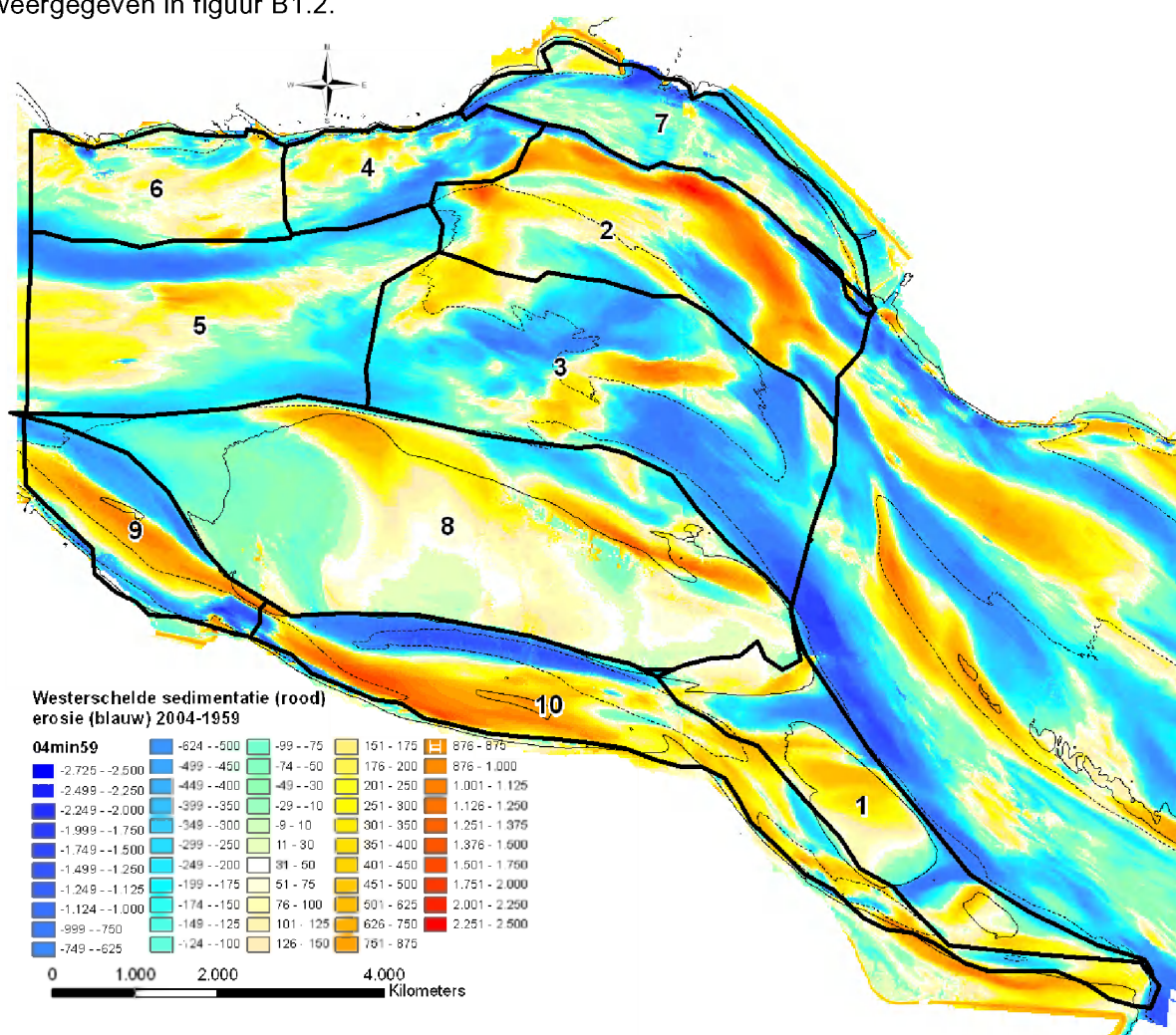
Figuur B1.1: Kaart (bodem 2004) met morfologische eenheden en namen op en rond de Hooge platen.

De Macrocel wordt beschreven in drie delen: 1. de Hooge platen; 2. de Spijkerplaat, Schaar van Spijkerplaat en de Honte; en 3. Het vaarwater en de Slikken van de Paulinapolder.

Twee belangrijke en grootschalige veranderingen van na de tweede wereldoorlog hebben in de omgeving van macrocel 1 en 2 plaatsgevonden. Ten westen van Terneuzen is de Braakman afgedamd (in 1952) en is de Braakmanhaven aangelegd. Ten oosten van Vlissingen is het Sloegebied veranderd in een havenbekken (1961-1964). De Braakman was een getijdebekken met een noord-zuid oriëntatie. De Braakman had voor de afdamming een relatief kleine toe- en afvoergeul en bestond voor een belangrijk deel uit inter- en supragetijdegebied. Ook het Sloegebied bestond voornamelijk uit inter- en supragetijdengebied, met een kleine toe- en afvoergeul. Al in 1871 was de verbinding tussen de Ooster- en Westerschelde in het Sloe door de aanleg van een dam verbroken.

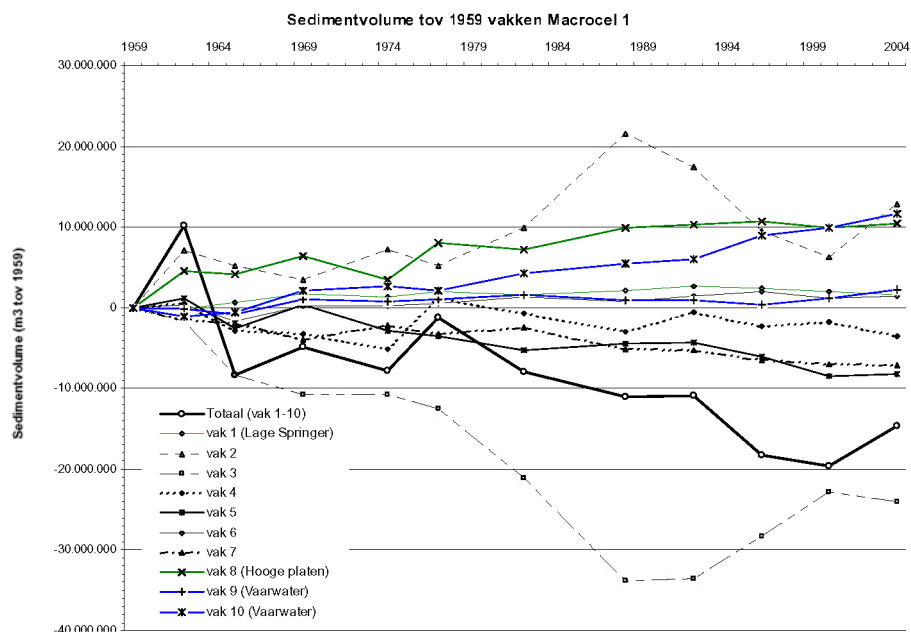
1.2 Sedimentvolume en arealen

De vakindeling die is gebruikt voor het bepalen van de ontwikkeling van het sedimentvolumes is weergegeven in figuur B1.2.



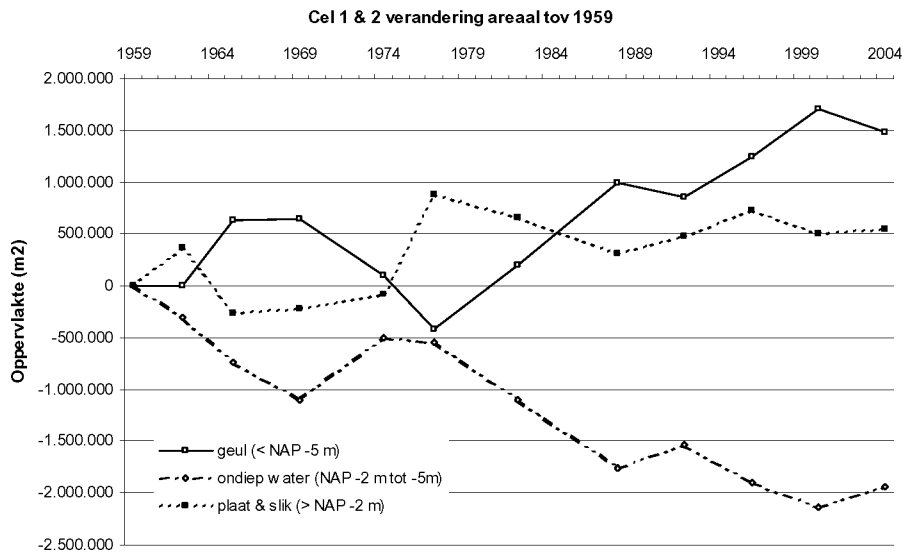
Figuur B1.2: Kaart met de sedimentatie (rood) en erosie (blauw) in de periode 1959 tot 2004. Op de kaart zijn de kubeervakken aangegeven.

De ontwikkeling van de sedimentvolumes ten opzichte van 1959 is weergegeven in figuur B1.3. Het totale sedimentvolume van Macrocel 1 en 2 vertoont een afname sinds 1959, waarbij tijdelijke ook toenames van het sedimentvolume plaatsvinden. Binnen het gebied vinden grote toe- en afnamen plaats in het sedimentvolume in de vakken 2 en 3 rond de Spijkerplaat. De lokale dynamiek rond de Spijkerplaat is de oorzaak van deze grote variatie in sedimentinhoud. De netto verandering van de sedimentinhoud rond de Spijkerplaat is gering.



Figuur B1.3: De ontwikkeling van de sedimentinhoud (- is erosie, + is sedimentatie) van macrocel 1 en 2 en de verschillende kubeervakken (aangegeven in figuur B1.2) ten opzichte van het referentiejaar 1959.

De afname van het totale sedimentvolume in macrocel 1 en 2 vindt plaats in de geulen Honte en Schaar van de Spijkerplaat. Deze afname is dusdanig groot dat de toename van het sedimentvolume in de platen (vakken 1 en 8) méér is dan wordt goedgeemaakt.



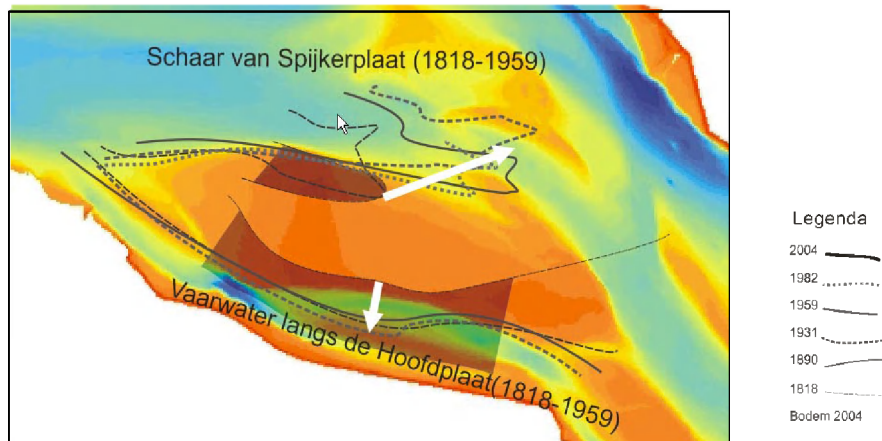
Figuur B1.4: De ontwikkeling van de arealen geul, ondiepwater en plaat(gedefinieerd ten opzichte van vaste referentiehoogtes) in alle kubeervakken samen van macrocel 1 en 2, ten opzichte van het referentiejaar 1959.

De ontwikkeling van de arealen plaat, geul en ondiepwater (gedefinieerd ten opzichte van een vaste referentiehoogte) van macrocel 1 en 2 (figuur B1.4) laat een sterke afname zien van het areaal ondiepwater, die ten goede komt aan het geulareaal. Het areaal platen en slikken in de gehele macrocel is enigszins toegenomen

1.3 De Hooge platen

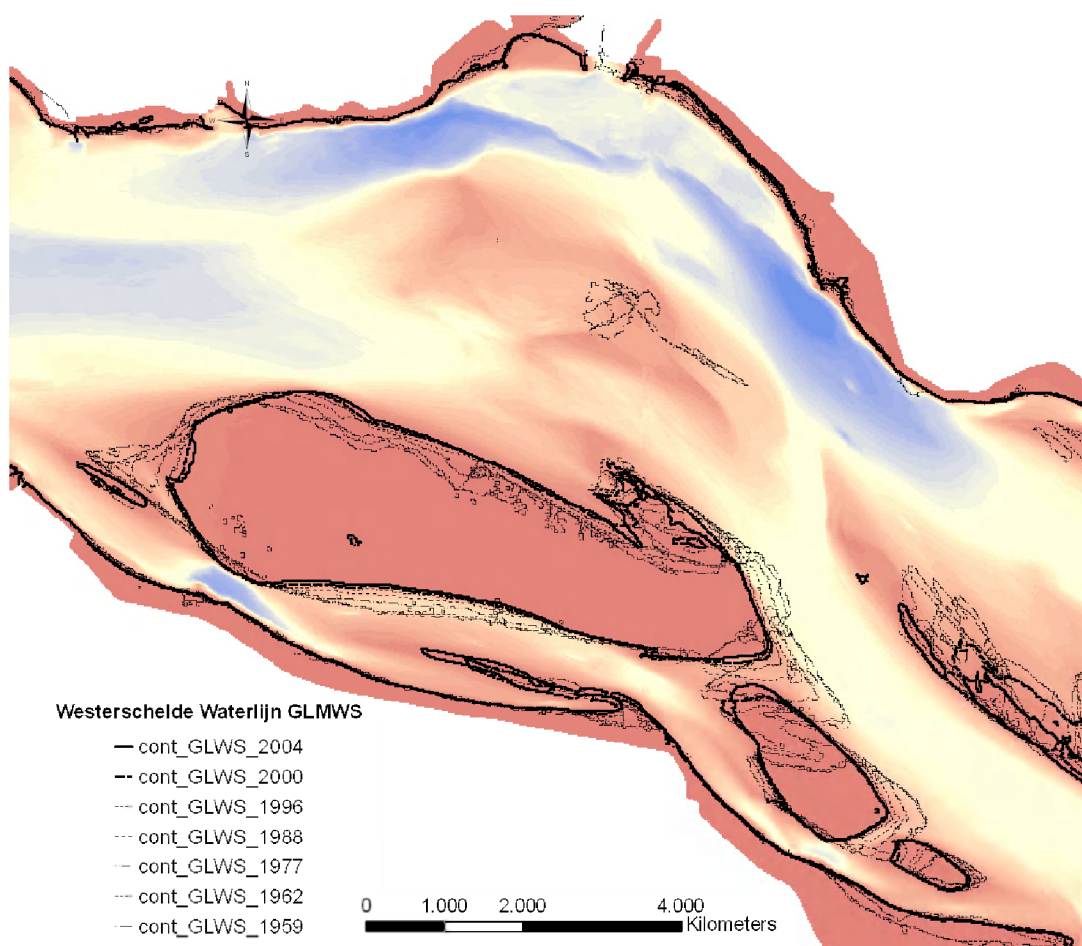
Het belangrijkste plaatcomplex van deze macrocel is de Hooge platen. Dit is het meest westelijke plaatcomplex in de Westerschelde, ter hoogte van Vlissingen en de Sloehaven. De Hooge platen zijn een langgerekt westnoordwest-oostzuidoost gericht complex van platen. Aan de noordzijde wordt het complex van west naar oost begrensd door de geulen Schaar van Spijkerplaat, de Pas van Borssele en de Pas van Terneuzen. Aan de zuidzijde wordt het complex van west naar oost begrensd door het vaarwater langs de Hoofdplaat dat naar het oosten overgaat in het vaarwater langs de Paulinapolder.

Het plaatcomplex van de Hooge platen bestaat tegenwoordig uit drie delen, die van elkaar zijn gescheiden door kleine kortsluitgeulen. Aan de westzijde ligt de grootste plaat van het complex. De eigenlijke Hooge Plaat bestaat uit de Plaat van Breskens, de Bol en de Hooge Springer. Ten oosten hiervan ligt de Springergeul, die de platen Hooge Springer en Lage Springer van elkaar scheidt. Ten oosten van de Lage Springer ligt de Thomasgeul, met direct ten oosten daarvan een plaat zonder naam. De naam Plaat van Breskens wordt gebruikt voor de westpunt van het grote plaatcomplex en voor een kleine langgerekte plaat direct ten westen van het complex.



Figuur B1.5: Kaart met de noord- en zuidgrens van de Hoofdplaat in de periode 1818 tot 2004.

Het plaatcomplex van de Hooge Platen heeft zijn huidige vorm, grootte en positie bereikt in de loop van de 19^e en begin 20^e eeuw. De randvoorwaarden voor deze ontwikkeling waren de zuidwaartse migratie en afname van grootte van het 'vaarwater' en de noordelijke migratie van de Schaar van Spijkerplaat (B1.5).



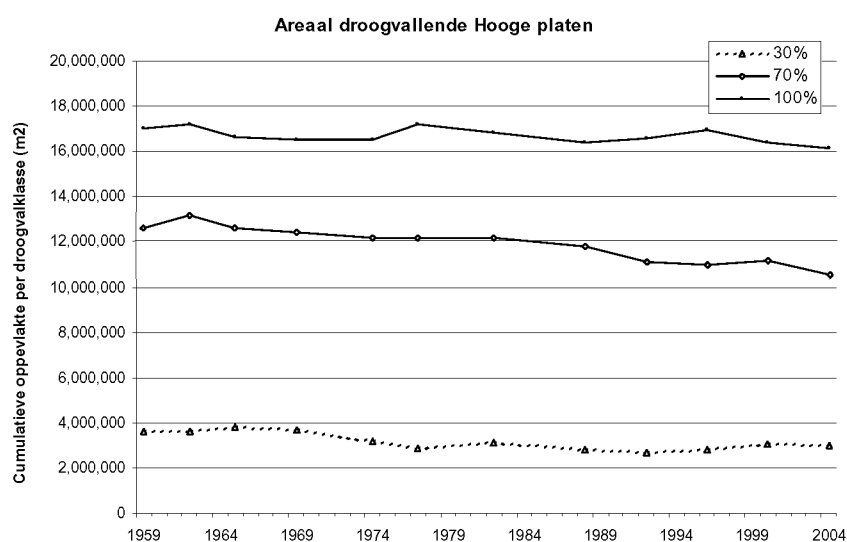
Figuur B1.6: Kaart met de contouren van de GLMWS niveaus op de Hooge Platen in de periode 1959 tot 2004.

Zoals de naam al doet vermoeden liggen de Hooge platen relatief hoog, ten opzicht van de platen in de nabijheid. De Bol op het westelijke deel van de Hooge platen ligt deels boven gemiddeld hoogwater en is begroeid met schorvegetatie. Op de oostpunt ligt de Hooge Springer deels boven gemiddeld hoogwater en is sprake van begroeiing. Aan de zuidzijde gaat het dwarsdoorsnede van de plaat met een knik over in de geul vaarwater van het Hoofdplaat. Aan de noordzijde is de overgang van geul naar plaat in dwarsdoorsnede veel geleidelijker. Ter hoogte van de Hooge Springer steekt een klein vloodschaartje de plaat in.

Ontwikkeling

In vergelijking met andere plaatcomplexen en de ontwikkeling van de ondiepten in de directe omgeving (Spijkerplaat) zijn de Hooge platen door de jaren heen relatief vormvast gebleven. Dit is bijvoorbeeld goed te zien in de figuur met de GLMWS contour (figuren B1.6): de omhullende contouren verplaatsen slechts beperkt in de periode 1959-2004.

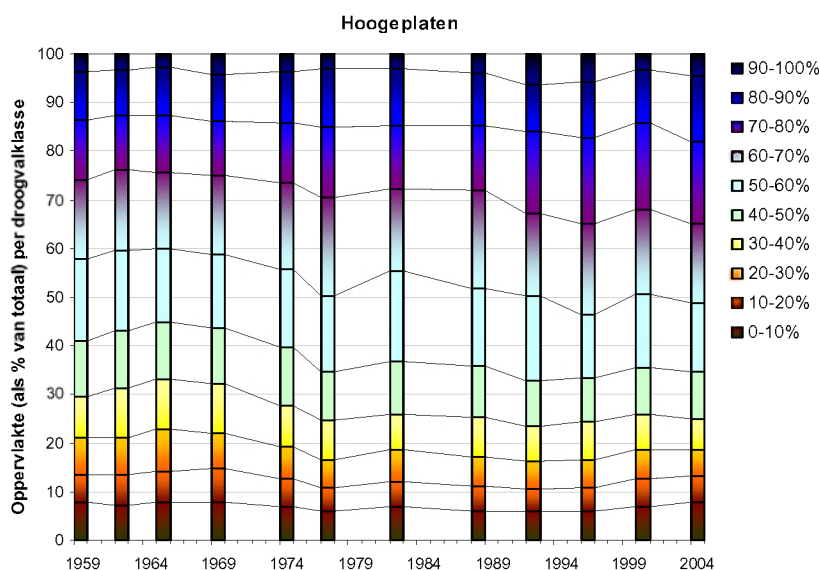
Het aantal platen in het complex is afgenomen, omdat de Hoge Springer onderdeel is geworden van de Hooge plaat. De vorm van de westzijde is van meer langgerekt en puntig naar stomp gegaan. Deze verandering heeft begin jaren zeventig plaatsgevonden. De grootte van het vloodschaartje aan de noordzijde is in de loop van de tijd afgenomen. Aan de oostzijde van de grote plaat is de grens westwaarts opgeschoven, door de verplaatsing van de Pas van Borssele naar het westen. Kleine veranderingen vinden plaats aan de zuidzijde van de plaat, waar de noordgerichte buitenbocht in het vaarwater geleidelijk naar het noorden verplaatst en daarbij de Hooge platen erodeert. In het bovenaanzicht is hierdoor de overgang naar de geul aan de zuidzijde van 'bol' veranderd in 'hol'. De Lage Springer is van vorm veranderd en iets groter geworden. Het zwaartepunt van de Lage Springer is iets naar het noordwesten verschoven.



Figuur B1.7: Grafiek met het areaal met 30 procent, 70 procent en 100 procent droogvallen in de loop van de tijd. Bepaald op basis van de kaarten met droogvalpercentages, ten opzichte van variërend referentievlak (GLMWS).

De oriëntatie van de lange as van de Springergeul is met de wijzers van de klok meegedraaid van westnoordwest-oostzuidoost naar noordwest-zuidoost. De grootste veranderingen van de Lage Springer hebben plaatsgevonden aan het eind van de tachtiger jaren.

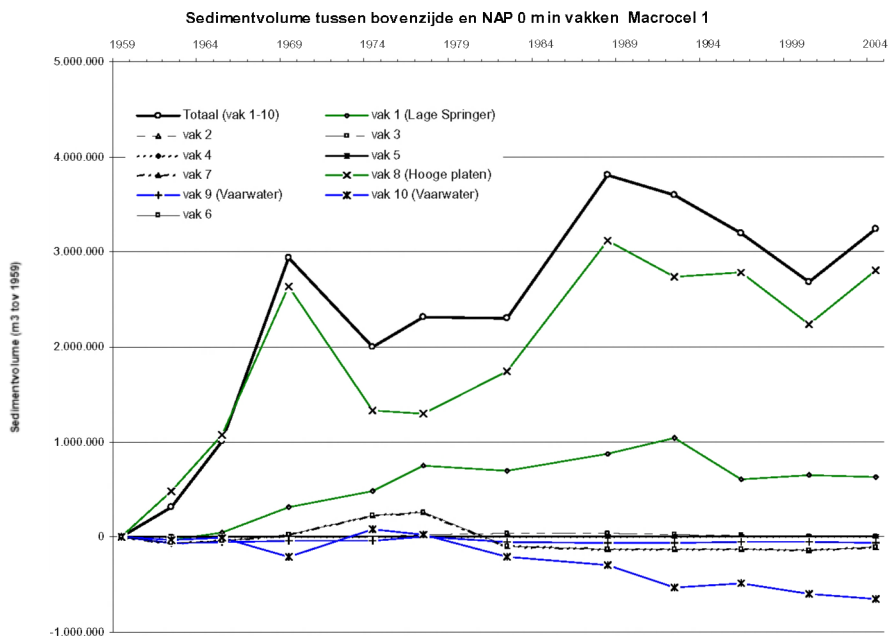
In de loop van de periode 1959 tot 2004 is weinig veranderd aan het areaal droogvallende plaat (ten opzichte van GLMWS), zoals zichtbaar is in figuur B1.7. Wel is de bijdrage van de hoge delen, met droogvalpercentages boven de 70 procent iets toegenomen ten opzichte van de lagere delen (figuur B1.8).



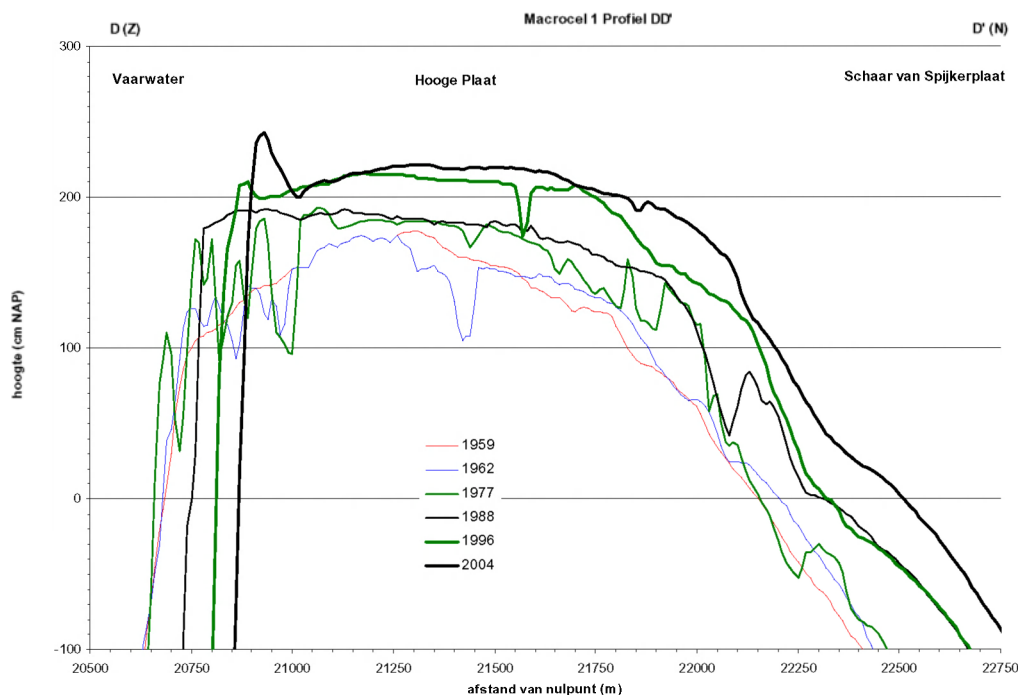
Figuur B1.8: Grafiek met de relatieve bijdrage van de verschillende droogvalpercentages aan het totale areaal droogvallende plaat in de loop van de tijd. Bepaald op basis van de kaarten met droogvalpercentages, ten opzichte van variërend referentievlak (GLMWS).

De analyse van de sedimentinhoud tussen NAP 0 meter en de bovenzijde van de platen en slikken in de gehele macrocel 1 en 2 is weergegeven in figuur B1.9. De toename die zichtbaar is voor de gehele macrocel wordt voor een belangrijk deel tot stand gebracht door de toename van het sedimentvolume van de Hooge Plaat en de Lage Springer. Het volume van de platen neemt toe (figuur B1.3) en van deze toename komt een deel van het sediment ten goede aan de hoge delen van de platen (figuur B1.9). Deze combinatie leert dat de toename van het areaal met hogere droogvalpercentages het gevolg is van de sedimenttoename van de hoge delen van de platen.

In de dwarsdoorsnede DD' van de Hooge plaat in figuur B1.10 is zichtbaar dat de plaat hoger is geworden. In dwarsdoorsnede HH' in figuur B.11 is zichtbaar dat lokaal ook herverdeling van sediment heeft plaatsgevonden. In deze dwarsdoorsnede is maximale hoogte afgenomen na 1977. De dwarsdoorsneden van 1996 en 2004 vertonen veel minder hobbels en bobbelen dan de oudere dwarsdoorsneden. Dit is een duidelijke aanwijzing dat het reliëf op de Hooge plaat is afgenomen.

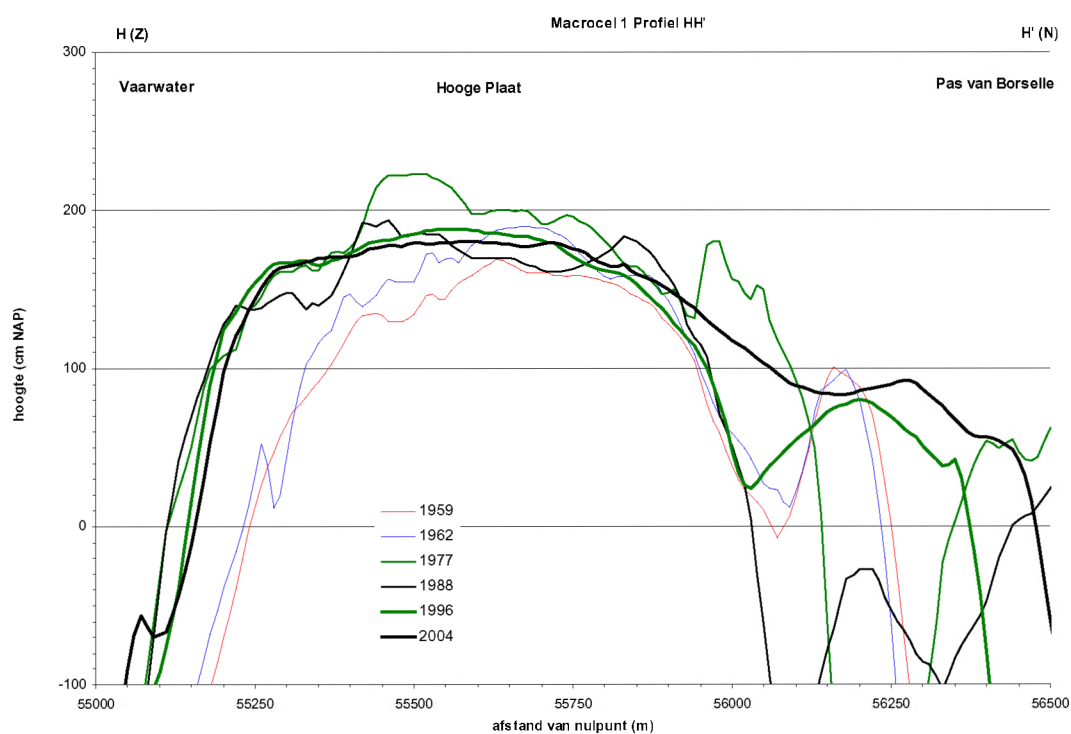


Figuur B1.9: De ontwikkeling van de sedimentinhoud tussen de bovenzijde van de plaat en NAP 0 meter (- is erosie, + is sedimentatie) van macrocel 1 en 2 en van de verschillende kubeervakken (aangegeven in figuur B1.2) ten opzichte van het referentiejaar 1959.

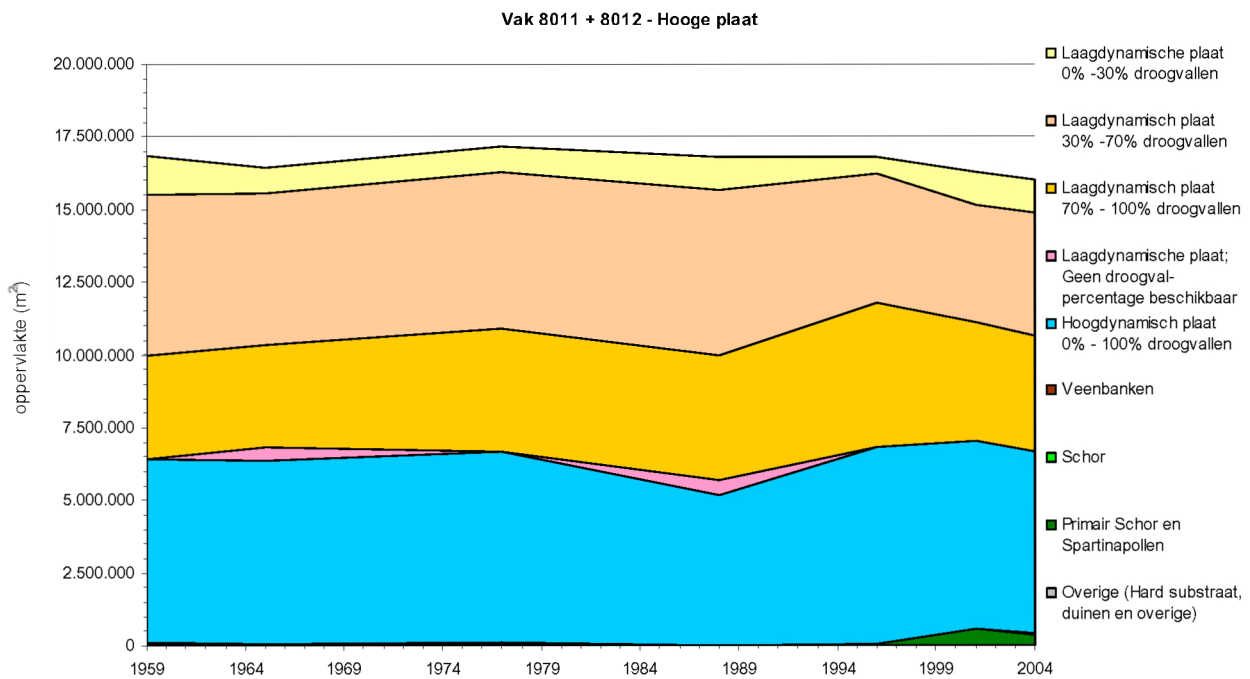


Figuur B1.10: Dwarsdoorsnede van de Hooge plaat ter hoogte van de Bol (dwarsdoorsnede DD') in verschillende jaren (locatie van de dwarsdoorsnede in figuur 4.5).

In figuur B1.12 is de ontwikkeling van de verschillende ecotopenklassen weergegeven. De afname van het totale areaal komt overeen met afname van het areaal droogvallende plaat (figuur B1.7). De verhouding van het areaal hoog- en laagdynamische plaat vertoont enkele schommelingen, maar is relatief stabiel in vergelijking met de andere plaatcomplexen. Van de klasse laagdynamische plaat valt een steeds groter deel in de categorie hoog (70% - 100% droogvallen) en steeds minder in de klasse midden 30% - 70 % droogvallen. Op de hoogste delen van de Hooge plaat is begroeiing aanwezig, zodat het primair schor ook een beperkte bijdrage aan het areaal van het plaatcomplex vormt.



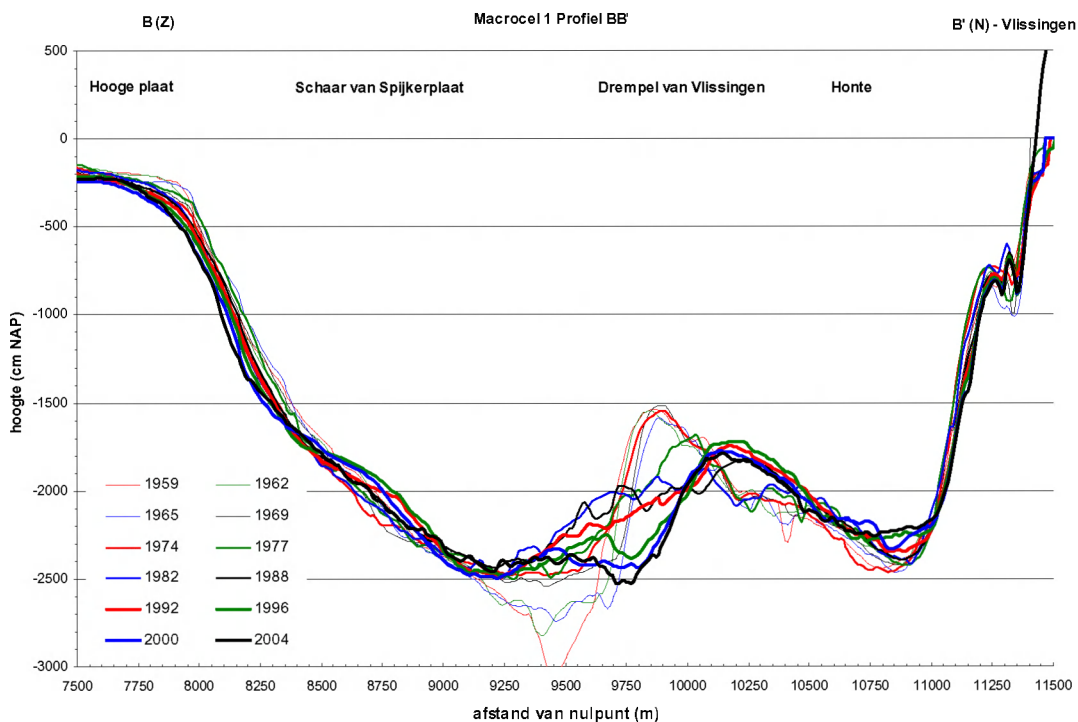
Figuur B1.11: Dwarsdoorsnede van de Hooge plaat ter hoogte van de Hooge Springer (dwarsdoorsnede HH') in verschillende jaren (locatie van de dwarsdoorsnede in figuur 4.5).



Figuur B1.12: Ontwikkeling van het areaal per ecotopenklasse voor de Hooge platen (vak 801 = vak 8011+ vak 8012, locatie van het vak in figuur 4.2).

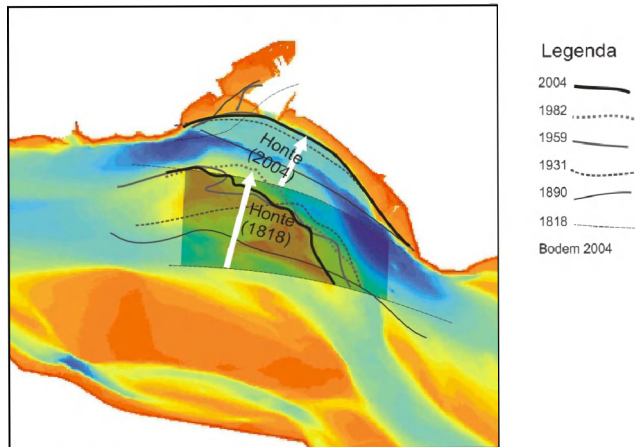
1.4 De Honte, de Spijkerplaat en de Schaar van Spijkerplaat

De Honte is de hoofdgeul van de Westerschelde in deze macrocel, die van Vlissingen naar Borssele loopt (figuur B1.13). De diepste delen van de geul bevinden zich voor Vlissingen en Borssele, waar de geulwand van de geul steil naar beneden duikt tot dieptes van NAP –45 meter. Voor de ingang van de Sloehaven en van de Kaloot bevindt zich een onderwater platform op een niveau van NAP –24 meter.

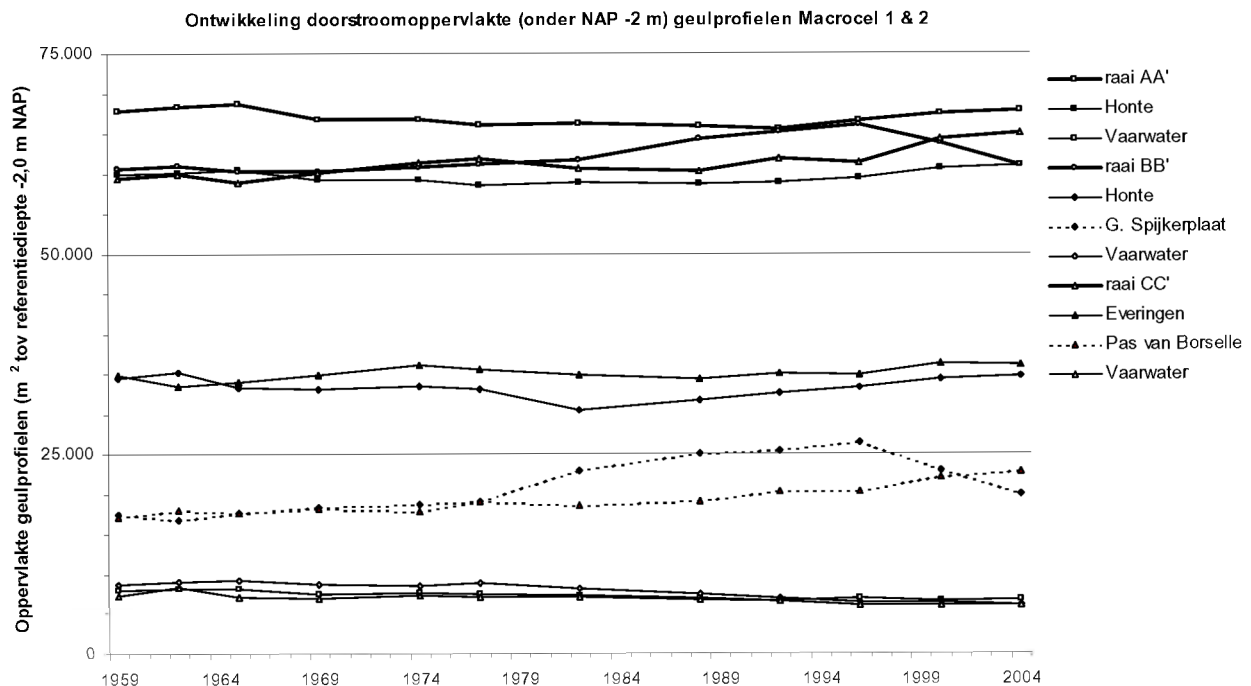


Figuur B1.13: Dwarsdoorsnede van de hoofdgeul (dwarsdoorsnede BB') macrocel 1 in verschillende jaren (locatie van de dwarsdoorsnede in figuur 4.5).

Aan de zuidzijde wordt de Honte begrensd door het eb- en vloed-schaar complex van de Spijkerplaat, inclusief de bijbehorende eb- en vloed-schilden. De platen en ondiepten van dit complex worden gevat onder de noemer Spijkerplaat. De bijbehorende vloed-schaar, die van het westen naar het oosten het gebied insteekt heet de Schaar van de Spijkerplaat. Aan de zuidzijde wordt de Schaar van de Spijkerplaat begrensd door de Hooge platen.



Figuur B1.14: Kaart met de noord- en zuidgrens van de geul Honte in de periode 1818 tot 2004. De huidige ligging van de Honte en de Spijkerplaat is tot stand gekomen in de loop van de 19^e eeuw (Figuur B1.14). De Honte is gaandeweg naar het noorden verplaatst, van een ligging min of meer in het midden van de Westerschelde, naar een ligging aan de noordoever. Deze noordwaartse verplaatsing is tot stand gekomen na het aanbrengen van bestortingen voor de dijken van Vlissingen en Borssele. Deze bestortingen hebben geleid tot het ontstaan van de diepe ontgrondingskuilen voor deze dijkvakken. Met de noordwaartse verplaatsing van de Honte is ook het complex van de Spijkerplaat noordwaarts verschoven. De Hooge platen zijn uitgebreid tot op de voormalige locatie van het Spijkerplaatcomplex.



Figuur B1.15: Grafiek met de ontwikkeling van het oppervlakte (in m²) van de dwarsdoorsneden van macrocel 1 en 2. De locatie van de raaien is gegeven in figuur 4.4.

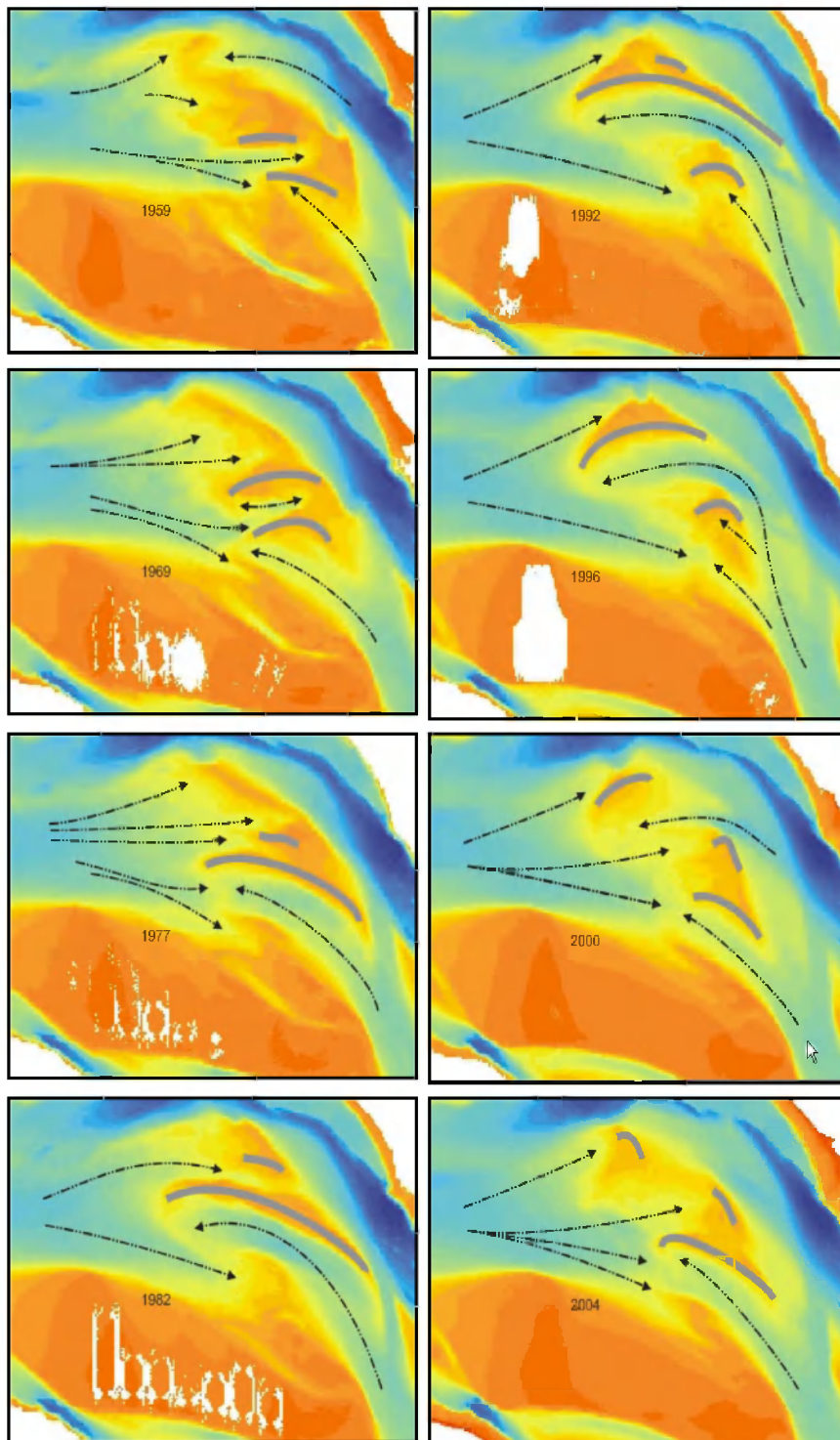
Ontwikkeling

Voordat we overgaan tot een beschrijving van de dynamiek van en rond de Spijkerplaat eerst de ontwikkeling van de geulen in macrocel 1 en 2. In figuur B1.15 is de ontwikkeling van het oppervlakte in drie dwarsdoorsneden loodrecht op de geulen gepresenteerd. De totale dwarsdoorsnede van de geulen vertoont een toename van 4 procent in raai A', een toename van 1 procent in raai BB' en toename van 5 procent in CC'. Het moment waarop deze toenames plaatsvinden verschilt per raai, zodat niet kan worden gesproken van een duidelijke trend in de ontwikkeling. Ook in de ontwikkeling van de verschillende geulen is geen overtuigende trend zichtbaar, met uitzondering van de afname van de grootte van het 'vaarwater' die in het volgende hoofdstuk wordt beschreven.

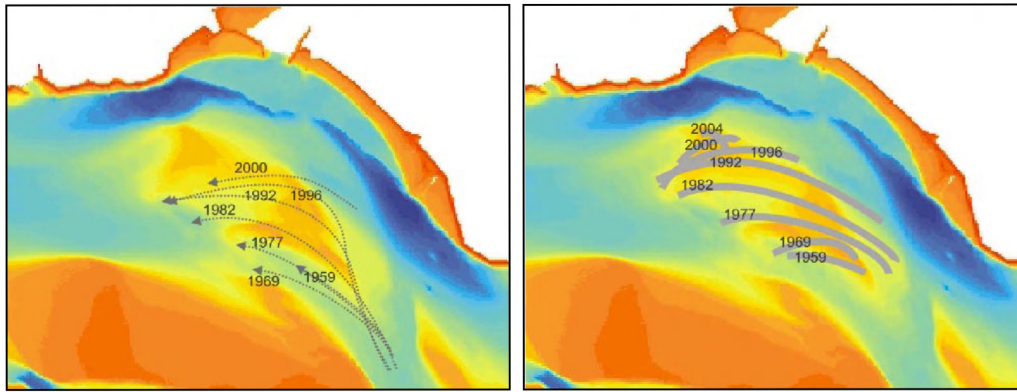
In de ontwikkeling van de sedimentvolumes van de Honte (vakken 4 en 7 in figuur B1.3) is een vrijwel doorgaande achteruitgang zichtbaar. In combinatie met de beperkte toename netto van het doorstroomoppervlak in de dwarsdwarsdoorsnede levert dit de aanwijzing op dat wel degelijk sprake is van een beperkte toename van de grootte van de Honte.

In figuur B1.16 is in een serie opeenvolgende kaarten de ontwikkeling van de eb- en vloedscharen en de bijbehorende schilden (ondieptes) bij de Spijkerplaat weergegeven. De geulen vormen een elkaar ontwijkend patroon van westwaarts gerichte ebgeulen (-scharen) en oostwaarts gerichte vloedgeulen (-scharen), die uitlopen in ondiepten (schilden).

De positie van de grootste vloedschaar, de Schaar van Spijkerplaat, verandert vrijwel niet, deze ligt ten noorden van de Hoofdplaat in het verlengde van de monding van de Westerschelde. De locatie van de belangrijkste ebschaar, die vanuit de Pas van Borssele naar het westen steekt verschuift gaandeweg naar het noorden, waarbij eerst de grootte en lengte van de geul toeneemt om daarna weer af te nemen (figuur B1.17 onderaan). De bijbehorende ondiepte die ten noorden van deze ebschaar ligt verandert mee, waarbij eveneens de grootte eerst toeneemt om daarna weer af te nemen (figuur B1.17 bovenaan). Deze ontwikkeling beslaat een periode van ruwweg 30 jaar.

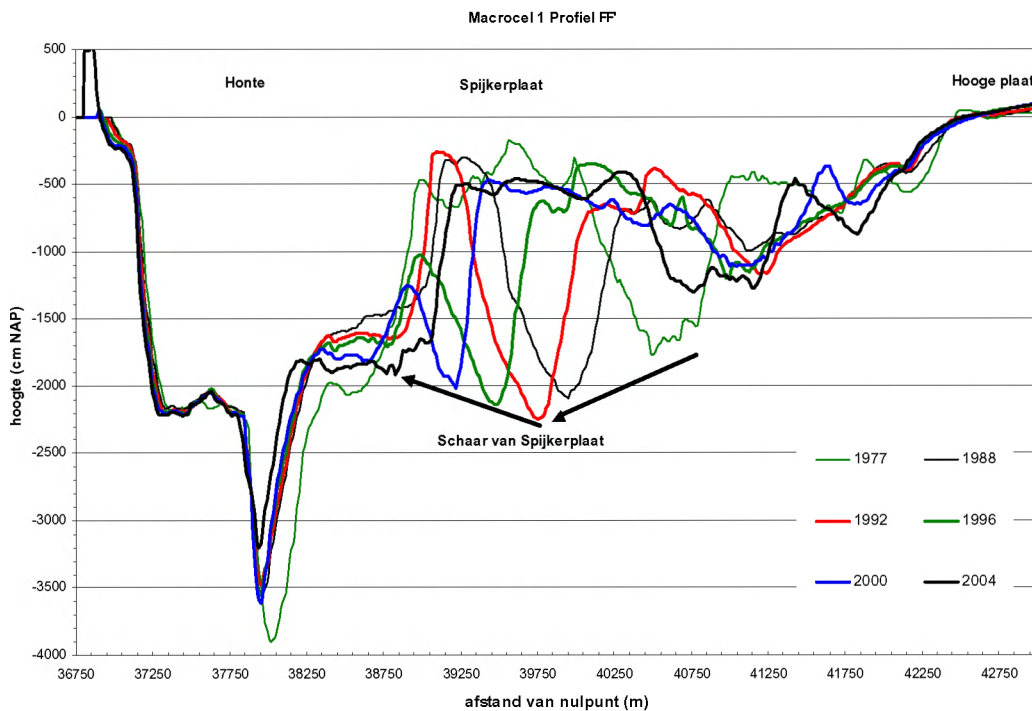


Figuur B1.16: Serie bodemliggingskaarten 1959-2004 met de locatie van eb- en vloedscharen (pijlen) en aangrenzende banken (grijze krommen) op en rond de Spijkerplaat.



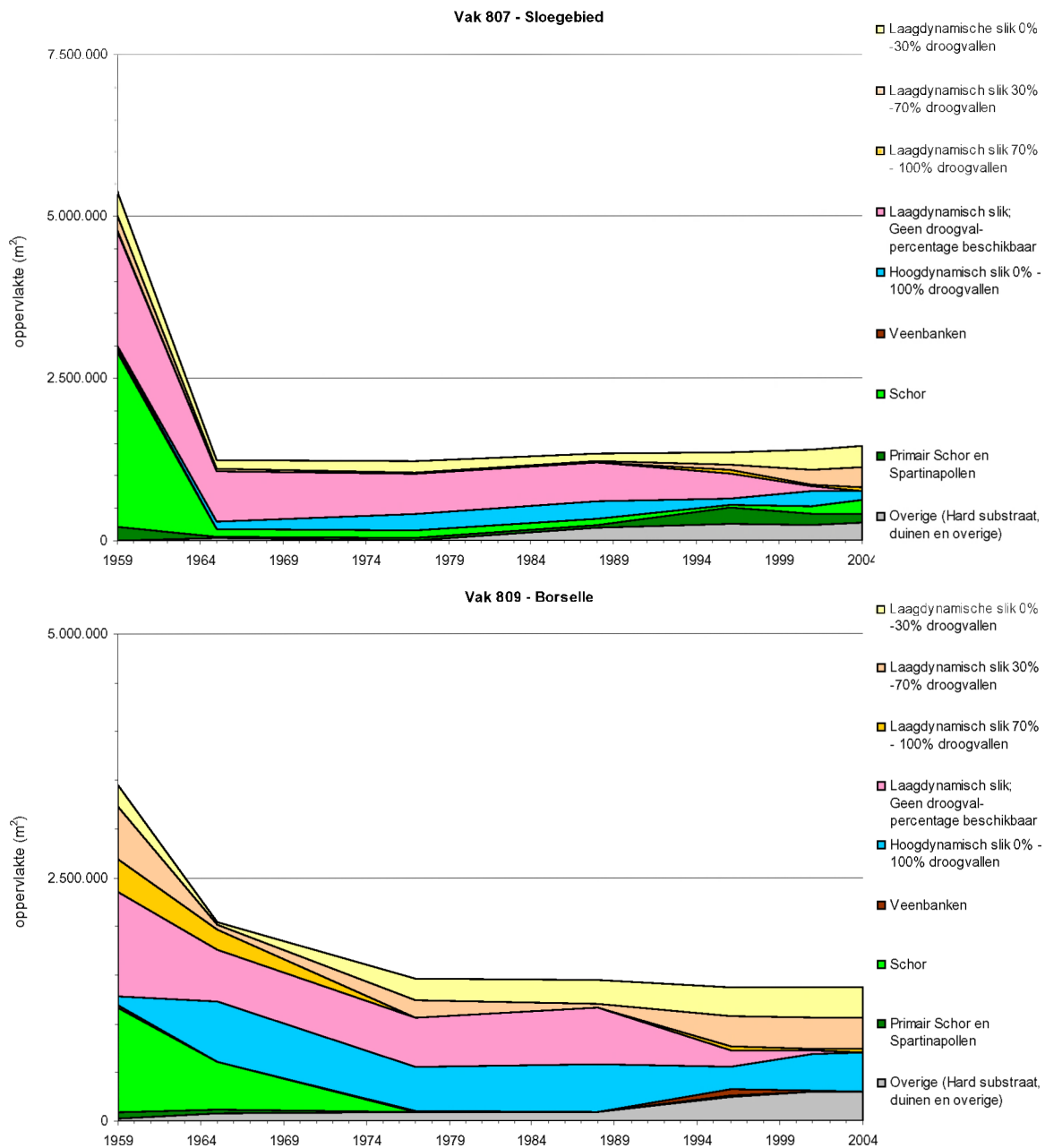
Figuur B1.17: Samenvattende figuur met de migratie van ebschaar (links) en de bijbehorende bank (rechts) op de Spijkerplaat in de periode 1959 tot 2000.

In de dwarsdoorsnede van het complex rond de Spijkerplaat in figuur B1.18 is goed te zien hoe de ontwikkeling van de ebschaar begint met een toename van de grootte van de geul, waarna de noordwaartse migratie van de geul begint, die doorgaat totdat de geul één is met de Honte.



Figuur B1.18: Dwarsdoorsnede van de Honte, de Spijkerplaat en de Schaar van Spijkerplaat (dwarsdoorsnede FF, locatie in figuur 4.5).

De Spijkerplaat levert een zeer variabel areaal intergetijdengebied, omdat de dynamiek van het complex ook tot uiting komt in de variërende hoogte van de plaat. IN 1959 is een deel van de Spijkerplaat intergetijdengebied. Het Sloegebied, de Kaloot en het intergetijdengebied voor de dijk bij Vlissingen en Borssele een bijdrage aan het areaal slikken van deze macrocel. De bouw van de Sloehaven heeft het areaal schorren en laagdynamische slikken drastisch gereduceerd na 1959 (figuur B1.19). Na die tijd wordt de verdeling van het totale areaal over de verschillende ecotopenklassen gedomineerd door het grote areaal slikken waarvan de droogvalpercentages niet bekend zijn. Het totale areaal is min of meer gelijk gebleven.



Figuur B1.19: Ontwikkeling van het areaal per ecotopenklasse voor de Kaloot (boven, vak 809) en het Sloe (onder, vak 807, locatie van de vakken in figuur 4.2).

1.5 Het 'Vaarwater' en de Slikken bij de Paulinapolder

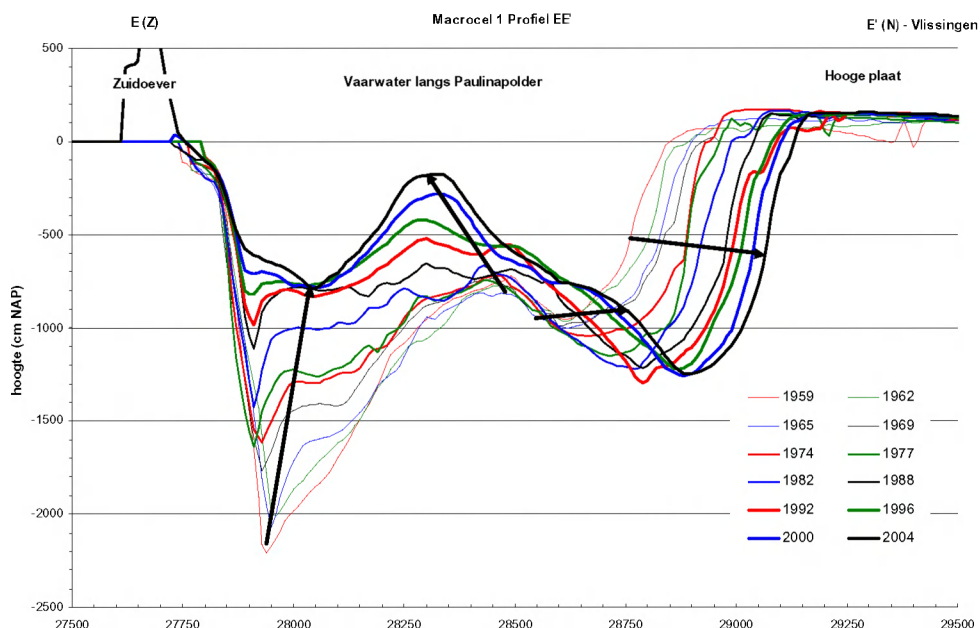
Aan de zuidzijde van de Hooge platen loopt het 'Vaarwater'. De naam 'Vaarwater' herinnert aan de historische tijden toen deze geul de verbinding vormde tot de Sas van Gent, via de geulen in de Braakman. Na het verdwijnen van deze verbinding is de naam 'Vaarwater' gehandhaafd en verbonden met de Hoofdplaat (de oude naam voor de Hooge platen) en de Paulinapolder.

Het Vaarwater bestaat tegenwoordig van west naar oost uit een naar het zuiden uitbochtend deel van de geul, een naar het noorden uitbochtend deel en wederom een naar het zuiden uitbochtend deel. De eerste zuid- en noordbocht zijn gescheiden door een ondiepte die in de loop van de jaren de vorm van een langgerekte plaat heeft aangenomen.

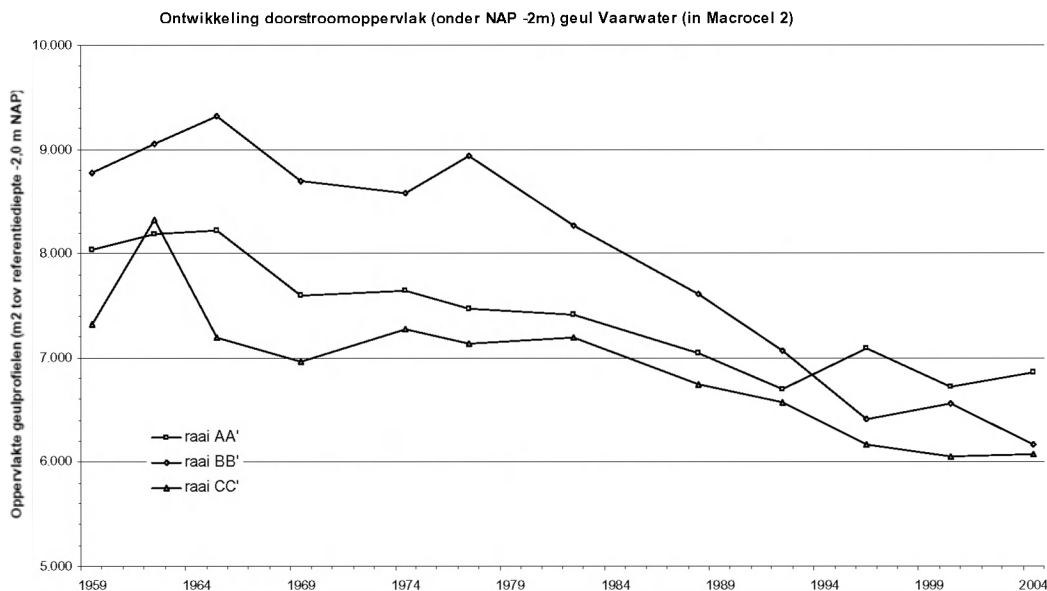
Naast deze langgerekte plaat in het 'Vaarwater' leveren de slikken bij de Paulinapolder een bijdrage aan het areaal intergetijdengebied in macrocel 1 en 2.

Ontwikkeling

De grootte van het 'Vaarwater' neemt al meer dan honderd jaar af en de locatie van de geul is gaandeweg naar het zuiden geschoven (figuur B1.5). Ook tegenwoordig neemt de grootte van de geul nog steeds af. Dit is moeilijk zichtbaar in de dwarsdoorsnede van de geul (figuur B1.20), maar zeer duidelijk in de ontwikkeling van het oppervlak van de dwarsdoorsneden (figuur B1.21).



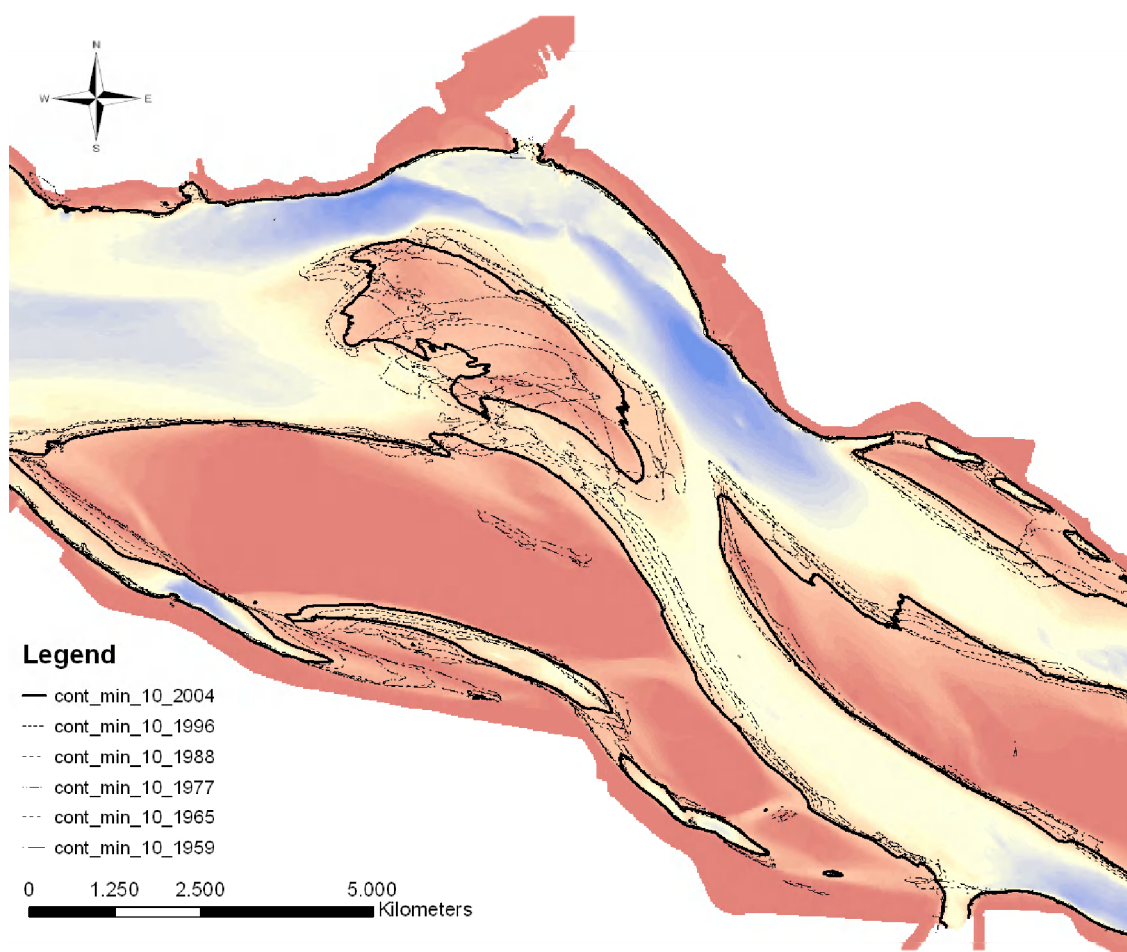
Figuur B1.20: Dwarsdoorsnede van het Vaarwater (dwarsdoorsnede EE', locatie in figuur 4.5)



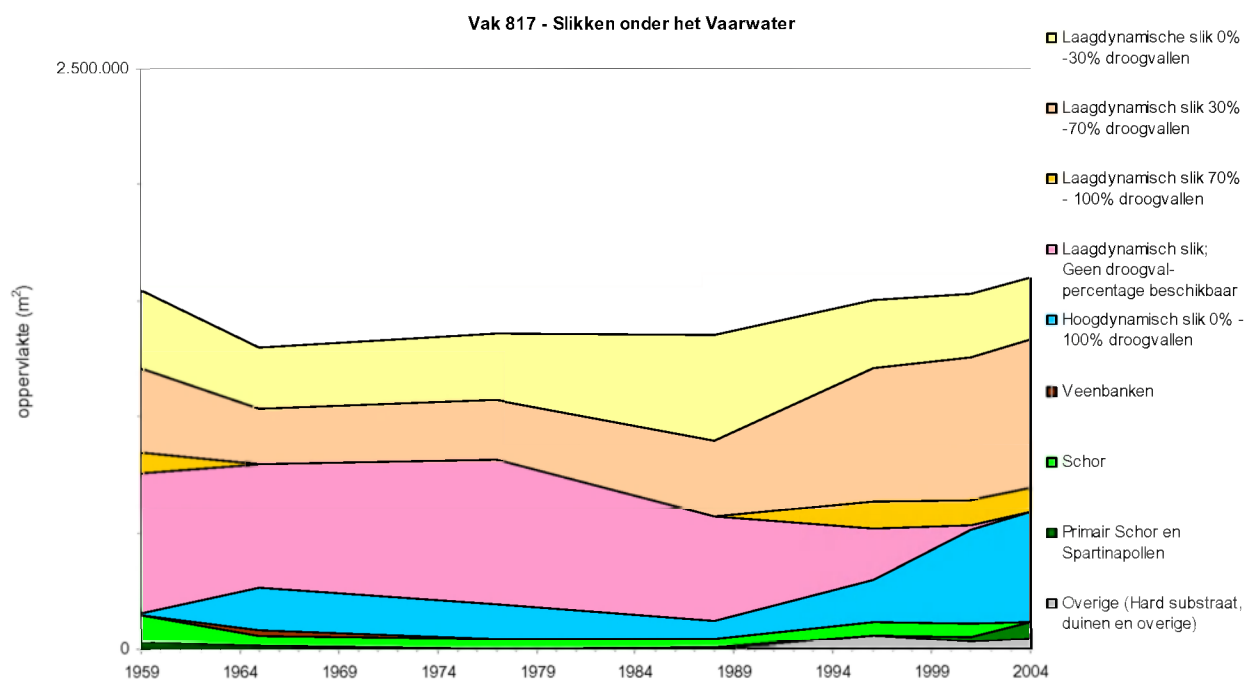
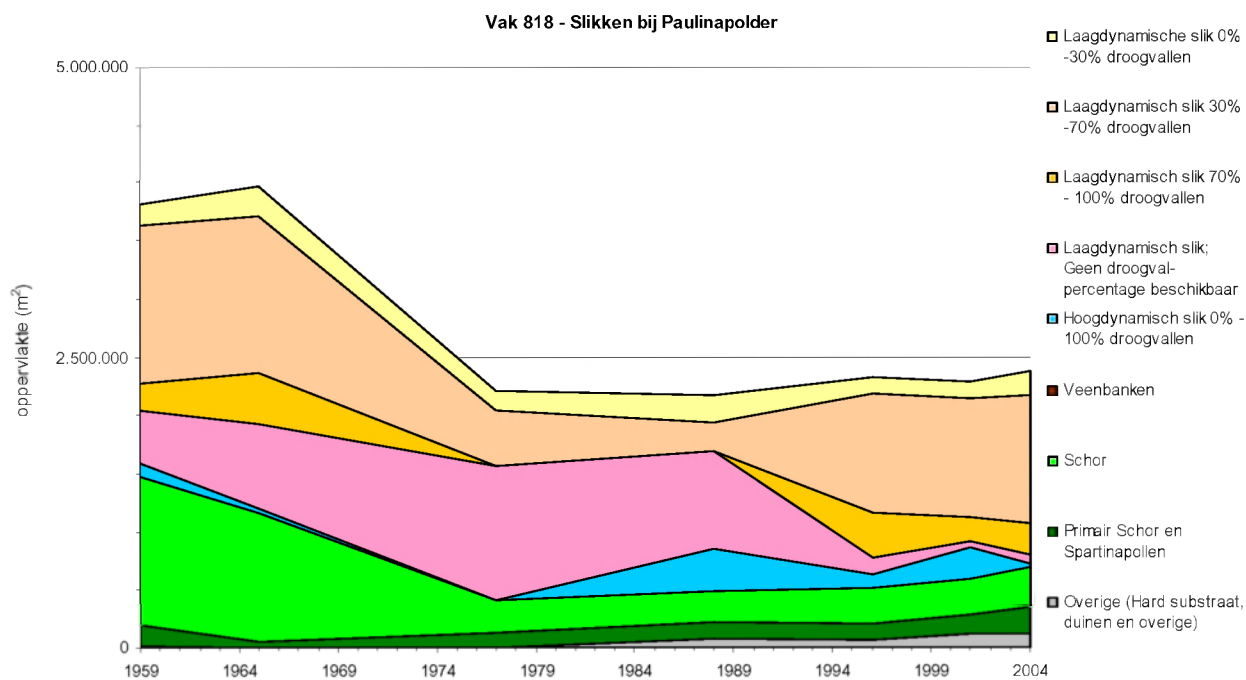
Figuur B1.21: Grafiek met de ontwikkeling van de oppervlakte van de dwarsdoorsnede (in m²) van het vaarwater langs de Hoofdplaat en langs de Paulinapolder

Naast de afname van de grootte is de belangrijkste ontwikkeling van de geul de uitbochting van de noordbocht. Deze erosie is zichtbaar in de ontwikkeling van de NAP –10 meter contour (figuur B1.22). Ook in het dwarsprofiel van dit deel van 'Vaarwater' (figuur B1.21) is duidelijk zichtbaar dat de noordelijke geulwand met enkele meters per jaar naar het noorden verplaatst. De uitbochting leidt tot een doorgaande erosie van de Hooge platen op deze locatie.

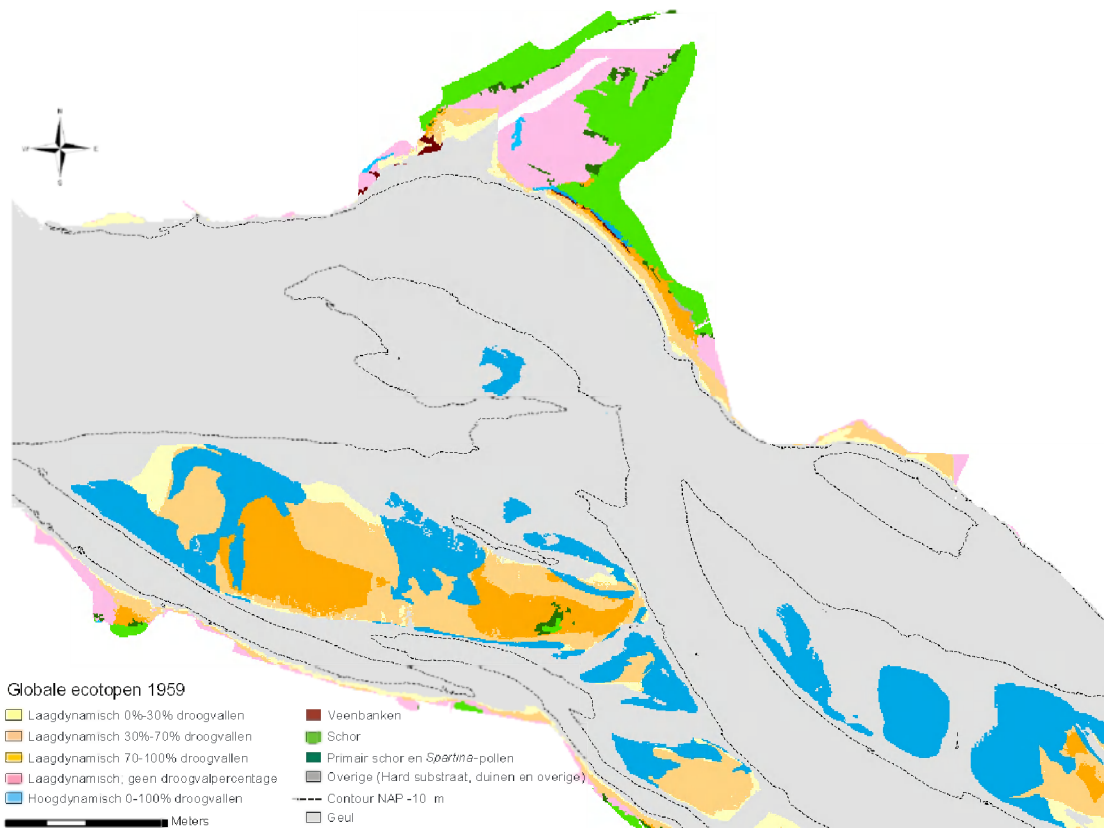
De ingrepen bij de Braakmanhaven en de Mosselbanken hebben geleid tot een belangrijke afname van het areaal schorren en laagdynamische slikken in het gebied na 1965 (figuur B1.23). Sindsdien is het areaal inter- en supragetijdengebied langzaam toegenomen. De toename is het gevolg van het ontstaan van de langgerekte plaat in het 'Vaarwater' en van het uitbreiden van de slikken bij Paulinapolder. Deze uitbreiding is zichtbaar in de ontwikkeling van de GLMWS contour (figuur B1.6) ter hoogte van de Paulinapolder.



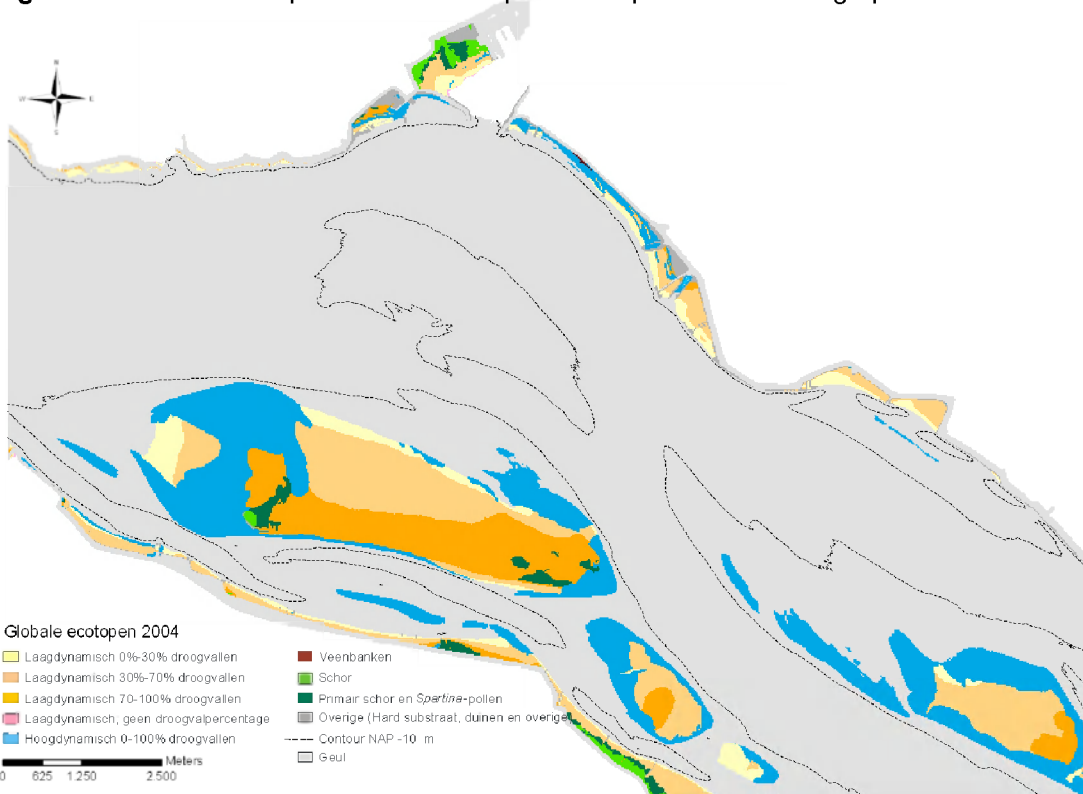
Figuur B1.22: Kaart met de contouren van het NAP –10 meter niveau in macrocel 1 en 2 in de periode 1959 tot 2004.



Figuur B1.23: Ontwikkeling van het areaal per ecotopenklasse voor de slikken bij Paulinapolder (boven, vak 818) en de slikken onder het Vaarwater (onder, vak 817, locatie van het vak in figuur 4.2).



Figuur B1.24: De ecotopencarta van het platencomplex van de Hooge platen in 1959.



Figuur B1.25: De ecotopencarta van het platencomplex van de Hooge platen in 2004.

In de figuren B1.24 en B1.25 zijn de ecotopenkaarten van macrocellen 1 en 2 weergegeven van respectievelijk 1959 en 2004, inclusief de contouren van de droogvalpercentages. Het verdwijnen van de schorren en slikken die in de kaart van 1959 nog zichtbaar zijn in het Sloe-gebied ten westen van Vlissingen, is hierboven beschreven. Twee andere belangrijke verschillen tussen de kaarten van 1959 en 2004 zijn de veranderingen op de Hooge platen in de verdeling van de arealen hoog- en laagdynamische plaat en veranderingen van de droogvalcontouren.

De aanwezigheid van hoogdynamisch plaatareaal op de Bollen, ten zuiden van de Schaar van Spijkerplaat en op de Lage Springer is vergelijkbaar in de kaarten van 1959 en 2004. De aanwezigheid van dit hoogdynamische areaal hangt samen met de aanstroming vanuit de geulen de plaat op. In de kaart van 1959 is daarnaast tussen de Bollen en de Hooge Springer een gebied aanwezig met hoogdynamisch plaatareaal, dat in 2004 afwezig is. De locatie van het hoogdynamische gebied in 1959 valt samen met een relatief laag deel van de plaat. Dit lage deel van de plaat is het restant van de geul die in het verleden de Bol en de Hooge Springer heeft gescheiden. In 2004 is het laagliggende gebied niet meer aanwezig, net zo min als het hoogdynamische areaal. Waarschijnlijk was op deze locatie de lage ligging aan de hoge dynamiek gekoppeld, doordat de getijdestroming door het lage deel van de plaat liep.

1.6 Analyse van de ontwikkelingen

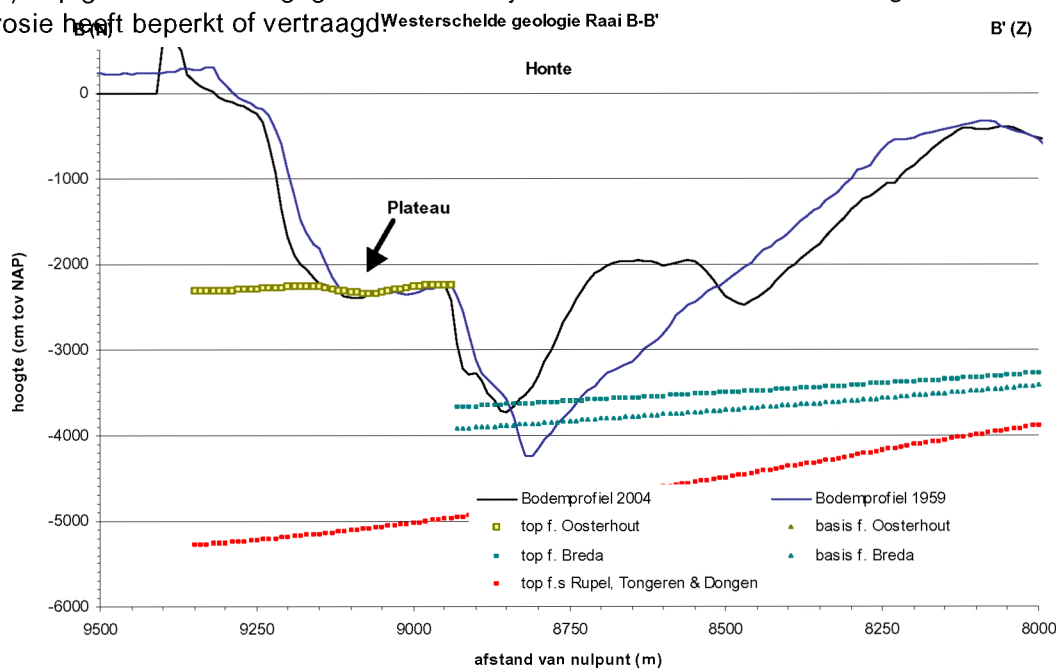
De lange termijn ontwikkeling van het Vaarwater

De afname van de grootte van het 'Vaarwater' is een ontwikkeling die over een periode van tenminste 200 jaar speelt. De belangrijkste sturende factor hierin is de afname van het debiet van de geul, die weer het gevolg is van de afname van het getijdevolume van de voormalige Braakman. De afname van het getijdevolume van de voormalige Braakman is een natuurlijke ontwikkeling geweest. Deze ontwikkeling is het gevolg geweest van de doorgaande sedimentatie in dit bekken. De geleidelijke bedijking van de hoog opgeslibde delen van het bekken heeft deze ontwikkeling beklonken. De uiteindelijke afdamming van de Braakman is de laatste stap geweest in deze ontwikkeling.

De invloed van harde lagen

Het plateau in de Honte, op een niveau van NAP -24 meter valt samen met de aanwezigheid van moeilijk erodeerbare lagen uit de Formatie van Oosterhout (figuur B1.26). De betreffende lagen bestaan uit dikke deels verkitte schelpenbanken ("crag"). Het is niet onaannemelijk dat het plateau in de Honte wordt veroorzaakt door deze "crag", die hier fungeren als een natuurlijke oeververdediging.

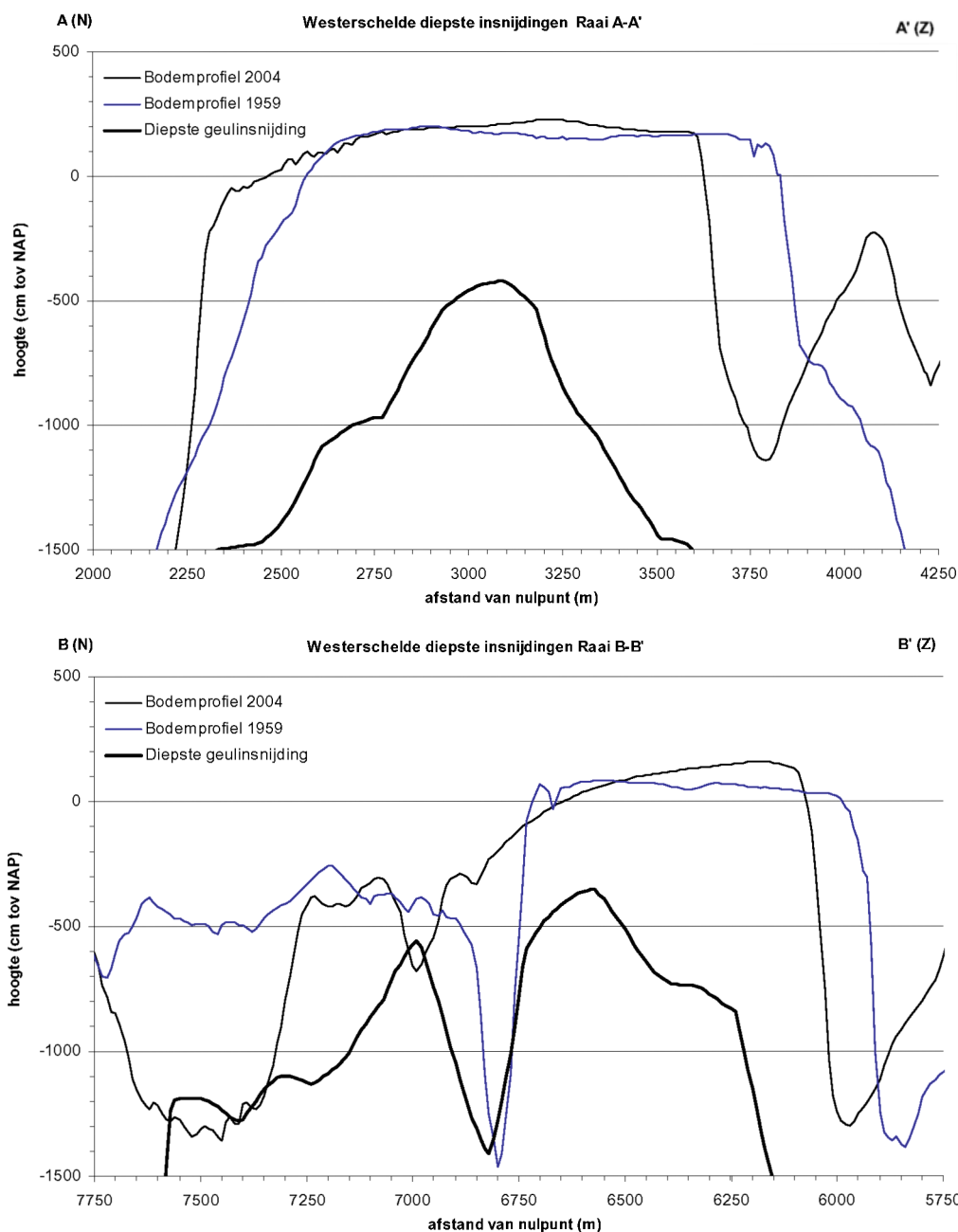
De diepe delen van de Honte snijden in oudere moeilijk erodeerbare lagen in (ook zichtbaar in figuur B1.26). Op grond van deze gegevens is moeilijk vast te stellen of de aanwezigheid van deze lagen de erosie heeft beperkt of vertraagd.



Figuur B1.26: Dwarsdoorsnede BB' van de Honte, met de uit boringen geïnterpoleerde aanwezigheid van enkele moeilijk erodeerbare lagen (niet gecorrigeerd voor erosie door geulen). De locatie van de dwarsdoorsnede is weergegeven in figuur 4.3).

De Hooge Plaat bestaat niet uit moeilijk erodeerbare lagen met een dunne bedekking van recent sediment. Weliswaar is er een kern van oudere afzettingen onder de plaat aanwezig, maar deze ligt op een diepte van maximaal NAP -4 meter onder het centrale deel van de plaat (figuur B1.27). De

verplaatsing van de geulen aan de noord- en zuidzijde van de plaat in de afgelopen tweehonderd jaar hebben weinig van de oude afzettingen achtergelaten in dit gebied.



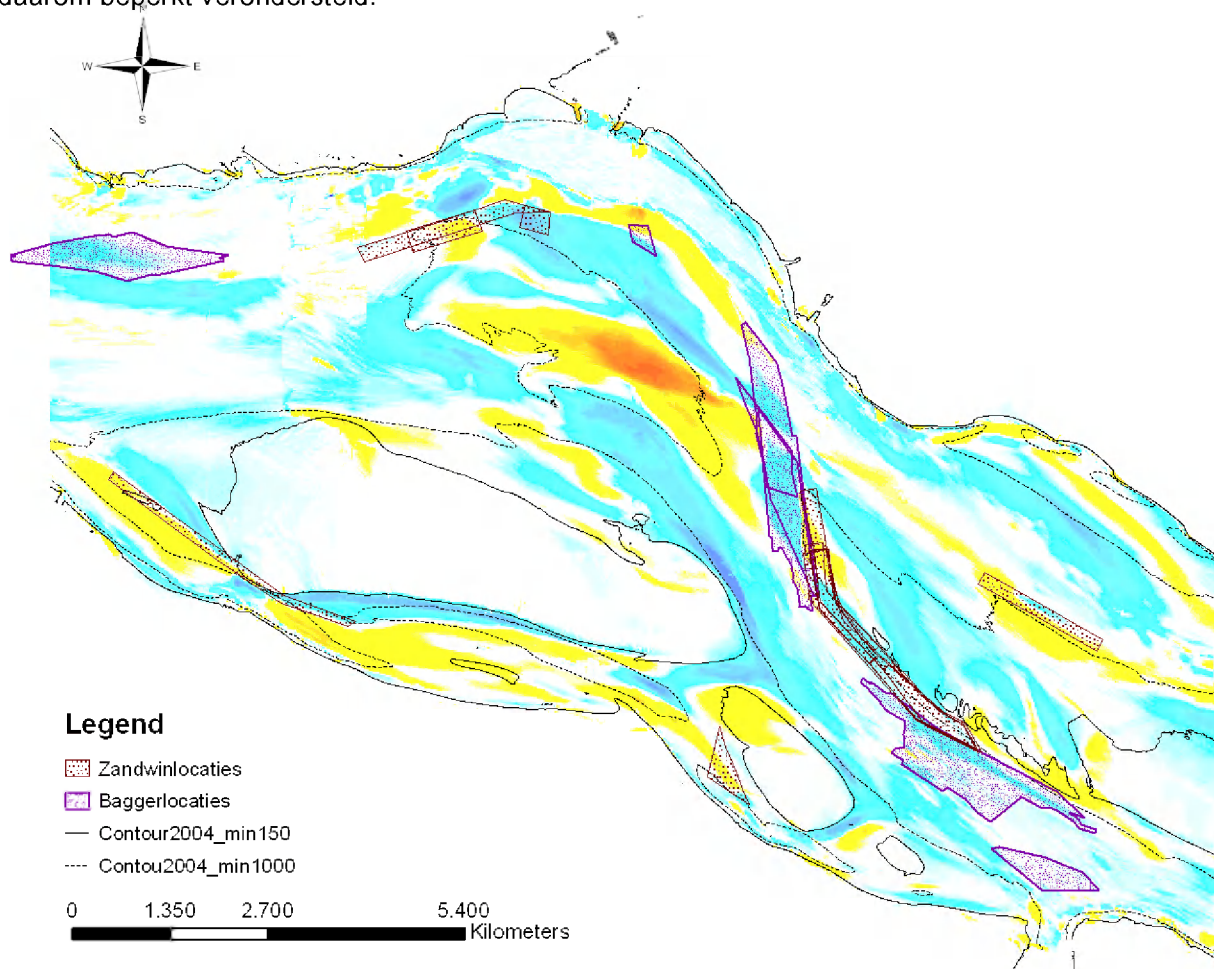
Figuur B1.27: Dwarsdoorsnedes AA' (voorgaande pagina) en BB' van de Honte, met de uit de historische kaarten van 1800 tot 2004 bepaalde maximale insnijdingsdiepte van geulen. De locatie van de dwarsdoorsnedes is weergegeven in figuur 4.3).

Menselijke ingrepen en de morfologische ontwikkelingen

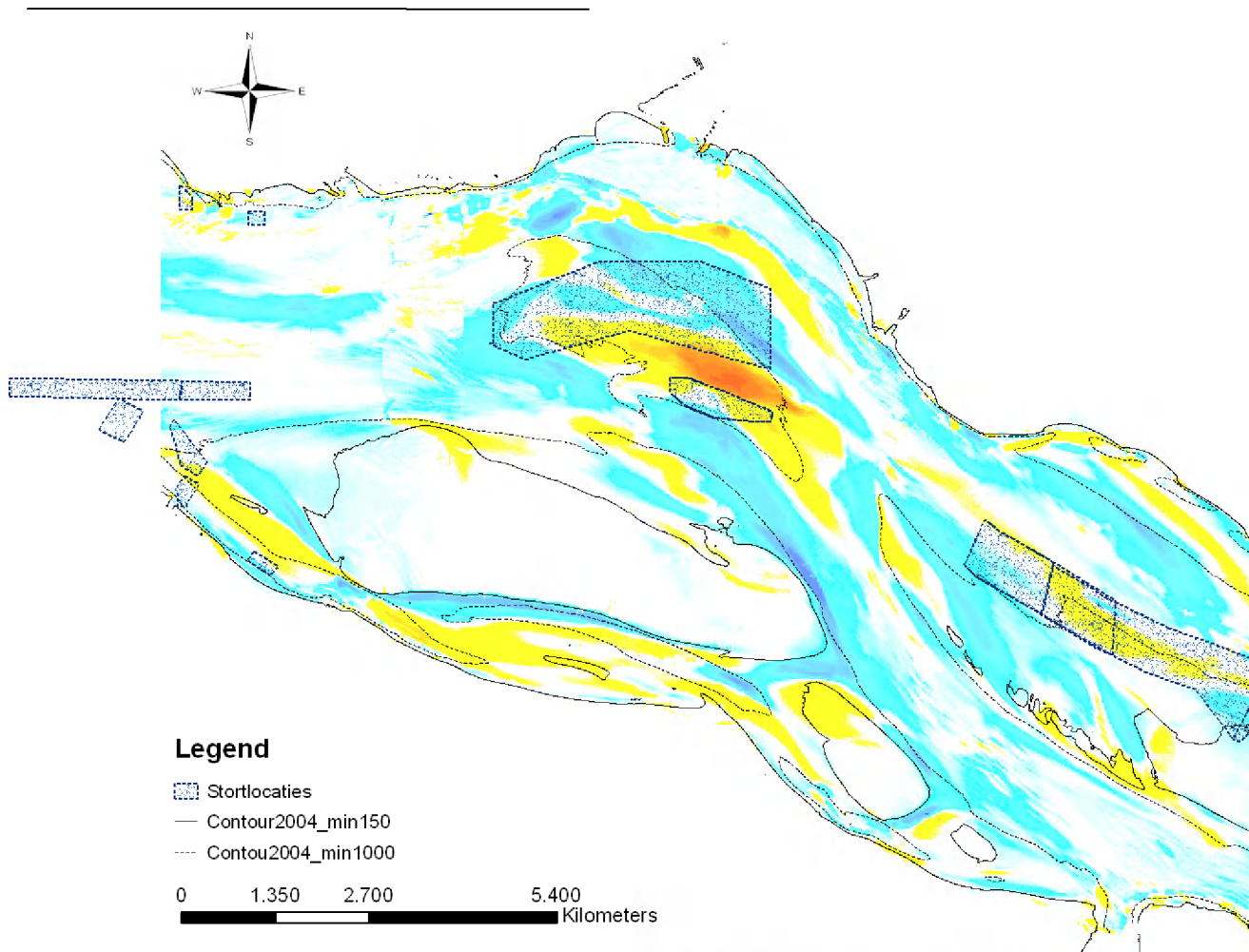
De ontwikkeling van de Honte is waarschijnlijk voor een belangrijk deel gestuurd door het aanbrengen van bestortingen voor de dijkvakken bij Vlissingen en Borssele. Deze bestortingen hebben de noordwaartse verplaatsing tot staan gebracht, maar hebben daarbij wel voor de

ontwikkeling van ontgrondingenkuilen gezorgd. De diepe 'putten' in de geul voor Vlissingen en Borssele zijn daarmee het gevolg van menselijk ingrijpen dat in de loop van de 18^e en 19^e eeuw heeft plaatsgevonden.

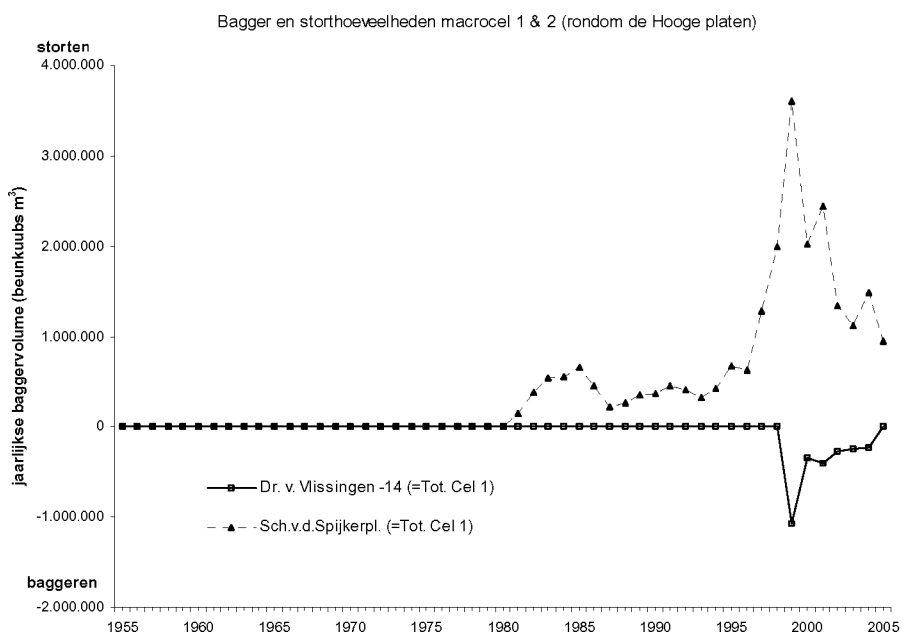
Het is niet waarschijnlijk dat de onttrekking (figuur B1.28) of het storten (figuur B1.29) van sediment in macrocel 1 en 2 een grote bijdrage heeft geleverd aan de ontwikkelingen in het gebied. De belangrijkste stortlocatie voor het onderhoudsbaggerwerk van macrocel 1 en 2 ligt bij de Spijkerplaat. Op deze locatie wordt gestort sinds de jaren tachtig, met een piek in 1999. Het stortvolume op deze locatie is weergegeven in figuur B1.30 en het cumulatieve stortvolume in figuur B1.31. De sedimentverplaatsing die van nature in dit gebied plaatsvindt is zo groot dat het storten van het sediment hier een relatief kleine bijdrage levert. Het aantal locaties waar sediment wordt onttrokken is in deze macrocel beperkt tot de drempel bij Vlissingen. Op deze locatie worden sinds 1999 relatief kleine volumes sediment onttrokken. De invloed van baggeren en zandwinning in dit gebied wordt daarom beperkt verondersteld.



Figuur B1.28: Locaties waar in de periode 1990 tot 2004 onttrekking (baggeren en zandwinnen) van sediment heeft plaatsgevonden in macrocel 1 en 2, weergegeven op een kaart met de sedimentatie (rood) en erosie (blauw) in de periode 1988 tot 2004.



Figuur B1.29: Locaties waar in de periode 1990 tot 2004 storting van sediment heeft plaatsgevonden in macrocel 1 en 2, weergegeven op een kaart met de sedimentatie (rood) en erosie (blauw) in de periode 1988 tot 2004.

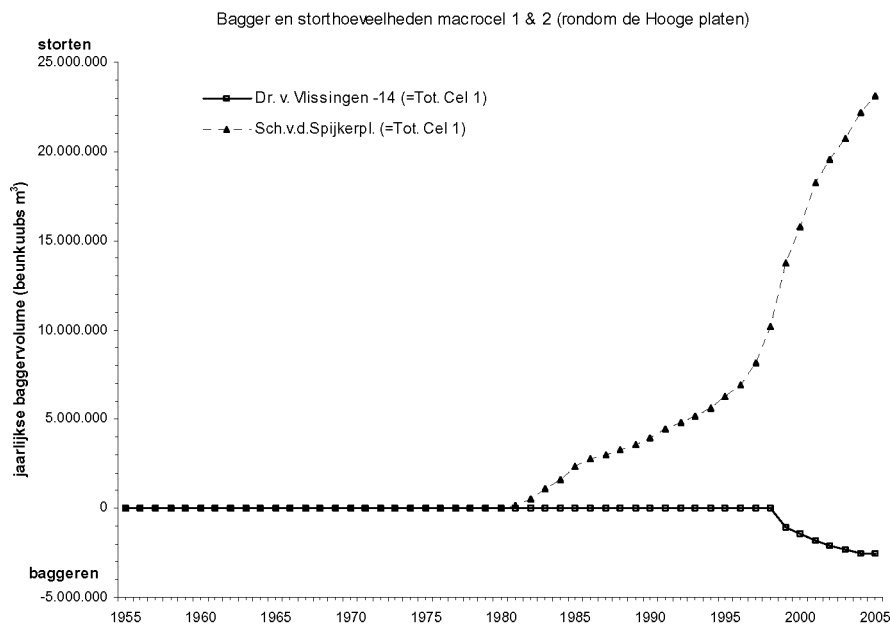


Figuur B1.30: Grafiek met de jaarlijkse stortvolumes (positief) en baggervolumes (negatief) in macrocel 1 en 2 en in de verschillende bagger- en stortgebieden in de periode 1955 tot 2005.

Zanduitwisseling tussen plaat en geul

Het sedimentvolume van de Hooge platen is toegenomen. Het is niet in één oogopslag duidelijk welk proces deze toename heeft veroorzaakt. In het algemeen kan worden opgemerkt dat netto toename betekent dat óf de toevoer van sediment naar de plaat is toegenomen, óf de afvoer van sediment vanaf de plaat is afgenomen.

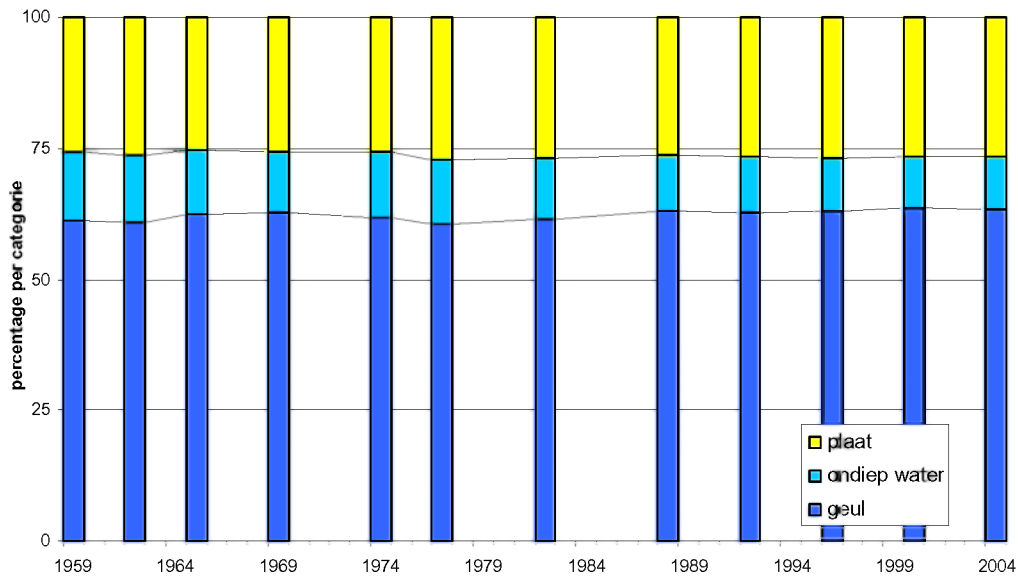
Voor een toename van de aanvoer, bijvoorbeeld door een meer directe aanstroming naar de plaat zijn geen aanwijzingen gevonden. De grootschalige geulpatronen zijn niet gewijzigd en er zijn geen vloed- of ebscharen meer die naar de Hooge platen zijn gericht. In tegendeel, de vloodschaar die aan de noordzijde de Hooge plaat insteekt, is steeds verder opgevuld met sediment.



Figuur B1.31: Grafiek met de cumulatieve stortvolumes (positief) en baggervolumes (negatief) in macrocel 1 en in de verschillende bagger- en stortgebieden in de periode 1955 tot 2005.

De afvoer van sediment vanaf de Hooge platen, inclusief de Lage Springer, is mogelijk afgenomen, doordat de aanwezigheid en grootte van geulen die door het plaatcomplex lopen (de Springergeul, de Thomasgeul en de eerder genoemde vloodschaar) is afgenomen. Deze afname van de geulen is terug te vinden in de absolute (figuur B1.4) en relatieve afname van het areaal ondiepwater (figuur B1.32) in macrocel 1 en 2.

Cel 1 & 2: Relatieve bijdrage geul-ondiep water -plaat



Figuur B1.32: De relatieve bijdrage van de arealen geul, ondiepwater en plaat (gedefinieerd ten opzichte van een vaste referentiehoogte) in alle kubeervakken samen van macrocel 1 en 2.

1.7 Samenvatting van de ontwikkelingen

Dat de Hooge plaat inderdaad een hoge plaat is, valt af te leiden uit het feit dat een belangrijk deel van de plaat in droogvalklassen van meer dan 70 procent valt. Het totale areaal van de Hooge plaat is stabiel. Het aandeel in de klassen 30 procent tot 70 procent droogvallen is tussen 1959 en 2004 afgenomen van 50 procent tot 40 procent, dit is een afname van ongeveer $1 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ (100 hectare). De toename van de hoogte valt samen met een toename van het sedimentvolume van het platencomplex.

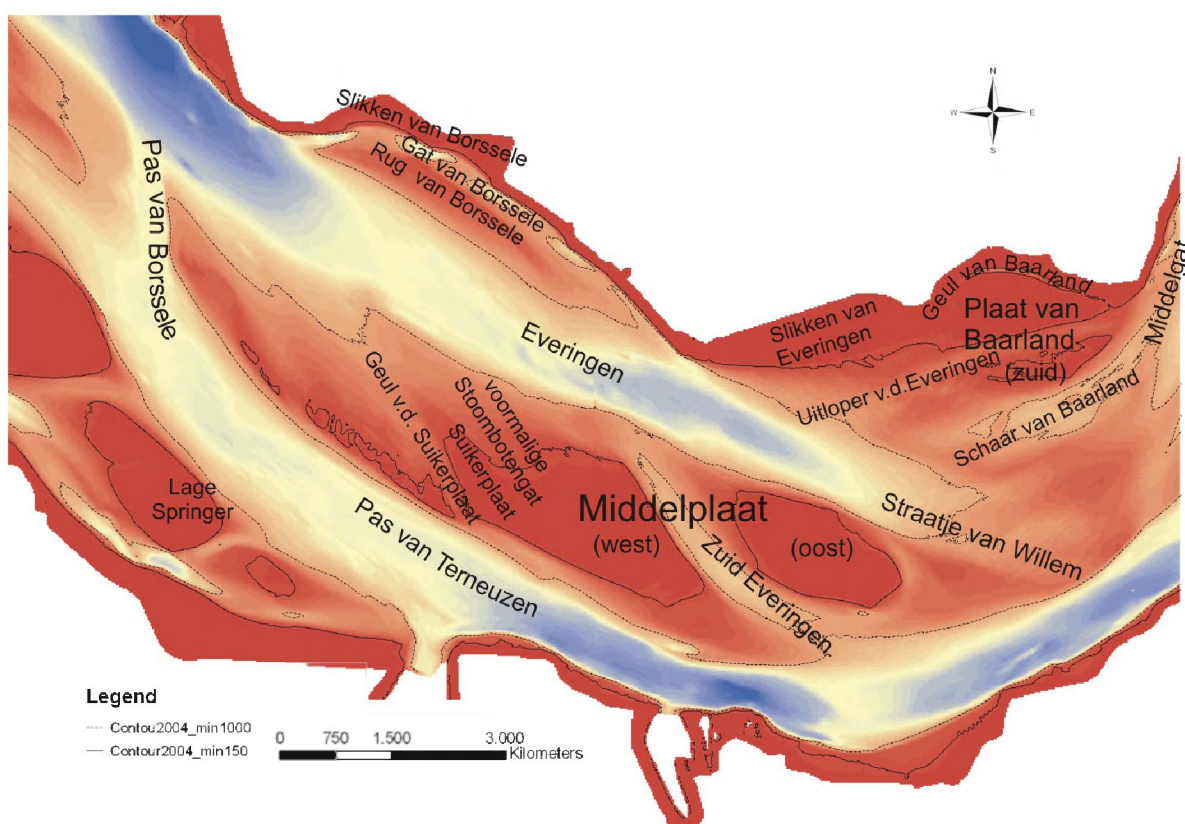
De Hooge platen bestaan voornamelijk uit hoog- en laagdynamische plaat, met een beperkt areaal schorren. Het belang van het areaal hoogdynamische plaat is sinds 1959 enigszins toegenomen. In de periode 1959 tot 2004 is het aantal platen van het complex afgenomen van 16 (in 1959) tot minimaal 6 (in 1996). Het reliëf op de Hoge platen is afgenomen.

Het areaal ondiepwater in macrocel 1 en 2 is afgenomen met bijna $2 \cdot 10^6 \text{ m}^2$, met name in de directe omgeving van het Hoogelaten complex.

Bijlage 2: Macrocel 3: Rondom de Middelplaat

2.1 Inleiding

Macrocel 3 omvat het platencomplex van de Middelplaten, dat wordt omsloten door de Pas van Terneuzen en de Everingen. De Pas van Terneuzen is de hoofdgeul en deze geul gaat naar het westen over in de Pas van Borssele en in het oosten in het gat van Ossenisse. De Everingen is de nevengeul, die naar het oosten uitloopt in enkele vloedscharen, waaronder het Straatje van Willem. Deze vloedscharen maken deel uit van het drempelcomplex van de Everingen, samen met ebscharen die vanuit het Middelgat naar het westen steken. De schaar van Baarland is een van deze ebscharen. Ten noorden van dit drempelcomplex liggen de Platen van Baarland. Tussen de Platen van Baarland en de kust ligt de Geul van Baarland.

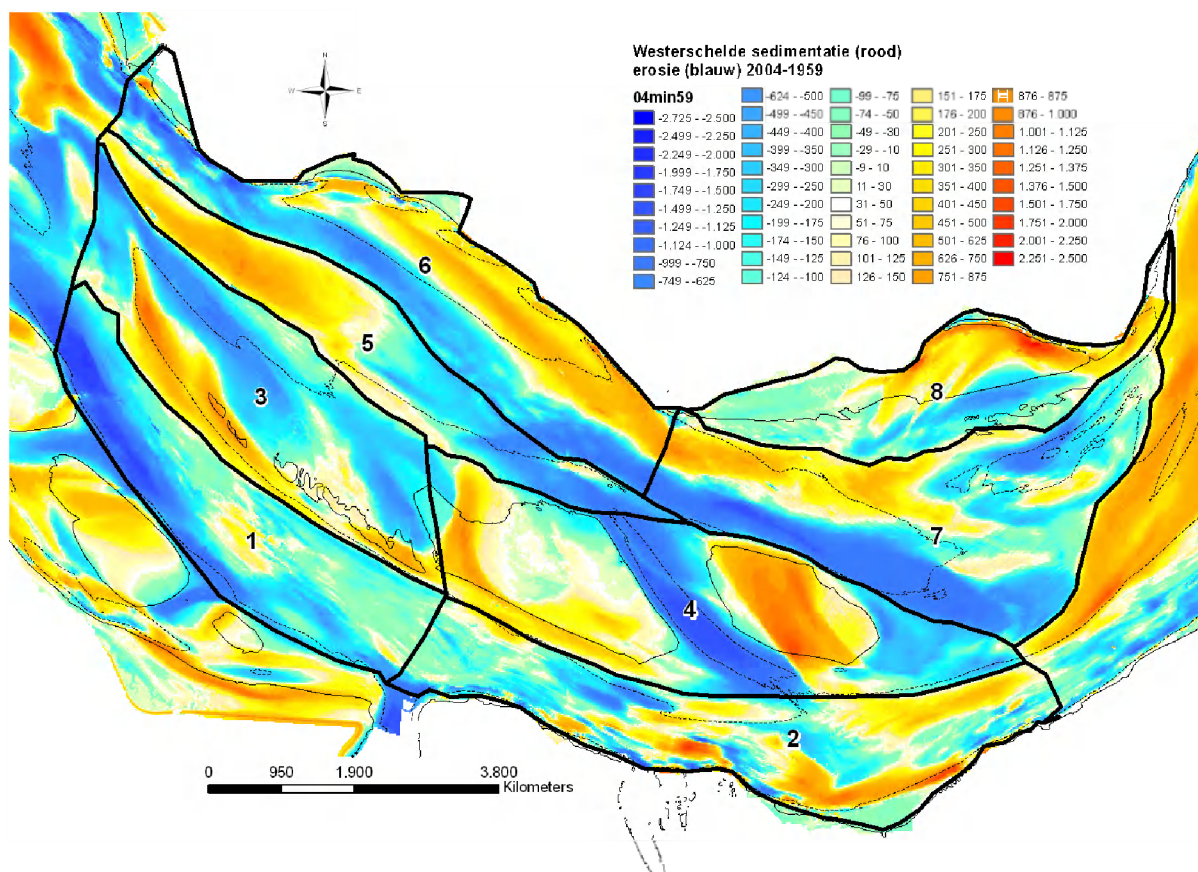


Figuur B2.1: Kaart met morfologische eenheden en namen op en rond macrocel 3 met de Middelplaten en de Plaat van Baarland.

2.2 Sedimentvolume en arealen

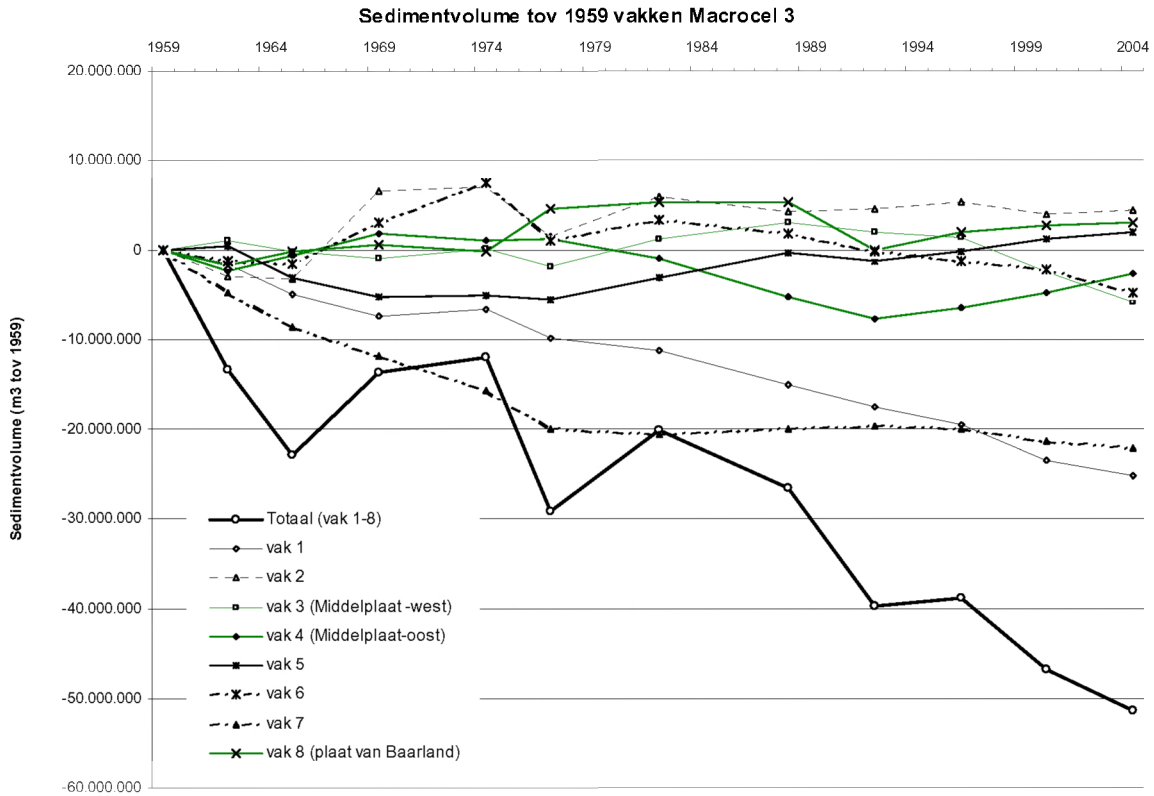
De vakindeling die is gebruikt voor het bepalen van de sedimentvolumes is weergegeven in figuur B2.2. De resultaten van de kubering zijn gepresenteerd in figuur B2.3. Het totale sedimentvolume in alle vakken van macrocel 3 samen is in de periode 1959 tot 2004 afgenomen met ruim $51 \times 10^6 \text{ m}^3$. Deze afname is terug te voeren op twee vakken, namelijk vak 1, dat de Pas van Borssele en een deel van de Pas van Terneuzen omvat, en vak 7, dat een deel van de Everingen en de drempel naar het Middelgat omvat. Het sedimentvolume van de andere vakken is relatief stabiel.

Binnen de vakken heeft overigens wel veel erosie en sedimentatie plaatsgevonden, maar deze herverdeling binnen de vakken leidt niet tot grote netto erosie of sedimentatie. Het sedimentvolume van vak 8, dat de Plaat van Baarland omvat, is toegenomen met ruim $2,9 \times 10^6 \text{ m}^3$. Het sedimentvolume van beide vakken die het Middelplaatcomplex omvatten is gedaald, het westelijke vak 3 met bijna $6 \times 10^6 \text{ m}^3$. en het oostelijke vak 4 met meer dan $2,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ in de periode van 1959 tot 2004.

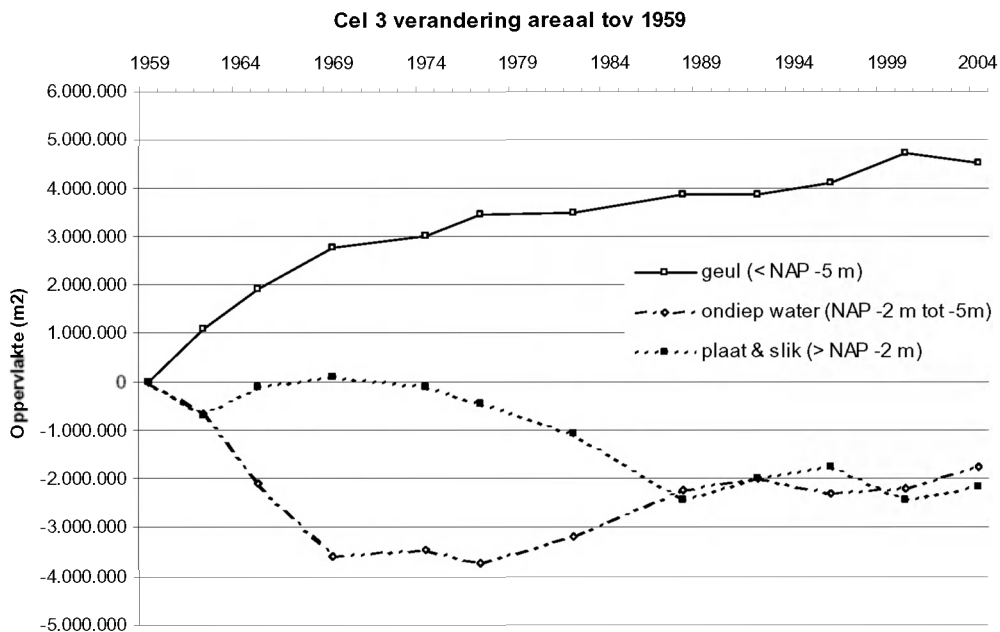


Figuur B2.2: Sedimentatie (rood) en erosie (blauw) in de periode 1959 tot 2004. Op de kaart zijn de kubeervakken voor macrocel 3 aangegeven.

De ontwikkeling van de arealen geul, ondiepwater en plaat en slikken (gedefinieerd ten opzichte van een vaste referentiehoogte) is weergegeven in figuur B2.4. Het areaal geulen vertoont een vrijwel doorgaande toename sinds 1959. Het areaal platen is afgenomen tot 1988 en daarna relatief stabiel gebleven. Het areaal ondiepwater is afgenomen tot 1965 en daarna enigszins toegenomen. De platen en slikken en het ondiepwater hebben uiteindelijk in gelijke mate bijgedragen aan de toename van het areaal geulen.



Figuur B2.3: De ontwikkeling van de sedimentinhoud (- is erosie, + is sedimentatie) van de westelijke helft van macrocel 3 en de verschillende kubeervakken (aangegeven in figuur B2.2) ten opzichte van het referentiejaar 1959.

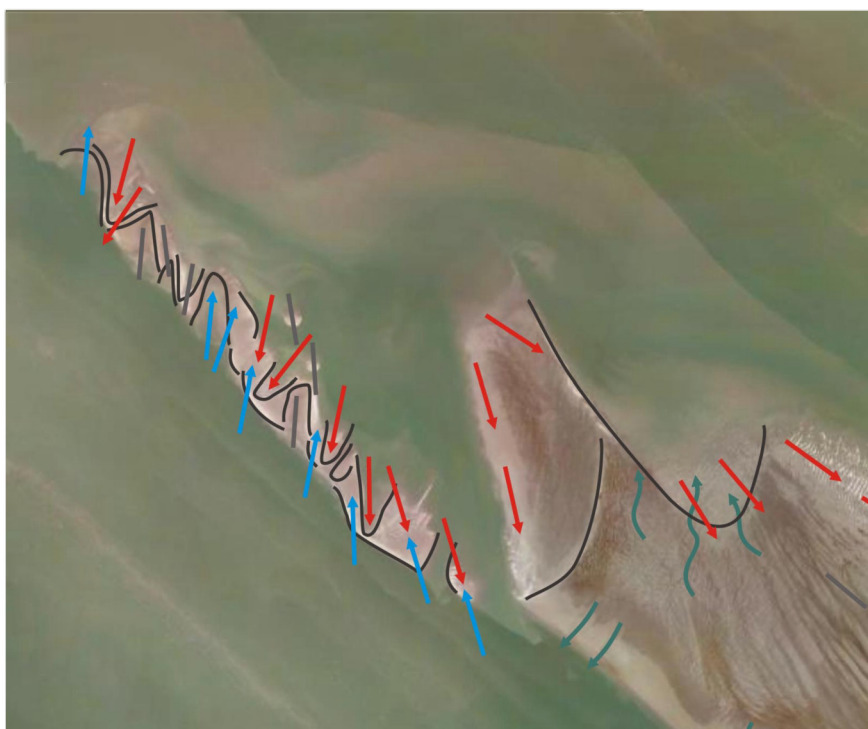


Figuur B2.4: De ontwikkeling van de arealen (gedefinieerd ten opzichte van een vaste referentiehoogte) geul, ondiepwater en plaat in alle kubeervakken samen van macrocel 3 ten opzichte van het referentiejaar 1959.

2.3 De Middelpaten

Het Middelpatencomplex ligt ongeveer ter hoogte van Terneuzen. Aan de zuidzijde wordt het plaatcomplex begrensd door de Pas van Terneuzen. Aan de noordzijde wordt het begrensd door de Everingen en in het verlengde daarvan door het Straatje van Willem.

Het plaatcomplex bestaat tegenwoordig uit enkele langgerekte kleine platen in het westen en twee grote platen in het oosten. De langgerekte kleine platen hebben geen eigen naam en worden van de grotere plaat gescheiden door de Geul van de Suikerplaat. Luchtfoto's van deze kleine platen laten zien dat het in feite uit een opeenvolging van elkaar ontwijkende eb- en vloedscharen met bijbehorende schilden betreft (figuur B2.5).



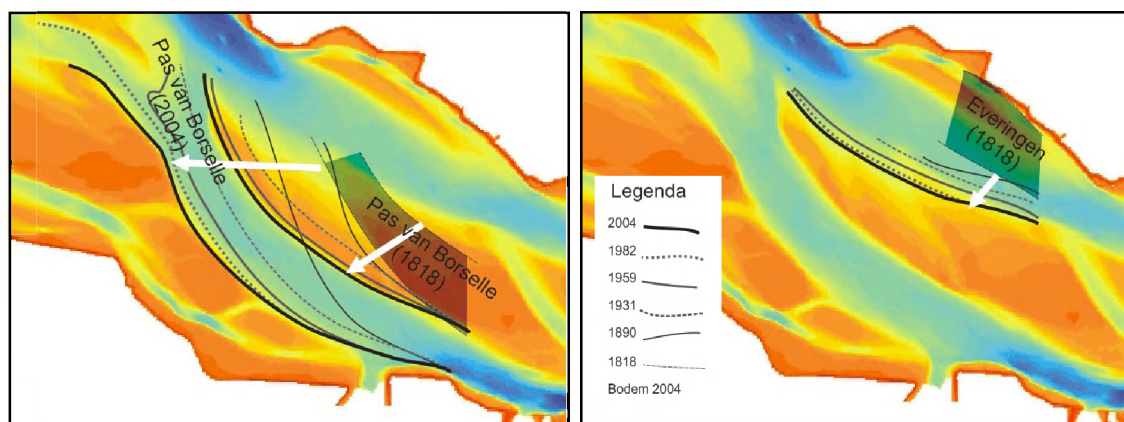
Figuur B2.5: Luchtfoto van de langgerekte westelijke plaat van het Middelpaten complex. De stroomrichting op basis van de ribbelasymmetrie is aangegeven met blauwe pijlen voor ebrichting en rode pijlen voor de vloedrichting (bron: Google Earth).

De Suikerplaat zelf is tegenwoordig verheeld met de Middelpaat, zodat deze nu één geheel vormen. Van de geul het Stoombotengat die de Suikerplaat en de Middenplaat scheidde, resteert alleen nog een lokale verdieping in de plaat. Tussen de twee grotere platen loopt de geul Zuid-Everingen.

Ontwikkeling

De globale belijning van het plaatcomplex is vanaf het begin van de 20e eeuw niet wezenlijk veranderd. Het Middelpatencomplex heeft zijn vorm en locatie al voor de 19^e eeuw gekregen, door de zuidwaartse verplaatsing van de Pas van Terneuzen en de zuidwaartse verplaatsing van de Pas van Everingen. De zuidwaartse verplaatsing van de Pas van Everingen is doorgegaan tot ver in de 20^e eeuw (figuur B2.6).

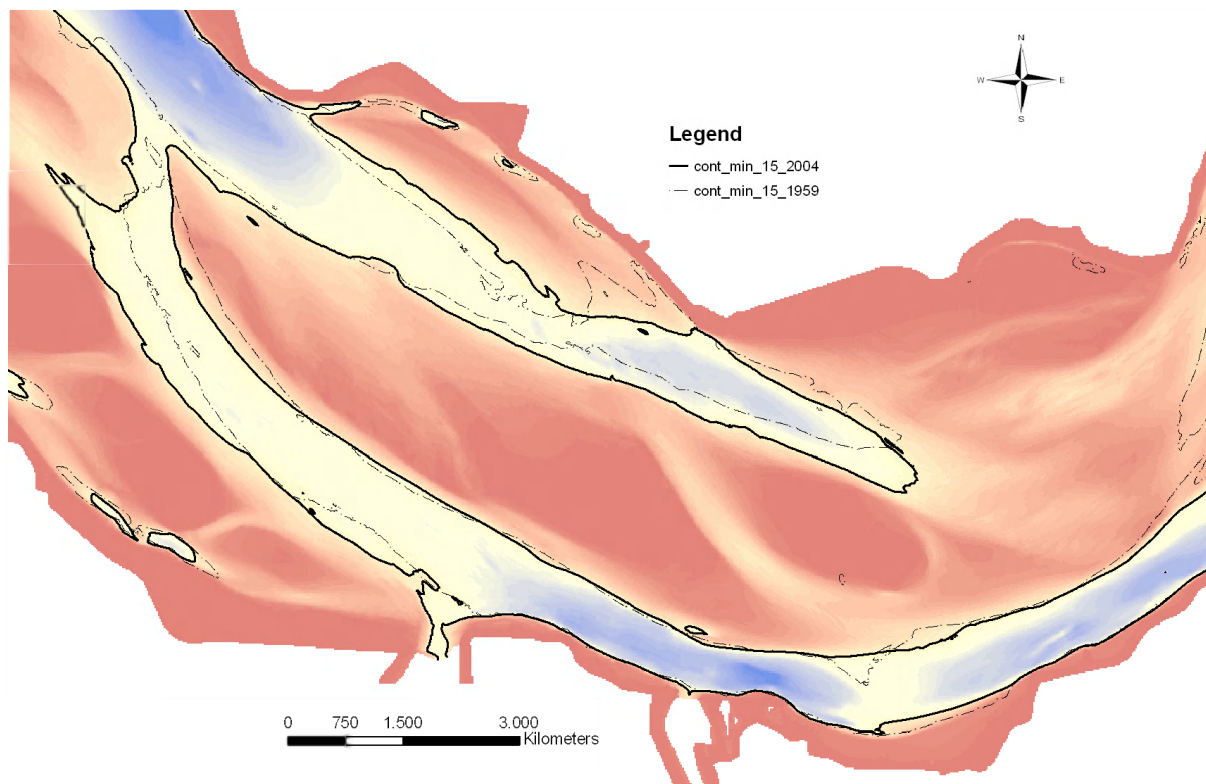
De Middelpaten verlenen nog steeds naar het westen, doordat de Pas van Borssele steeds verder naar het westen migreert. Deze migratie is al lange tijd bezig en gaat nog steeds door (figuur B2.6).



Figuur B2.6: Kaart met de contouren van de Pas van Borssele (links) en de Everingen (rechts) bij macrocel 3 in de periode 1818 tot 2004 (op de bodemligging 2004).

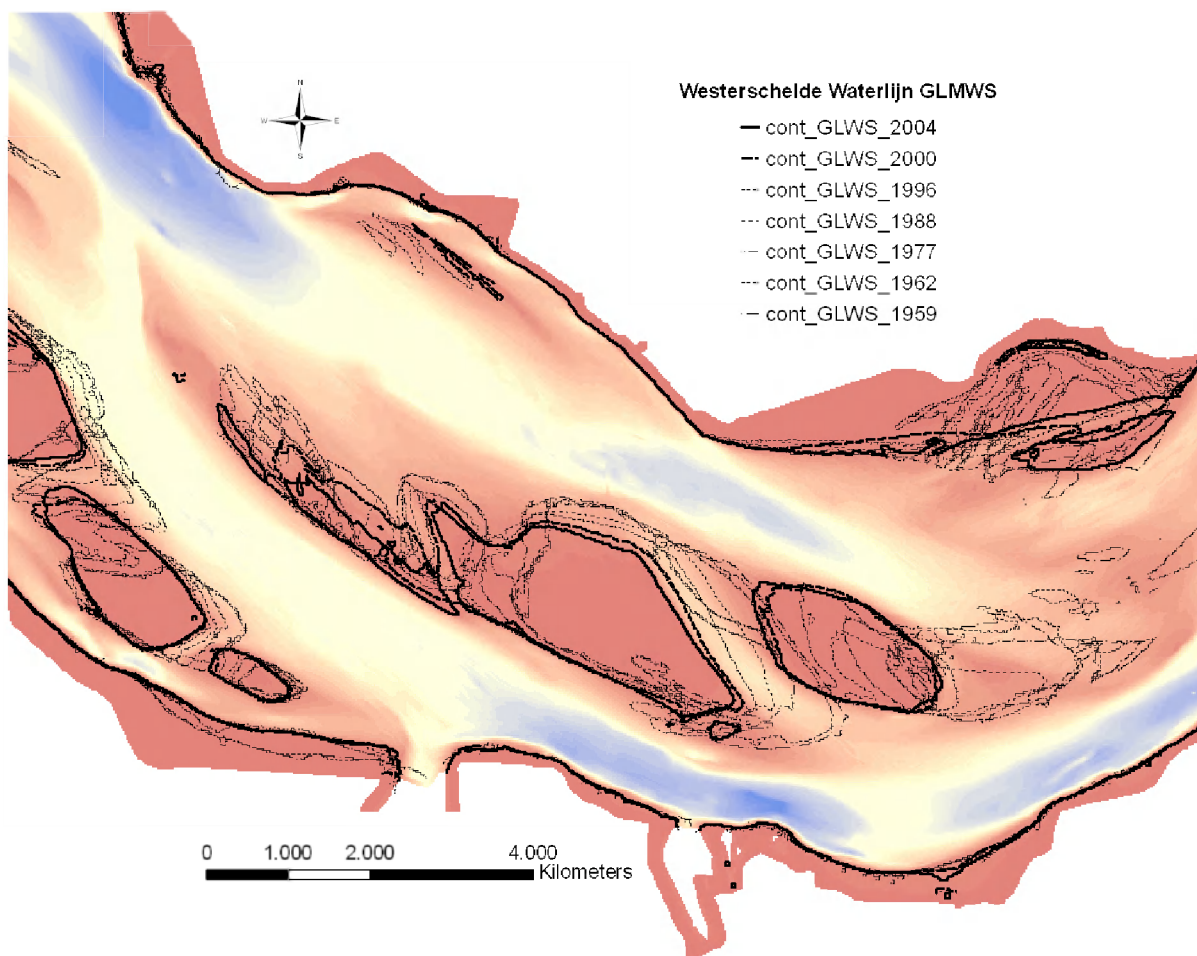
De beperkte omvang van de verplaatsing van de hoofd- en nevengeul rondom het Middelpaatcomplex blijkt ook uit de ligging van de NAP -15 meter contour, die maar weinig variatie laat zien over de periode 1959 – 2004 (figuur B2.7). Wel is in deze periode het plaatcomplex ietwat smaller en langgerechter geworden.

Wanneer alleen naar de droogvallende delen van het plaatcomplex wordt gekeken valt op dat het zwaartepunt daarvan steeds verder naar het westen is opgeschoven, zoals zichtbaar is in de kaart van het gemiddelde laagwater bij springtij (GLMWS in figuur B2.8). Bovendien liggen de hoge delen van de plaat tegenwoordig in het zuiden in plaats van in het noorden en is de totale omvang van de hoge delen afgenomen.



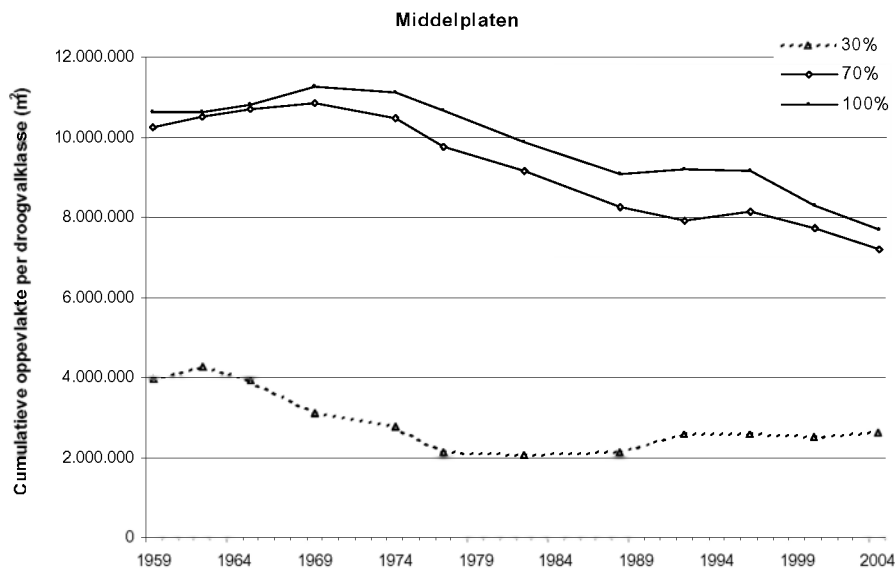
Figuur B2.7: Kaart met de contouren van het NAP –15 meter niveau rond de Middelpaten in 1959 en 2004.

Het oostelijk deel van de Middelpaat, is samen met de geul Zuid-Everingen steeds verder naar het westen toe verplaatst. Ook de oostgrens van het westelijke deel van de Middelpaat is naar het westen verplaatst. De platen aan de westzijde zijn steeds kleiner geworden en naar het zuidoosten verplaatst. Rond de Suikerplaat en ten westen daarvan zijn de platen steeds meer met elkaar vergroeid. De vloodschaartjes tussen deze geulen verplaatsen naar het oosten en zijn in omvang afgenomen.

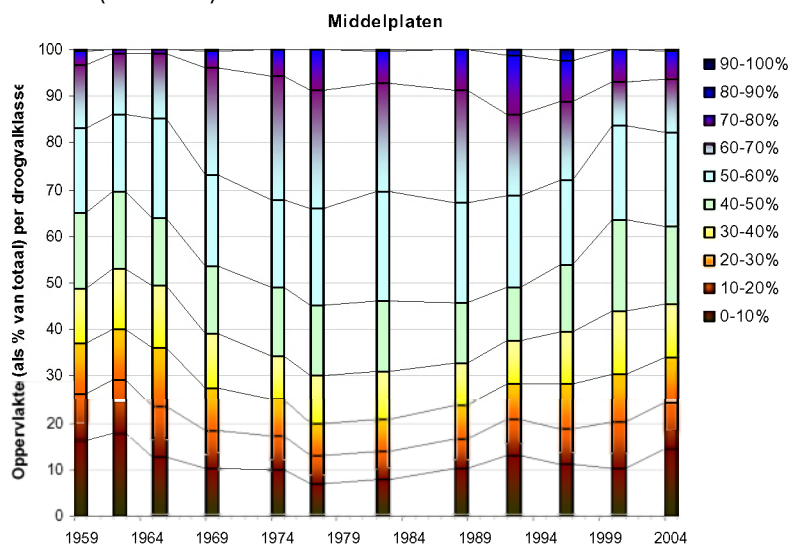


Figuur B2.8 Kaart met de contouren van het GLMWS niveau rond de Middelplaten van 1959 tot 2004, op de bodemligging van 2004.

De afname van het areaal van de Middelplaten die in de kaarten wordt herkend, is zeer duidelijk zichtbaar in de ontwikkeling van het areaal van de droogvallende plaat (figuur B2.9). Na 1969 neemt het totale areaal van de Middelplaten gestaag af. De plaat heeft een maximale omvang van ruim $11 \times 10^6 \text{ m}^2$ in 1969 en deze neemt af tot minder dan $8 \times 10^6 \text{ m}^2$ in 2004. Van 1961 tot 1977 is eerst het areaal laagliggende platen, met lage droogvalpercentages afgenomen. Na 1977 blijft dit areaal min of meer stabiel en nemen de hogere droogvalpercentages af. Het gevolg is dat het de Middelplaat relatief 'natter' wordt na 1977 (figuur B2.10).

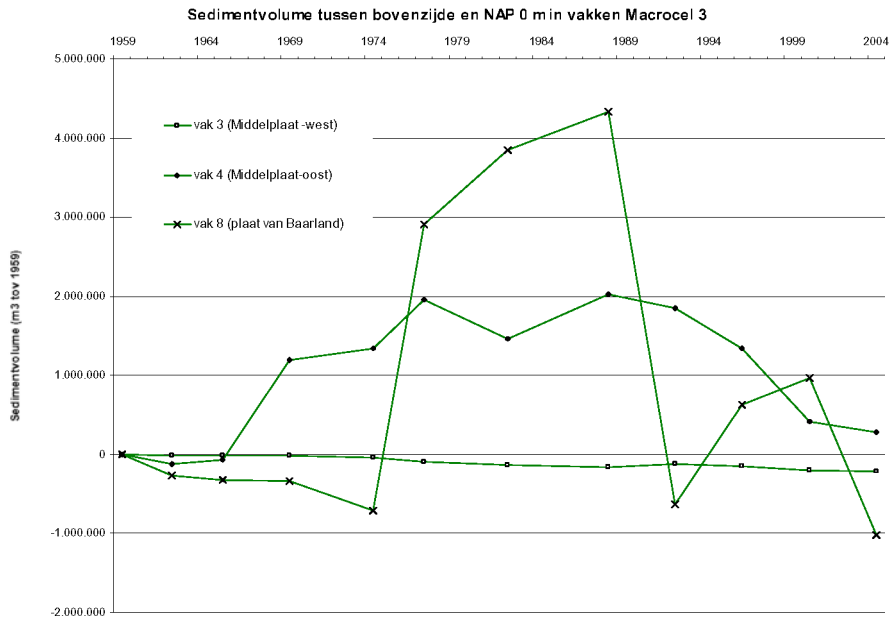


Figuur B2.9 Grafiek met het areaal met 30 procent, 70 procent en 100 procent droogvallen in de loop van de tijd. Bepaald op basis van de kaarten met droogvalpercentages, ten opzichte van variërend referentievlak (GLMWS).



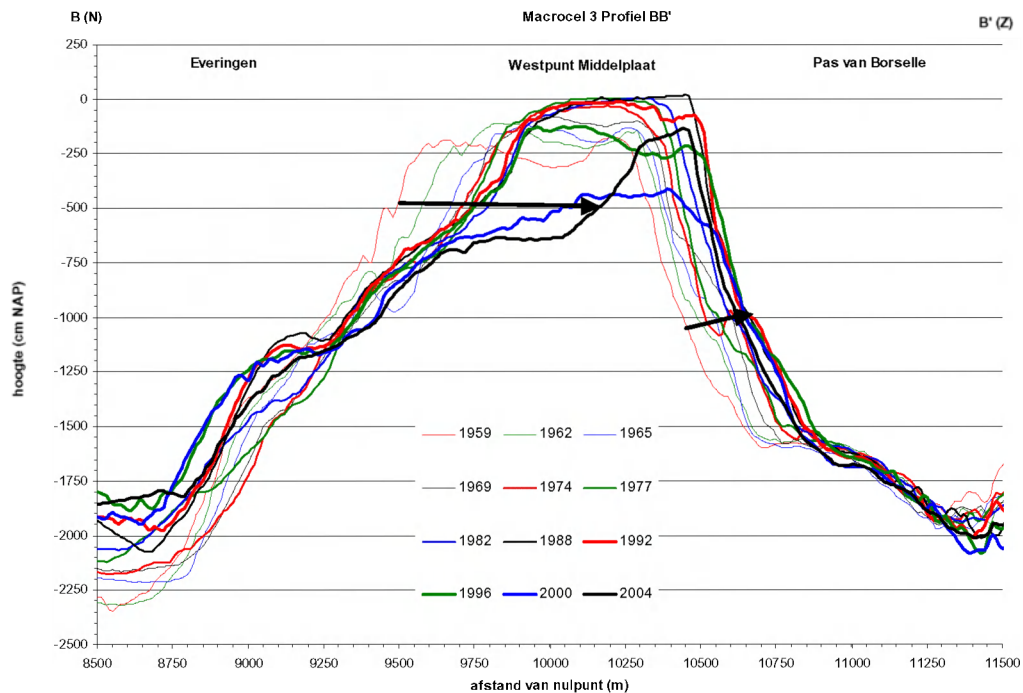
Figuur B2.10: Grafiek met de relatieve bijdrage van de verschillende droogvalpercentages aan het totale areaal droogvallende plaat in de loop van de tijd. Bepaald op basis van de kaarten met droogvalpercentages, ten opzichte van variërend referentievlak (GLMWS).

De ontwikkeling van het sedimentvolume van het hoogste deel van de Middelpaat (tussen NAP 0 meter en de bovenzijde van de plaat) neemt toe tot in de jaren zeventig, varieert daarna enigszins, om weer af te nemen na het begin van de jaren negentig (figuur B2.11). Deze ontwikkeling is het omgekeerde van de ontwikkeling van de droogvalpercentages. Deze ontwikkeling van het sedimentvolume geldt alleen voor de oostelijke helft van de Middelpaten, met de grootste platen van het complex. De westelijke platen laten een kleine, maar doorgaande afname zien van het sedimentvolume in de hoge delen.



Figuur B2.11: De ontwikkeling van de sedimentinhoud tussen de bovenzijde van de plaat en NAP 0 meter (- is erosie, + is sedimentatie) van macrocel 3 van twee vakken op de platen (aangegeven in figuur B2.2) ten opzichte van het referentiejaar 1959.

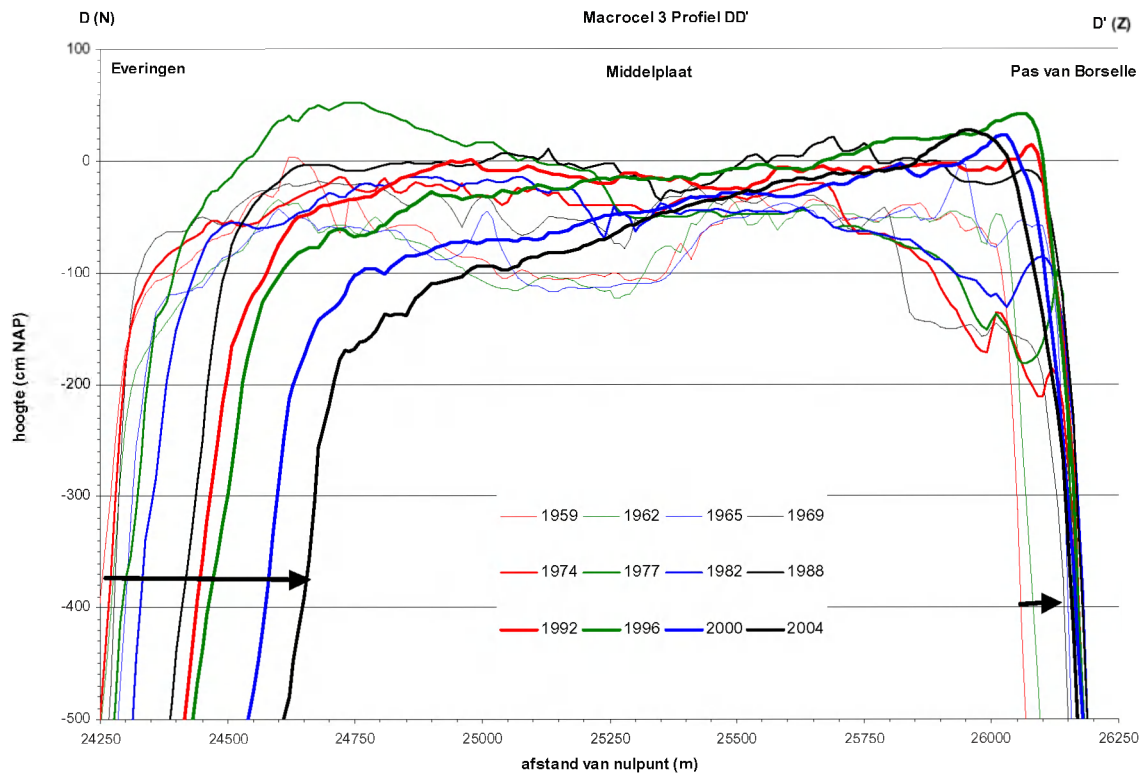
In de dwarsdoorsnede BB' door de westelijke platen van het Middelplaat complex in figuur B2.12 is de afname van het areaal van deze platen duidelijk zichtbaar. Sinds 1959 is de plaat steeds hoger, maar ook smaller geworden, met een maximum hoogte begin jaren negentig. Daarbij is de noordgrens met de Everingen tot in de jaren tachtig opgeschoven naar het zuiden. Deze verplaatsing was groter dan de zuidwaartse verplaatsing van de grens met de Pas van Borssele. Na het begin van jaren negentig is de maximale hoogte van de plaat afgenomen. De diepste ligging werd in het jaar 2000 bereikt, waarna de plaat weer een hoge smalle rug heeft gevormd.



Figuur B2.12: Dwarsdoorsnede van de westpunt van de Middelplaat (dwarsdoorsnede BB' van macrocel 3) in verschillende jaren (locatie in figuur 4.5).

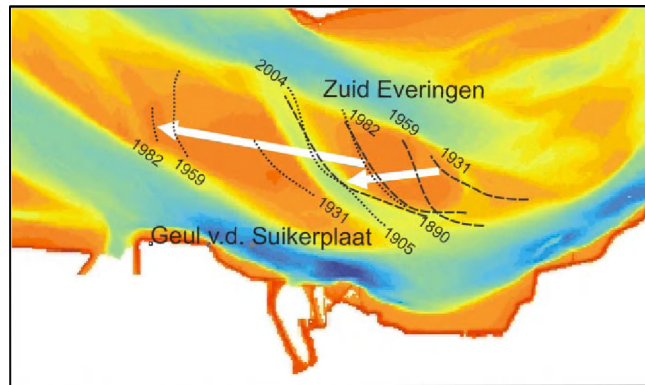
De dwarsdoorsnede DD' in figuur B2.13 loopt door de oostelijk plaat van het Middelplaatcomplex. In deze dwarsdoorsnede is zichtbaar dat de breedte van de plaat op de locatie afneemt. De afname is het gevolg van de doorgaande migratie van de Everingen naar het zuiden. De migratie van de Everingen wordt tot de jaren zeventig nog deels gecompenseerd doordat de plaat aan de zuidzijde naar het zuiden schuift. Na de jaren zeventig stopt deze zuidwaartse migratie en wordt de plaat ook aan de zuidzijde kleiner.

De hoogte van de plaat verandert in dwarsdoorsnede DD' weinig, wel verschuift het zwaartepunt van de hoge delen van de plaat van noord naar zuid. In de periode van 1992 tot 2004 is de overgang van de Everingen naar de Middelplaat rond NAP -1 meter steeds flauwer geworden. Omdat de plaat ondertussen smaller is geworden en de overgang naar de Pas van Borselle iets hoger is, is de helling van de hele plaat in dezelfde periode toegenomen.

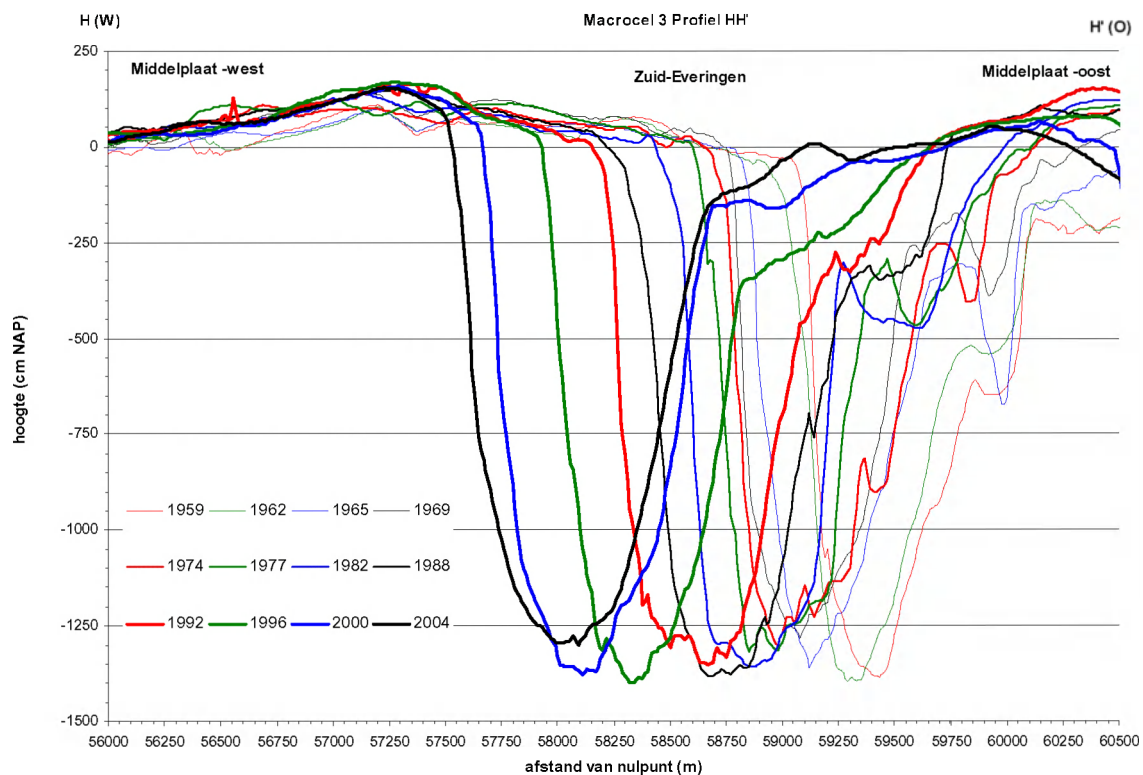


Figuur B2.13: Dwarsdoorsnede van de Middelplaat (dwarsdoorsnede DD' van macrocel 3) in verschillende jaren (locatie in figuur 4.5).

Eén van de kenmerkende ontwikkelingen in het Middelplaatcomplex is de westwaartse migratie van kortsluitgeulen. De Zuid-Everingen is tegenwoordige de kortsluitgeul tussen hoofd- en nevengeul en deze geul is sinds de jaren dertig over een afstand enkele kilometers verplaatst (figuur B2.14). In het verleden heeft de Geul van de Suikerplaat dezelfde route afgelegd, om uiteindelijk aan de westzijde van de plaat opgevuld te worden met sediment. In de dwarsdoorsnede HH' in figuur B2.15 door de Zuid-Everingen is duidelijk zichtbaar dat de westwaartse verplaatsing een continue ontwikkeling is.

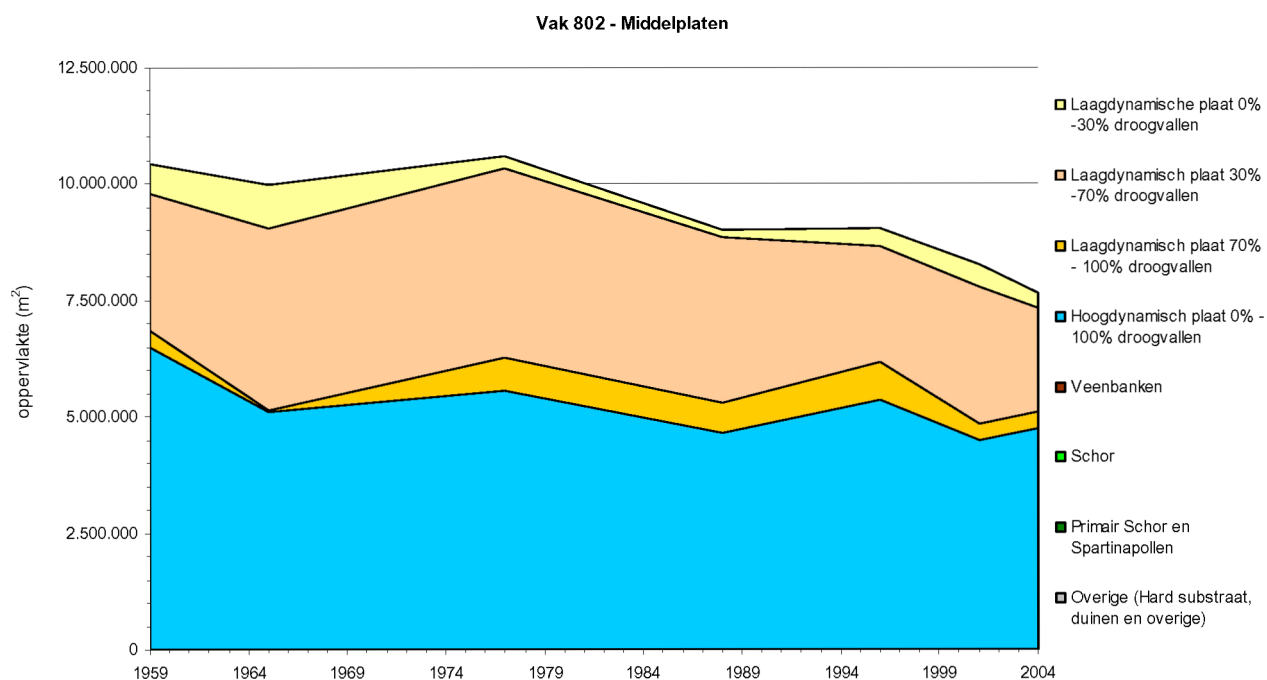


Figuur B2.14: Kaart met de ligging (oostoever) van de geulen Zuid-Everingen en Geul van de Suikerplaat bij macrocel 4 in de periode 1818 tot 2004 (op de bodemligging 2004).



Figuur B2.15: Dwarsdoorsnede van de migratie van de Zuid-Everingen door de Middelplaat (dwarsdoorsnede HH' van macrocel 3) in verschillende jaren (locatie in figuur 4.5).

De Middelplaat bestaat uit de ecotopen klassen hoog- en laagdynamische plaat (figuur B2.16). Tot 1977 is het areaal laagdynamische plaat toegenomen, zodat naar verhouding veel laagdynamische plaat aanwezig was. Na 1977 is naar verhouding steeds verder verschoven naar hoogdynamische plaat. De afname van het plaatareaal is met name ten koste gegaan van het laagdynamische plaatareaal.



Figuur B2.16: Ontwikkeling van het areaal per ecotopenklasse voor de Middelpaat (vak 802, locatie van het vak in figuur 4.2).

2.4 De Pas van Borssele en de Everingen

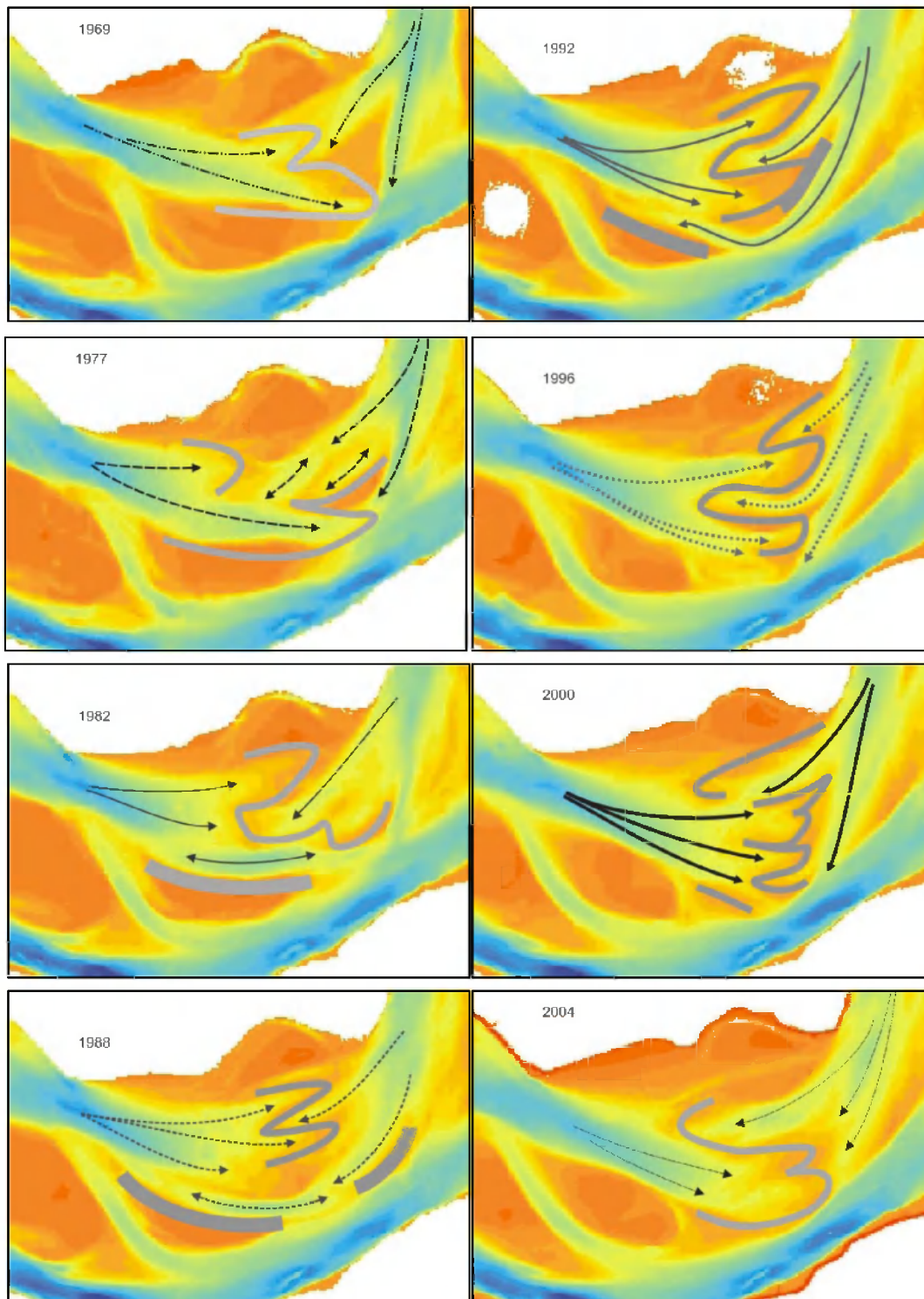
De hoofdgeul in macrocel 3 wordt gevormd door de Pas van Borssele, die naar het oosten overgaat in de Pas van Terneuzen. De Everingen is de nevengeul in macrocel 3 en vormt een vloedschaar die vanuit de Honte in macrocel 1 naar het oosten steekt. De Everingen eindigt in een groot vloedscharencomplex op de grens van macrocel 3 en 4. Dit drempelcomplex van de Everingen bestaat, naast de vloedscharen die uit de Everingen lopen, uit ebscharen van het Middelpatengat en de bij de scharen behorende eb- en vloedschilden. De Pas van Borssele is een ebgedomineerde geul, die rond het Spijkerplaatcomplex in macrocel 1 uitloopt in enkele ebscharen. De ebschaar naar de Honte wordt door baggeren op nautische diepte en breedte gehouden

De Pas van Borssele, Pas van Terneuzen en de Everingen omsluiten het Middelpatencomeplex. De lange termijn ontwikkelingen van de ligging van beide geulen is bepalend voor de ligging van het Middelpatencomeplex (figuur B2.6). De Pas van Borssele is al bijna 200 jaar naar het zuidwesten aan het verplaatsen. De Everingen is in de periode van 1818 tot 1980 naar het zuiden verplaatst.

Het drempelcomplex tussen de Everingen en het Middelpatengat is een zeer dynamisch gebied, waar scharen en de bijbehorende schilden ontstaan die in omvang toenemen en migreren, in omvang afnemen en uiteindelijk verdwijnen. In figuur B2.17 is een serie kaarten gepresenteerd uit de periode 1969 tot 2004 waarin deze ontwikkeling is gepresenteerd. Het aantal vloedscharen uit de Everingen varieert van drie (1988 tot 2000) tot twee (1969 tot 1982 en 2004). Het aantal ebscharen dat uit het Middelpatengat steekt varieert van één (1982) tot drie (1996 en 2004). Ook zijn soms geuldelen aanwezig die aan beide zijde eindigen in een schild (1977, 1982). De vloed- en ebscharen verplaatsen naar het zuiden. De cyclus waarmee de scharen ontstaan en weer verdwijnen duurt gemiddeld 12 jaar (Jeuken, 2000; Kuijper et al, 2007).

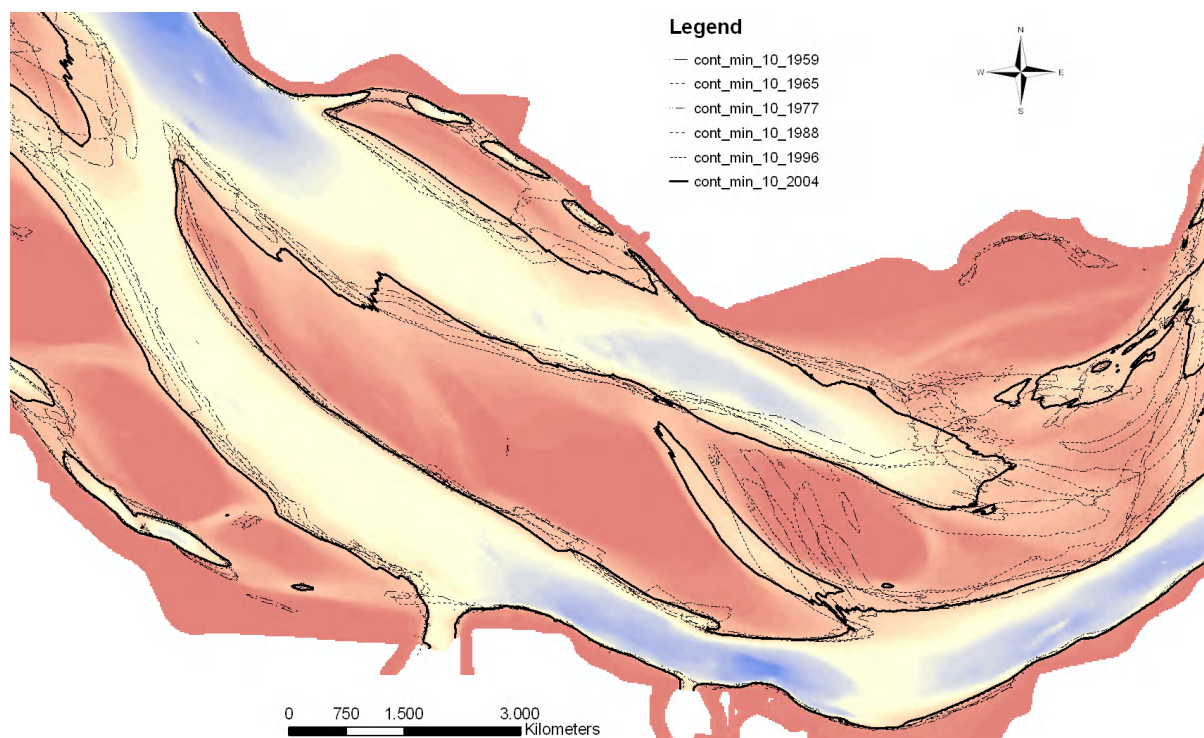
Ontwikkeling

De ontwikkeling van de geulen in de periode van 1959 tot 2004 is zichtbaar in de kaart met de NAP – 10 meter contour (figuur B2.18). Deze contour ligt min of meer vast voor de Pas van Terneuzen. De grens van de Everingen met het westelijke deel van het Middelpaatcomplex schuift naar het zuiden. Verder naar het oosten verschuift de grens van de Everingen en het Middelpaatcomplex echter naar het noorden. De ligging van de NAP –15 meter contour laat op de overgang van de Everingen naar het Middelpaatcomplex overigens een bijna tegengestelde ontwikkeling zien, zodat geconcludeerd wordt dat het profiel van deze geul-plaatovergang van vorm verandert. De dwarsdoorsnede AA' in figuur B2.19 laat inderdaad zien dat bij de westpunt van de Middelpaat de helling van de geulwand (van de bovenzijde van de plaat tot aan de bodem van de geul) steeds flauwer is geworden.



Figuur B2.17: Kaarten van de periode 1969 tot 2004 met ligging van de eb- vloedscharen (pijlen) en bijbehorende schilden op de drempel tussen de Everingen en het Middelgat.

De Pas van Borssele migreert gaandeweg naar het zuidwesten. Tot het jaar 2000 verplaatsten de zuidwestoever en de noordoostoever in gelijke mate, zoals zichtbaar is in de kaart van de NAP –10 meter contour (figuur B2.18) en in dwarsdoorsnede AA' (figuur B2.18). In 2004 is de noordoostzijde teruggeschoven naar het noordoosten, zodat de geul iets breder is geworden.

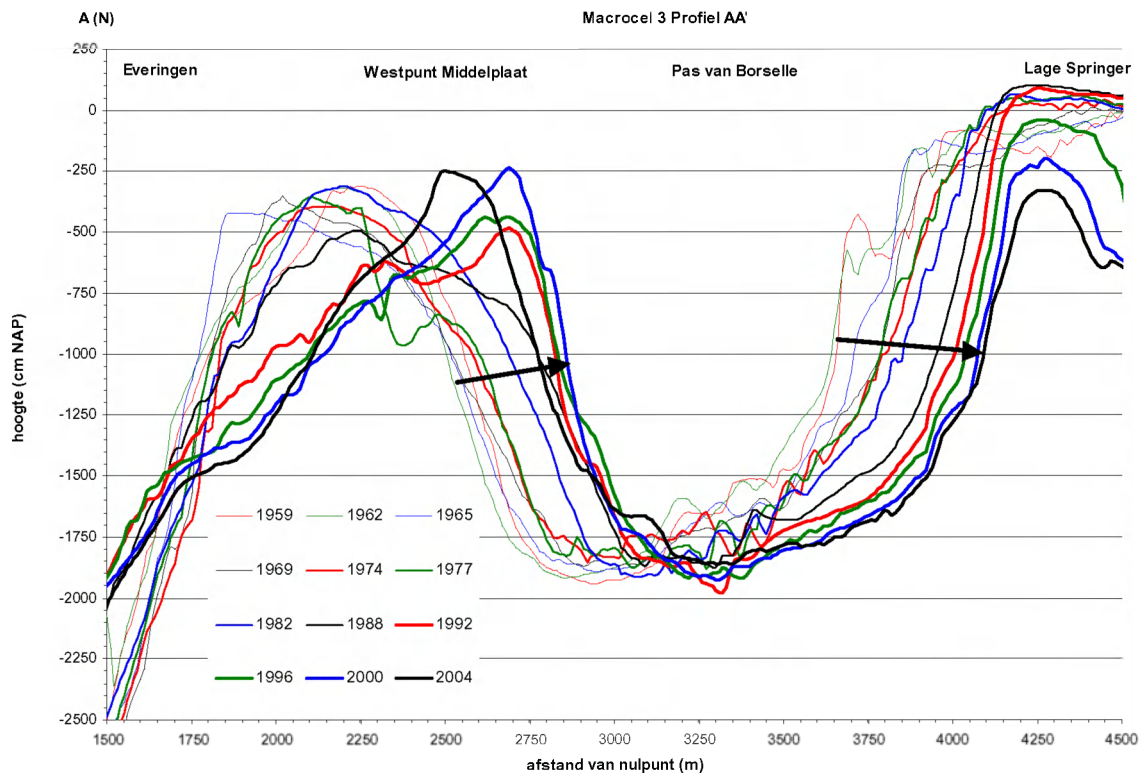


Figuur B2.18: Kaart met de contouren van het NAP –10 meter niveau rond de Middelplaten in 1959 en 2004 op de bodemligging van 2004.

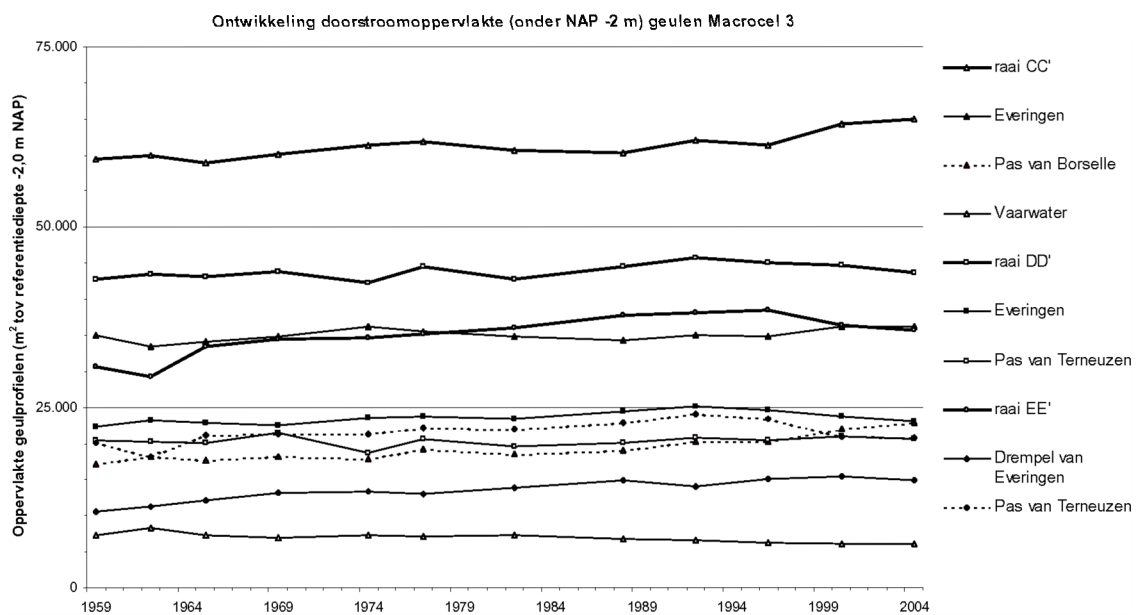
De kaart van NAP –10 meter contour toont duidelijk de migratie van de Zuid-Everingen naar het westen. De wirwar van contouren op de drempel tussen Everingen en Middelgat is het gevolg van snelle ontwikkelingen van de vloed- en ebscharen op deze locatie.

Aan de noordoever van de Everingen is zichtbaar dat de geul naar het noorden is opgeschoven en daarbij de Rug van Borssele heeft geërodeerd. Ondertussen is deze Rug aan de zuidoostzijde uitgebouwd in de geul. De rug is door de ontwikkelingen van relatief breed en kort veranderd in lang en smal.

In figuur B2.20 staan de ontwikkelingen van het oppervlakte van drie verschillende dwarsdoorsneden van macrocel 3 weergegeven. Het totale doorstroomoppervlak is voor de drie raaien netto toegenomen. De toename heeft niet continue in de tijd plaatsgevonden, het doorstroomoppervlak is in sommige jaren afgenomen om daarna weer toe te nemen. Het doorstroomoppervlak van de Everingen is in het westelijke deel (raai CC') en middendeel (raai DD') van macrocel 3 groter dan het doorstroomoppervlak van de Pas van Borssele. Zowel de hoofdgeul als de ebageul hebben bijgedragen aan de toename van het totale doorstroomoppervlak.



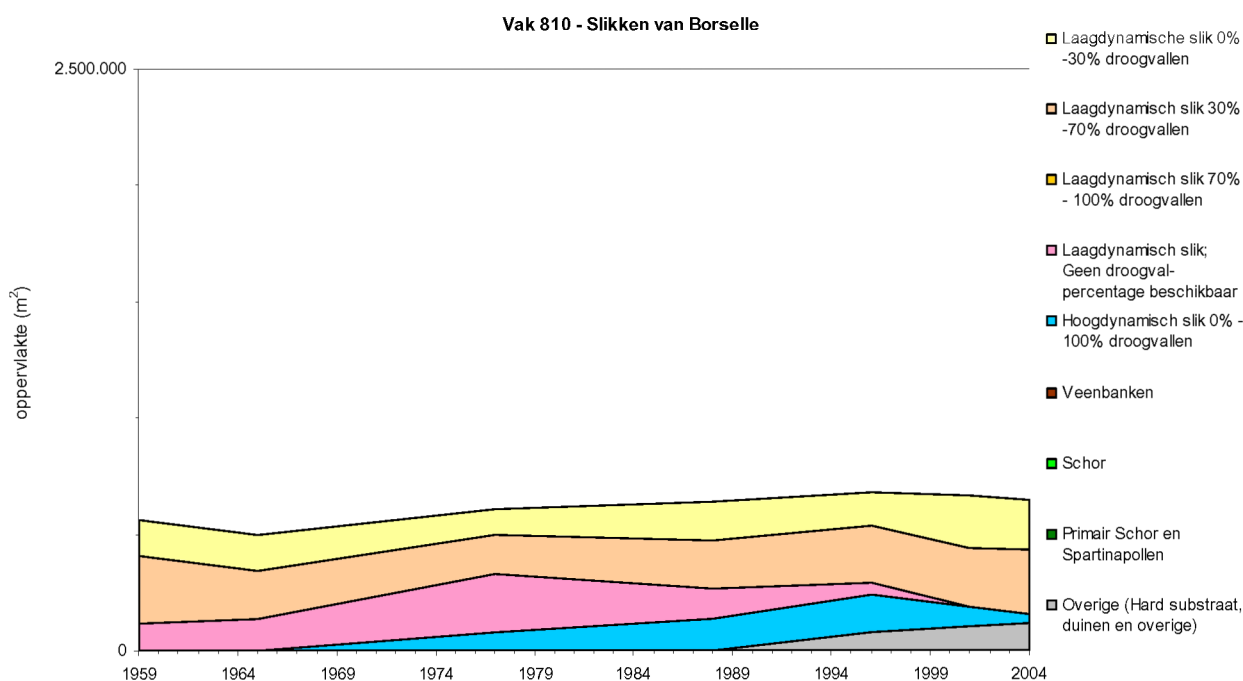
Figuur B2.19: Dwarsdoorsnede van de Pas van Borselle Middelgat (dwarsdoorsnede AA' van macrocel 3) in verschillende jaren (locatie in figuur 4.5).



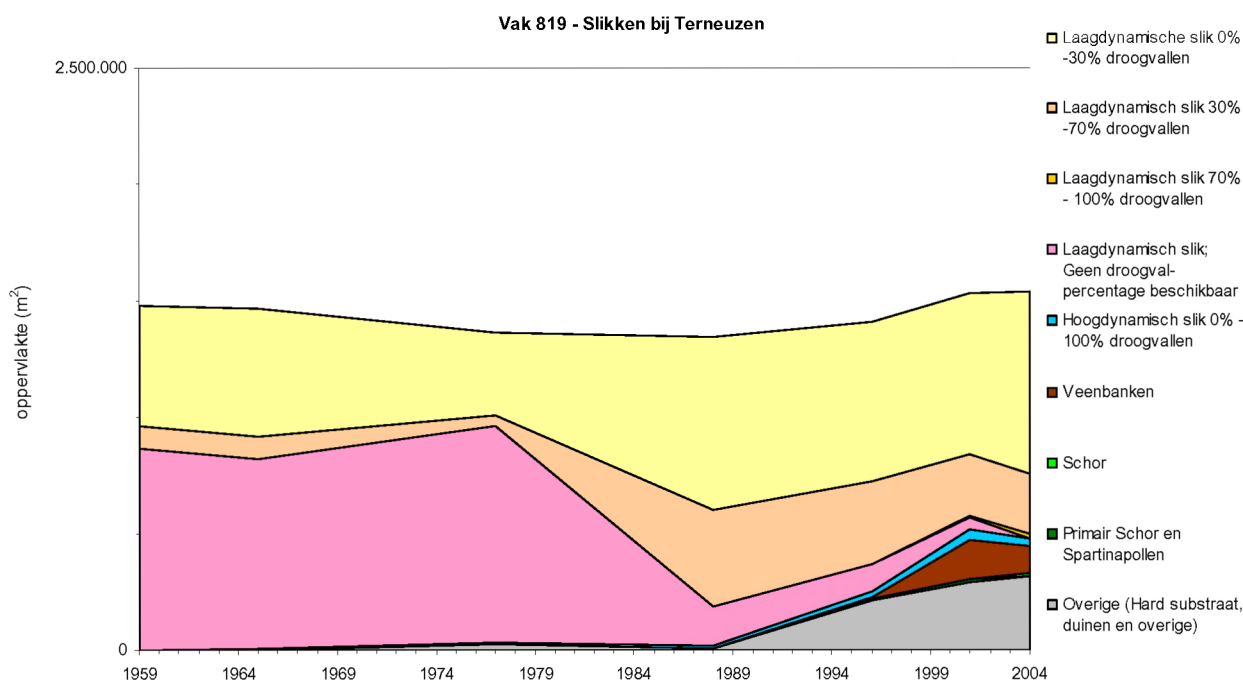
Figuur B2.20: Grafiek met de ontwikkeling van het oppervlakte (in m²) van de dwarsdoorsneden van macrocel 3. De locatie van de raaien is gegeven in figuur 4.4.

Aan de noordoever van macrocel 3 liggen slikken ten oosten van Borssele. De ontwikkeling van het areaal van deze slikken in de verschillende ecotopenklassen is weergegeven in figuur B2.21. Het betreft voornamelijk laagdynamische slikken, in de hoogteklassen laag en midden. De Rug van Borssele (die in hetzelfde vak ligt) bestaat hoofdzakelijk uit hoogdynamisch plaatareaal.

De slikken aan de zuidoever bij Terneuzen zijn voornamelijk laagdynamisch (figuur B2.22), met een groot deel in de hoogteklasse laag. Tot 1988 is van een belangrijk deel van deze slikken geen hoogtegegevens beschikbaar, zodat niet kan worden vastgesteld in welke hoogtezone deze slikken liggen. Vanaf eind jaren negentig zijn hier steeds meer veenbanken zichtbaar die zijn bloot gespoeld.



Figuur B2.21: Ontwikkeling van het areaal per ecotopenklasse voor de slikken van Borselle, tussen Borselle en Ellewoutsdijk (vak 810, locatie van het vak in figuur 4.2).



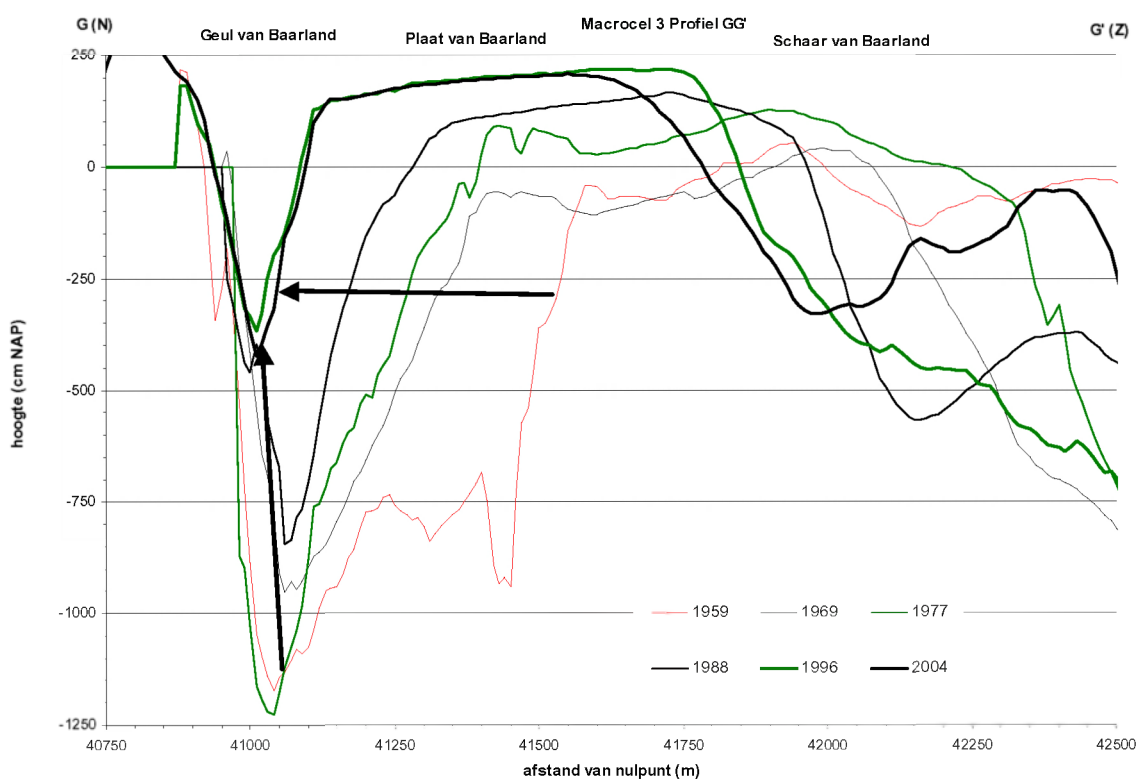
Figuur B2.22: Ontwikkeling van het areaal per ecotopenklasse voor de slikken bij Terneuzen (vak 819, locatie van het vak in figuur 4.2).

2.5 De Plaat en de slikken van Baarland

De Plaat van Baarland ligt vlak onder kust van Zuid-Beveland ten oosten van Ellewoutsdijk. In de situatie van 2004 is sprake van een complex met aan de noordzijde de eigenlijke Plaat van Baarland en aan de zuidzijde een plaat zonder naam (zuidelijke plaat van Baarland), zoals zichtbaar in de kaart met de contouren van het gemiddelde laagwater bij springtij (GLMWS in figuur B2.8). De Plaat van Baarland wordt van de kust en de slikken van Everingen gescheiden door een geul (Boerengat of de Geul van Baarland). Tussen de eigenlijke Plaat van Baarland en de zuidelijke plaat zonder naam, ligt een uitloper van de Everingen. Ten zuiden van het plaatcomplex ligt een uitloper van het Middelgat. In deze analyse wordt de Plaat van Baarland geanalyseerd in combinatie met de slikken van Everingen en de zuidelijke Plaat van Baarland.

Ontwikkeling

De Plaat van Baarland is in de loop der tijd steeds verder naar het noorden komen te liggen, waarbij de plaat geleidelijk groter is geworden. Dit is bijvoorbeeld te zien in de verplaatsing van de GLMWS contour in figuur B2.8. Ook in de dwarsdoorsnede GG' in figuur B2.23 is de noordwaartse migratie van de Plaat van Baarland duidelijk zichtbaar. De toename van de areaal van de plaat is ten kosten gegaan van het areaal van de slikken.



Figuur B2.23: Dwarsdoorsnede van de Plaat en de Geul van Baarland (dwarsdoorsnede GG' van macrocel 3) in verschillende jaren (locatie in figuur 4.5).

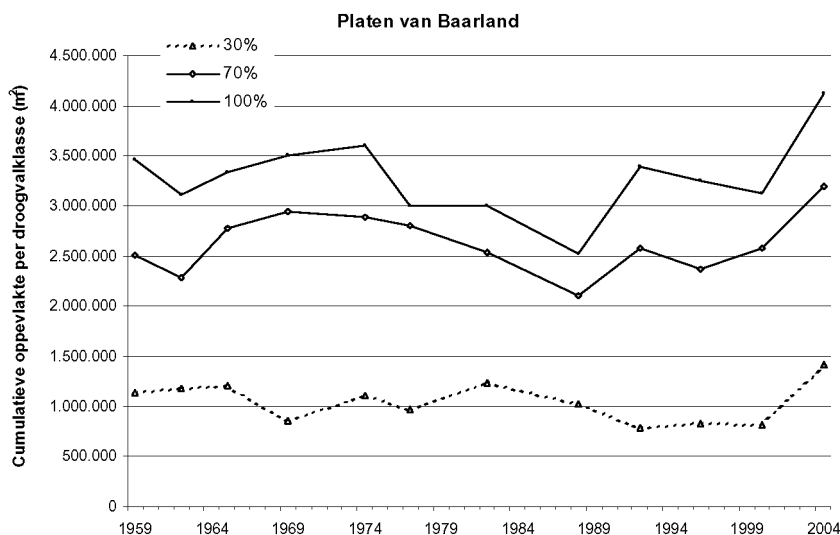
De Geul van Baarland is in de loop van de jaren steeds verder in omvang afgenomen en eind jaren tachtig vrijwel geheel opgevuld. In de dwarsdoorsnede GG' in figuur B2.23 is zichtbaar dat zowel de breedte als de maximale diepte van de geul sterk zijn afgenomen. Tegenwoordig is alleen het gedeelte onder de kust van Zuid-Beveland nog 'nat'. De aanstroomopeningen aan beide zijden vallen

droog bij laagwater. Deze ontwikkeling is zichtbaar in de GLMWS contour die in 2004 de geul geheel omhult (figuur B2.8).

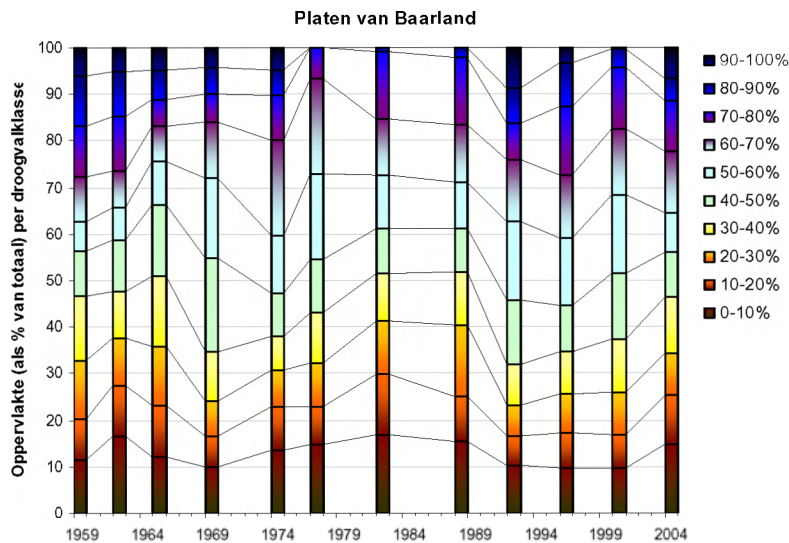
De plot van de NAP –10 meter contour (figuur B2.19) ten zuiden van de plaat van Baarland laat een wirwar aan geulen zien. Deze wirwar is het gevolg van de dynamiek van de eb- en vloedscharen tussen de Everingen en het Middelgat (figuur B2.17). Vanuit beide grote geulen ontstaan scharen, die eerst in grootte toenemen en naar het zuiden verplaatsen, om daarna in omvang weer af te nemen. De zuidelijke Plaat van Baarland is recent ontstaan tussen een vloedschaar van de Everingen en een ebschaar van het Middelgat.

Het droogvallende oppervlakte van de Plaat en de slikken van Everingen is van 1959 tot 2004 netto toegenomen van $3,5 \times 10^6 \text{ m}^2$ tot ruim $4 \times 10^6 \text{ m}^2$ (figuur B2.24). Het gebied is eerst 'natter' geworden, waarbij de lagere droogvalpercentages zijn toegenomen en daarna 'droger' (figuur B2.25). Het aandeel hoogdynamische plaat en slik was het grootst in 1965 (figuur B2.26). Het aandeel hoogdynamische plaat is daarna afgenomen, waarna in 2004 weer een toename heeft plaatsgevonden.

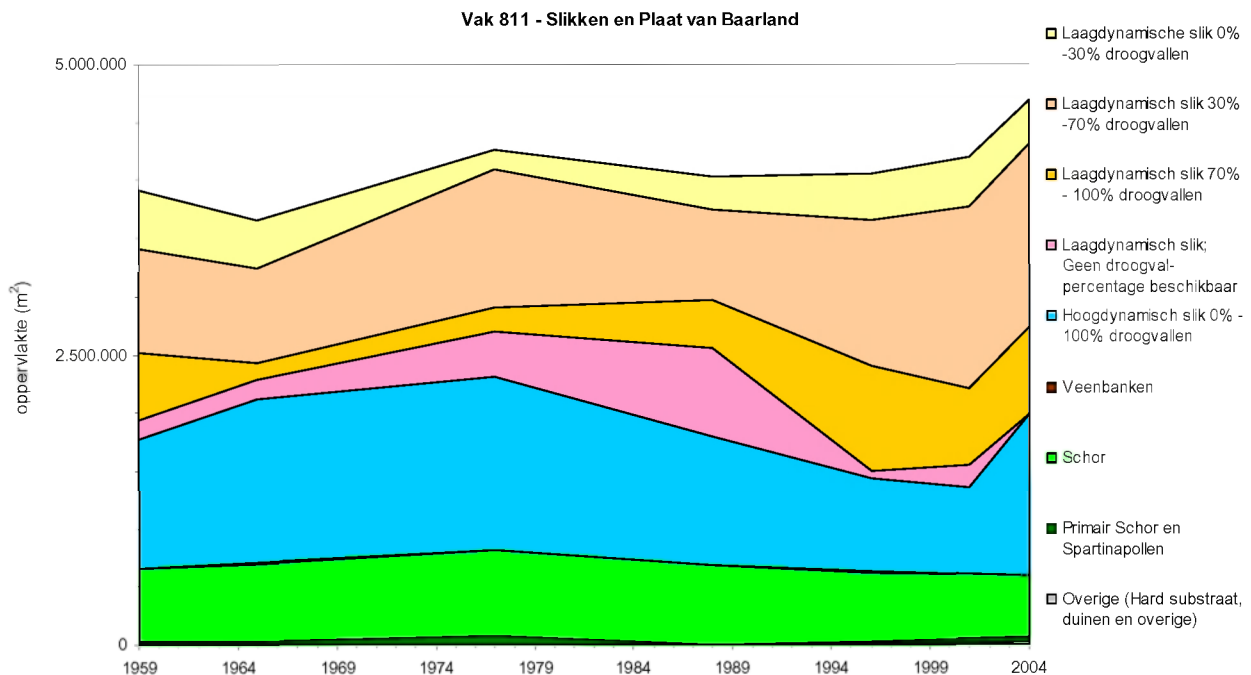
Vergelijking van de ecotopen kaart van 1959 (figuur B2.27) met die van 2004 (figuur B2.28) laat zien dat het hoogdynamische areaal in beide jaren voornamelijk aanwezig is langs de randen van de geulen en schaaftjes die het gebied insteken. De Geul van Baarland fungeerde in 1959 nog daadwerkelijk als geul. In 2004 was slechts een restant aanwezig. De locatie van het hoogdynamische areaal is verschoven naar het zuiden, waar actieve geul liggen (de uitloper van de Everingen en de Schaar van Baarland). De nieuwe zuidelijke Plaat van Baarland is in zijn geheel hoogdynamisch.



Figuur B2.24: Grafiek met het areaal met 30 procent, 70 procent en 100 procent droogvallen in de loop van de tijd. Bepaald op basis van de kaarten met droogvalpercentages, ten opzichte van variërend referentievlak (GLMWS).

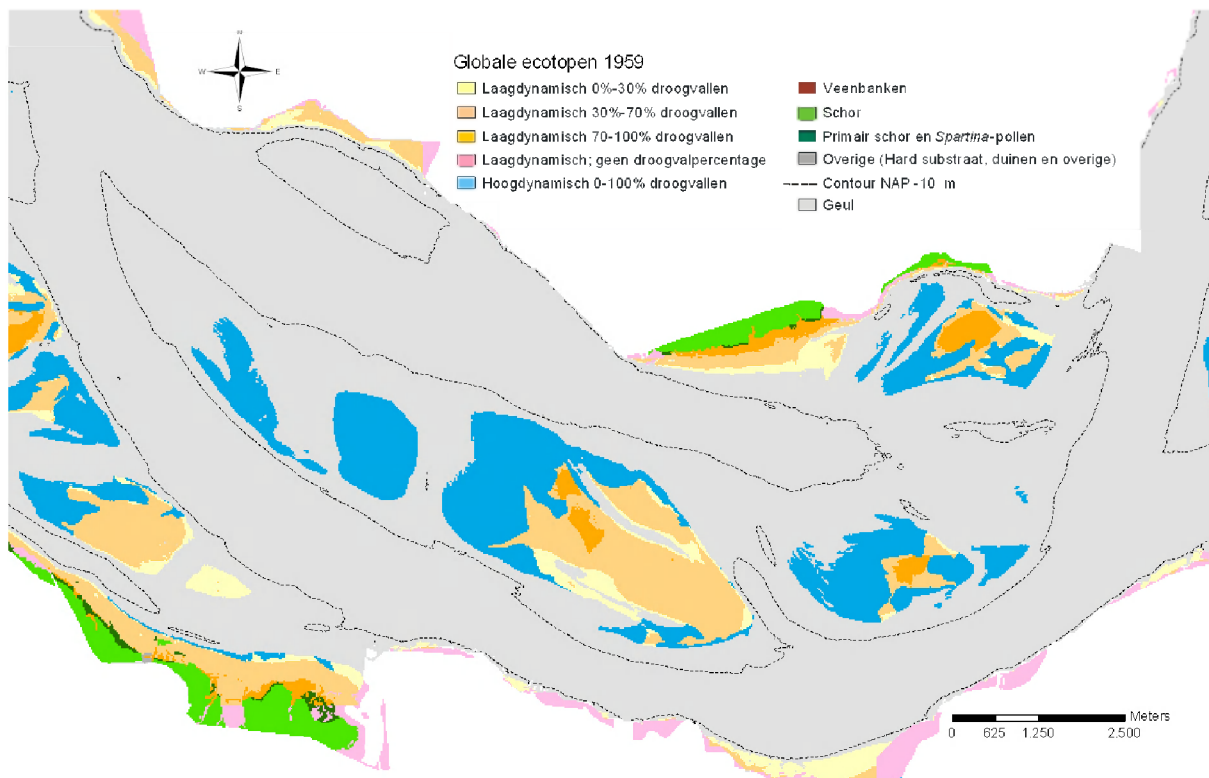


Figuur B2.25: Grafiek met de relatieve bijdrage van de verschillende droogvalpercentages aan het totale areaal droogvallende plaat in de loop van de tijd. Bepaald op basis van de kaarten met droogvalpercentages, ten opzichte van variërend referentievlak (GLMWS).

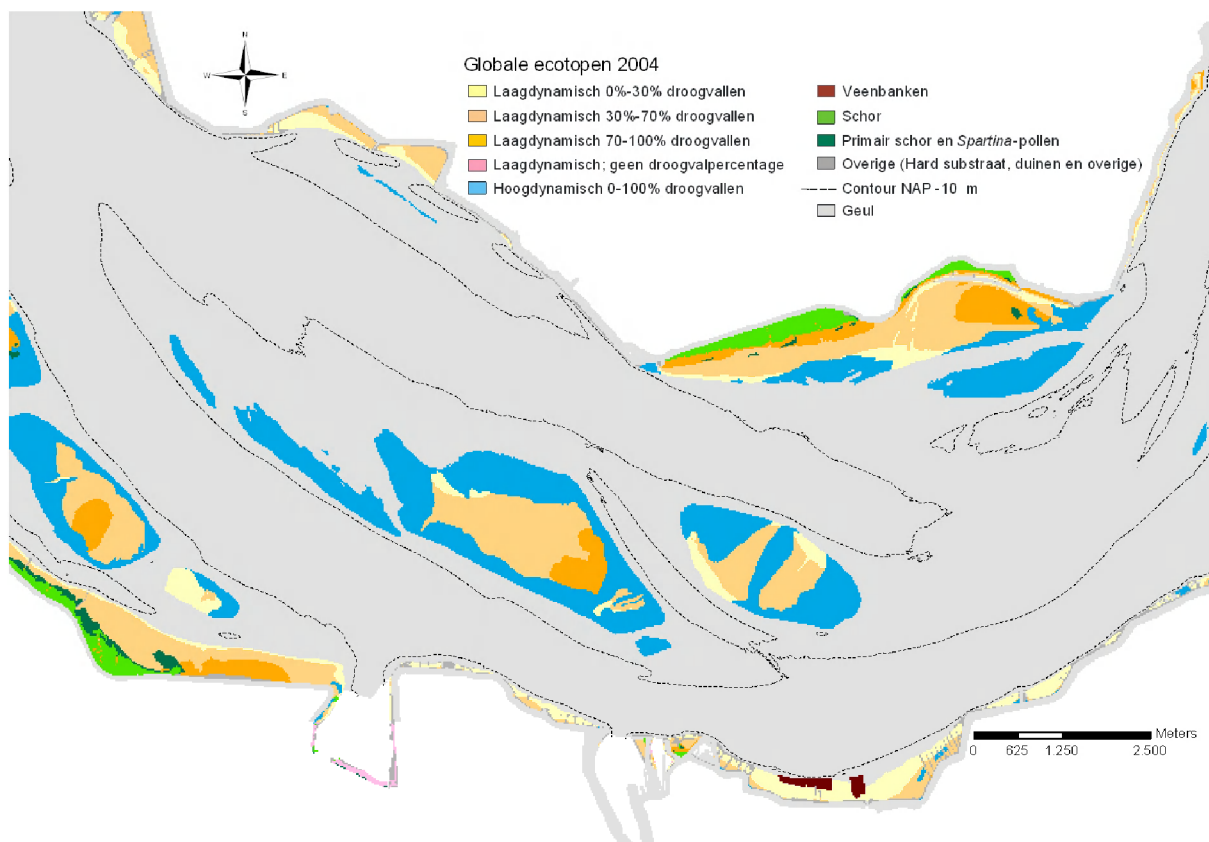


Figuur B2.26: Ontwikkeling van het areaal per ecotopenklasse voor de Platen van Baarland (vak 811, locatie van het vak in figuur 4.2).

In de figuren B2.27 en B2.28 zijn de ecotopenkaarten van 1959 en 2004 weergegeven. In beide kaarten is zichtbaar dat het hoogdynamische areaal voornamelijk is gebonden aan de randen van de platen. In 1959 is er daarbij nog een duidelijk zwaartepunt zichtbaar aan de westzijde van de plaat, terwijl in 2004 het hoogdynamische areaal vrijwel overal het laagdynamische areaal rondom omsluit. Op de oostelijke plaat van de Middelpaat steekt overigens ook een hoogdynamische baan dwars over de plaat. De grens tussen hoog- en laagdynamisch areaal loopt in 1959 en in 2004 door verschillende contouren van de droogvalpercentages heen. Ondanks de voorkeursligging van het hoogdynamische areaal voor de randen van de plaat is het niet één op één gekoppeld aan de lage droogvalpercentages.



Figuur B2.27: De ecotopenkaart van de Middelpalten en de Platen van Baarland in 1959.



Figuur B2.28: De ecotopenkaart van de Middelpalten en de Platen van Baarland in 2004.

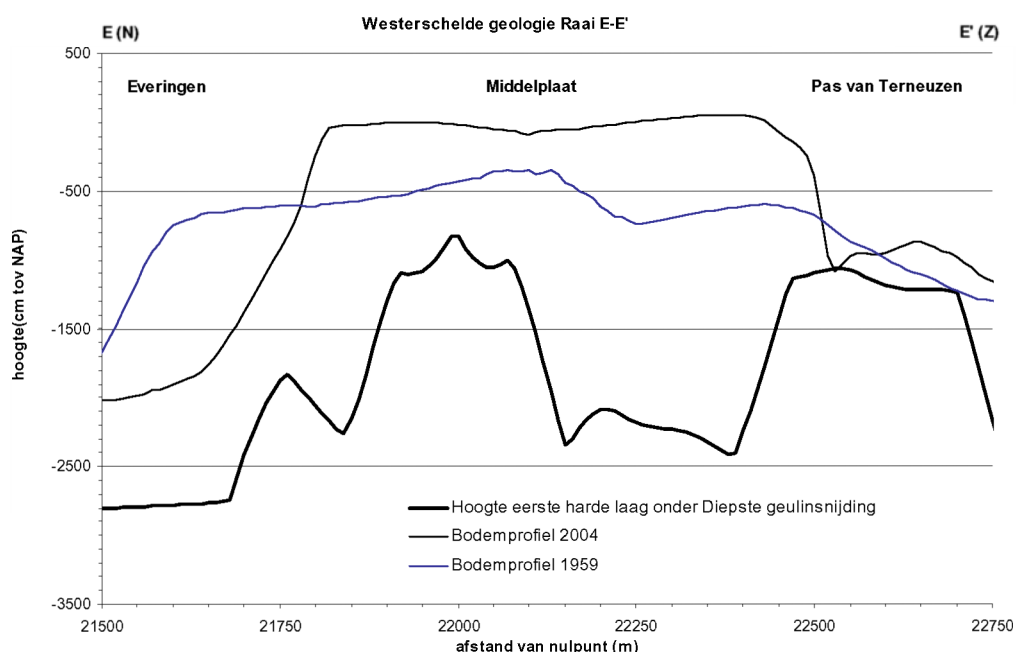
2.6 Analyse van de ontwikkelingen

Moelijk erodeerbare lagen

Onder het Middelpaatcomplex is geen oude 'harde kern' van moeilijk erodeerbare lagen aanwezig. Dit is afgeleid uit de ligging van de geulen in de periode van 1800 tot 2004, in samenhang met de uit boringen geïnterpoleerde aanwezigheid van harde lagen. De hoogte van de eerste moeilijk erodeerbare laag is weergegeven voor dwarsdoorsnede EE' in figuur B2.29. In deze figuur is zichtbaar dat de eerste moeilijk erodeerbare laag onder de Middelpaat op een diepte van meer dan NAP -9 meter wordt gevonden.

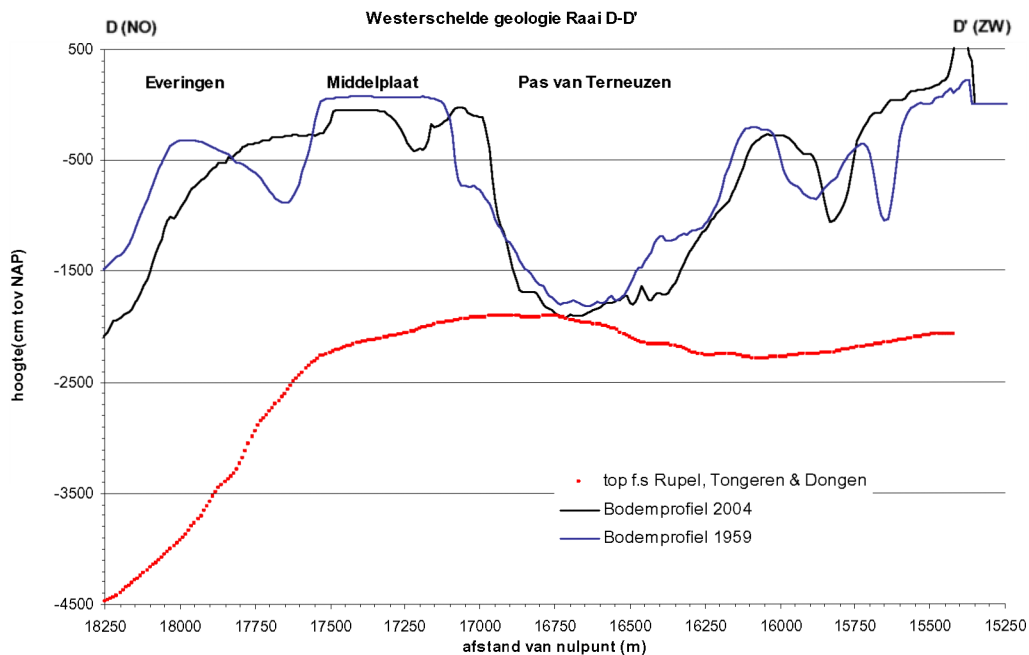
De migratie van het plaatcomplex als geheel (figuur B2.6) en met name de migratie van de kortsluitgeulen door het plaatcomplex (figuur B2.14) heeft de ooit aanwezige oudere afzettingen opgeruimd.

De migratie van de Geul van Baarland heeft hetzelfde effect gehad voor de Plaat van Baarland, waar een 'harde kern' onder de plaat ook ontbreekt.



Figuur B2.29: Dwarsdoorsnede EE' door het Middelpatencomplex, met de uit de historische kaarten van 1800 tot 2004 bepaalde maximale insnijdingsdiepte van de geulen. De locatie van het dwarsdoorsnede is weergegeven in figuur 4.3).

Bij de Pas van Terneuzen wordt de maximale insnijdingsdiepte van de geul mogelijk beperkt door de aanwezigheid van de Boomse klei uit de Formatie van Rupel. De aanwezigheid van deze laag direct onder het diepste punt van de geul is zichtbaar in dwarsdoorsnede DD' in figuur 2.30.



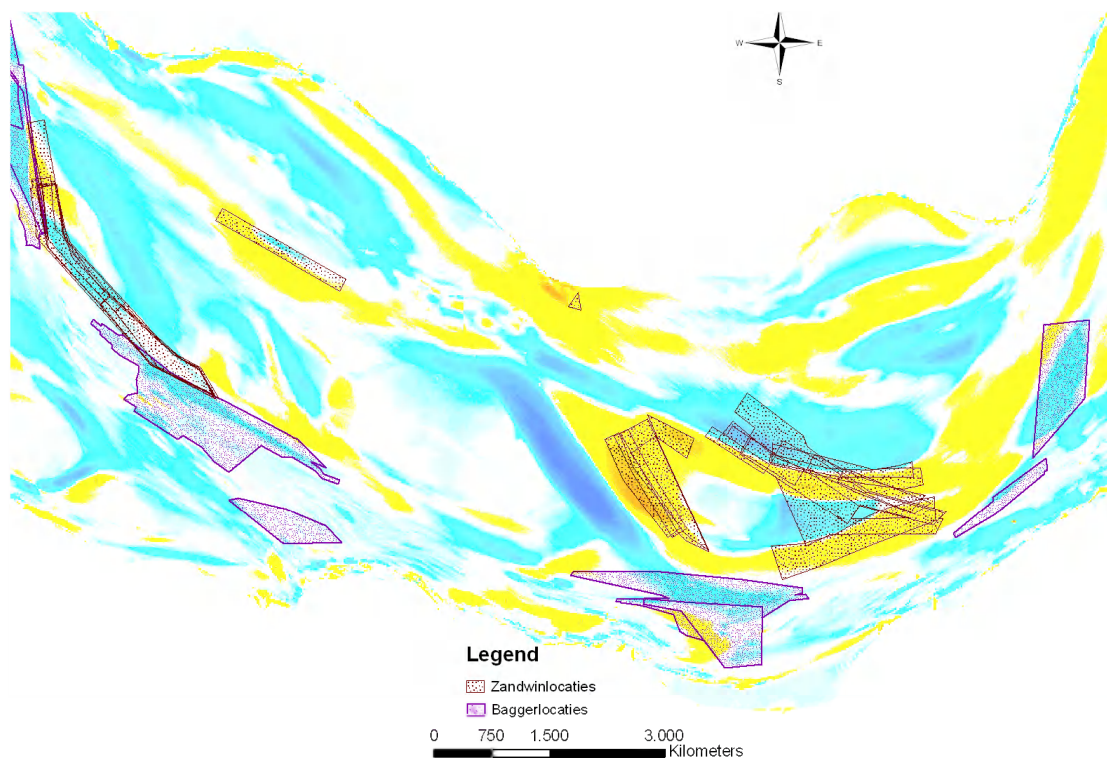
Figuur B2.30: Dwarsdoorsnede DD' van de Macrocel 3, met de uit boringen geïnterpoleerde aanwezigheid van moeilijk erodeerbare lagen van de Formaties van Rupel, Tongeren en Dongen. Deze lagen zijn niet geërodeerd door geulen). De locatie van het dwarsdoorsnede is weergegeven in figuur 4.3).

Menselijke ingrepen

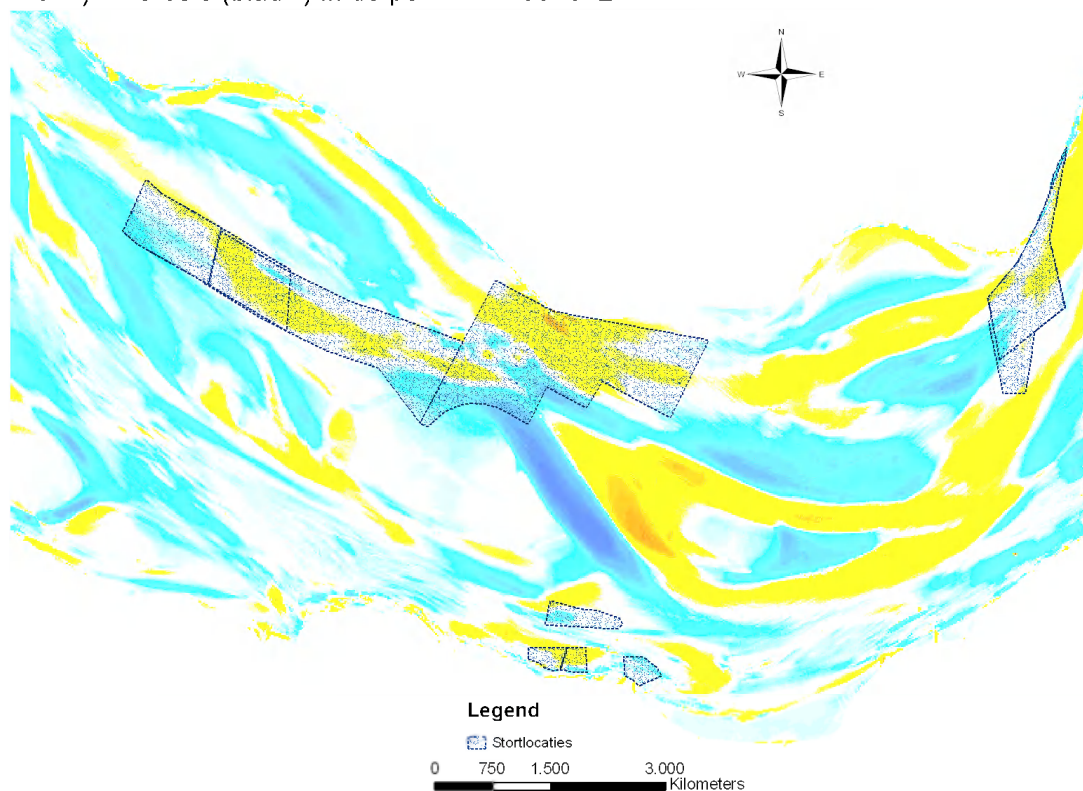
De locaties waar in de afgelopen jaren zand is onttrokken zijn weergegeven in figuur B2.31 en de locaties waar zand is gestort zijn weergegeven in figuur B2.32. De baggerwerkzaamheden in macrocel 3 zijn begonnen in de jaren zeventig (figuur B2.33). Het baggeren van de Drempel van Baarland is gestaakt halverwege de jaren zeventig, omdat de scheepvaartfunctie van het Middelpaai is overgenomen door het Gat van Ossensisse. Sindsdien is de Pas van Borssele de belangrijkste baggerlocatie in macrocel 3. Langs de randen van het Middelpaai-complex en in de kortsluitgeulen liggen verschillende zandwinlocaties. Hier is de periode 1955 tot 2005 enkele miljoenen m³ zand gewonnen voor de handel.

In macrocel 3 is na 1997 meer sediment gestort dan onttrokken door de baggerwerkzaamheden (figuur B3.34). Dit surplus van sediment heeft te maken met de gewijzigde stortstrategie na de tweede verdieping, waarbij baggerspecie uit het oostelijk deel van de Westerschelde is gestort in het westelijke deel. Ondanks de netto toevoer van sediment is het totale sedimentvolume in het gebied afgenomen (figuur B2.3).

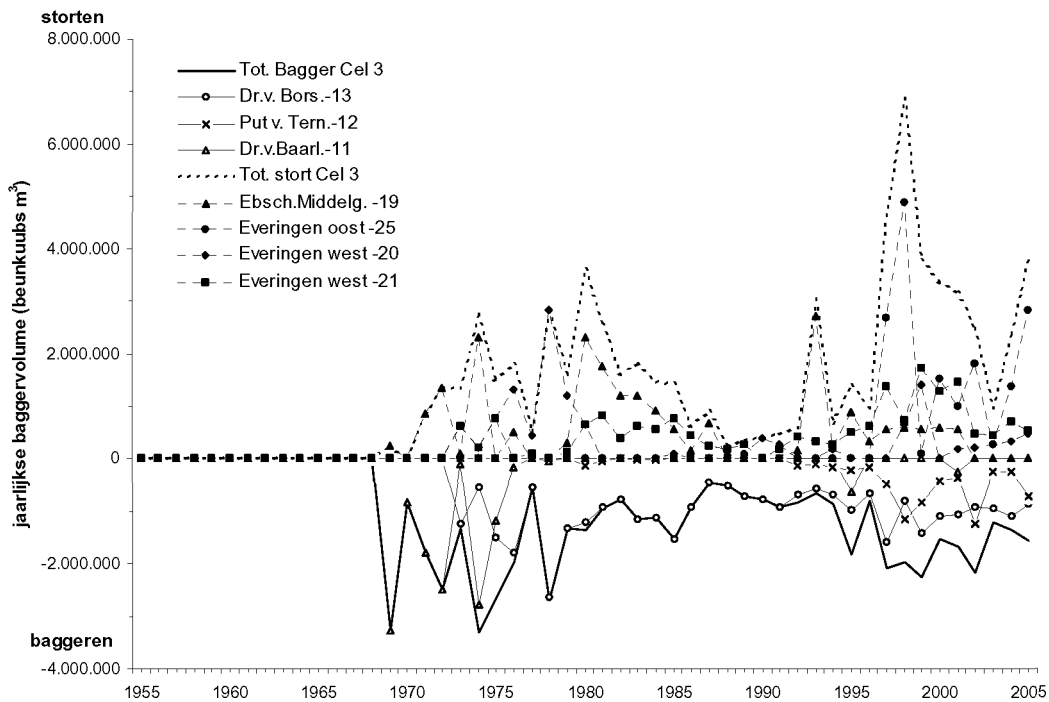
De meeste baggerspecie is gestort op verschillende locaties in de Everingen. De stortlocaties komen overeen met sedimentatiegebieden in de sedimentatie-erosiekaart van 1988 tot 2004. De netto sedimentatie op deze gebieden hoeft niet noodzakelijkerwijs alleen veroorzaakt te zijn door het storten van sediment, in macrocel 3 worden ook sedimentatiegebieden gevonden waar tenminste zoveel materiaal is afgezet zonder de directe bijdrage van het storten.



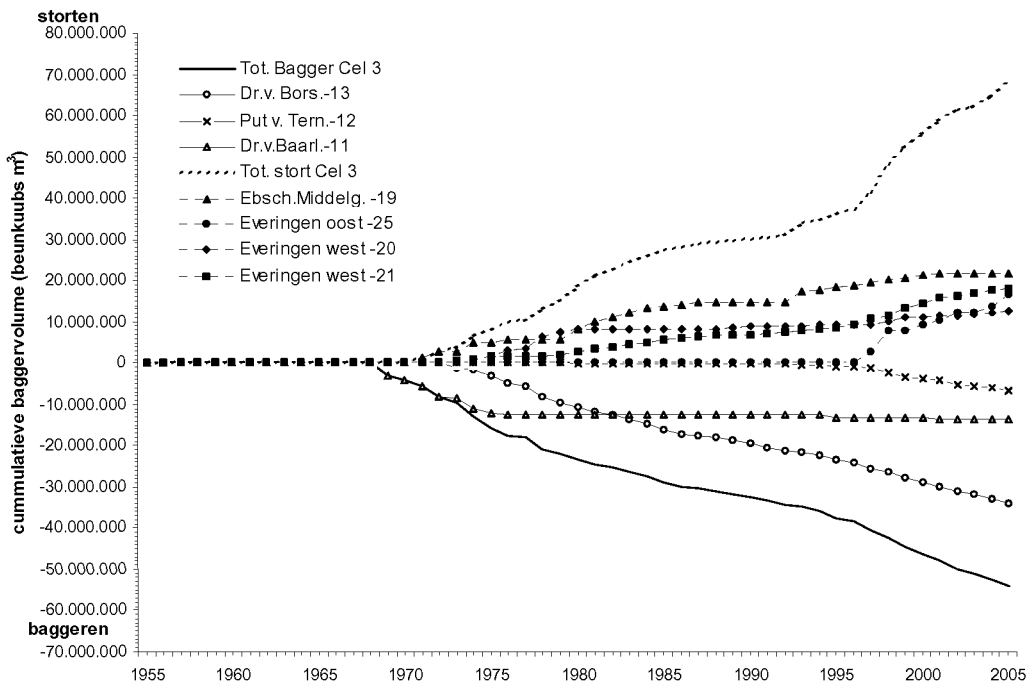
Figuur B2.31: Locaties waar in de periode 1990 tot 2004 onttrekking (baggeren en zandwinnen) van sediment heeft plaatsgevonden in macrocel 3, weergegeven op een kaart met de sedimentatie (geel en rood) en erosie (blauw) in de periode 1988 tot 2004.



Figuur B2.32: Locaties waar in de periode 1990 tot 2004 storting van sediment heeft plaatsgevonden in macrocel 3, weergegeven op een kaart met de sedimentatie (geel en rood) en erosie (blauw) in de periode 1988 tot 2004.



Figuur B2.33: Grafiek met de jaarlijkse stortvolumes (positief) en baggervolumes (negatief) in macrocel 4 en in de verschillende bagger- en stortgebieden in de periode 1955 tot 2005.

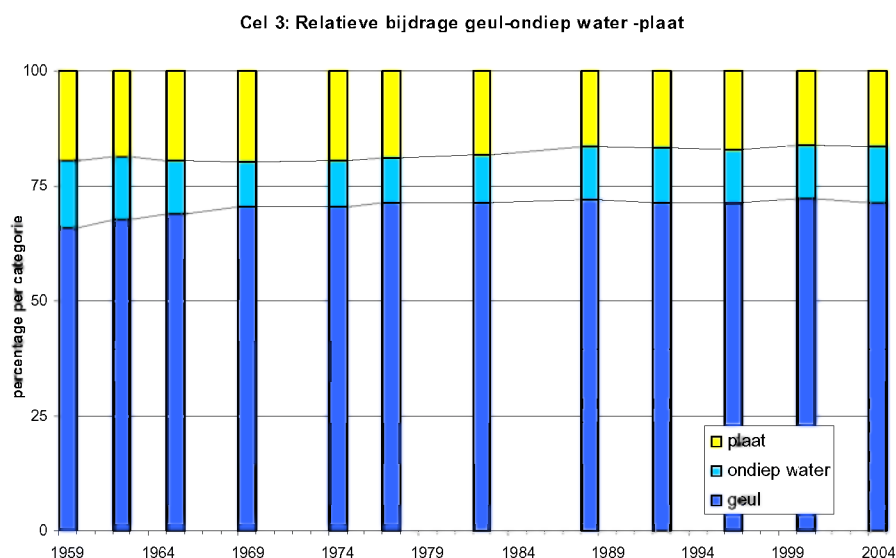


Figuur B2.34: Grafiek met de cumulatieve stortvolumes (positief) en baggervolumes (negatief) in macrocel 3 en in de verschillende bagger- en stortgebieden in de periode 1955 tot 2005.

De uitwisseling van sediment tussen geul en plaat

Het areaal en het sedimentvolume van de Middelpaalt zijn in de loop van de tijd afgenomen en daarbij is de plaat na de jaren tachtig relatief natter geworden. Deze ontwikkelingen hebben weliswaar niet synchroon plaatsgevonden en verschillen voor de westelijke en oostelijke helft van de

plaat, maar geven wel een globaal beeld van de ontwikkelingen van de plaat. Met name het areaal laagdynamische plaat is in de loop van de tijd afgenomen.



Figuur B2.35: De relatieve bijdrage van de arealen geul, ondiepwater en plaat (gedefinieerd ten opzichte van een vaste referentiehoogte) in alle kubeervakken samen van macrocel 3.

De afname van het sedimentvolume en de toename van het areaal met lage droogvalklassen is uniek in de Westerschelde. Alleen het Middelpaltencomplex vertoont deze ontwikkelingen, bij de andere complexen neemt het sedimentvolume toe en worden de platen hoger.

Vanwege deze afwijkende ontwikkelingen is gezocht naar veranderingen in de morfologie van de macrocel die kenmerkend zijn voor het Middelpaltencomplex. In de eerste plaats wordt gekeken naar de ontwikkeling van het areaal plaat, ondiepwater en geul (figuur B2.4). Na een afname van zowel de arealen plaat tot 1988 als ondiepwater tot 1977, zijn beide gestabiliseerd. Dit is ook zichtbaar in de ontwikkeling van de relatieve bijdragen in macrocel 3: vanaf halverwege de jaren tachtig zijn de verhoudingen tussen plaat, ondiepwater en geul vrijwel hetzelfde. In de andere macrocellen is sprake van een doorgaande afname van het areaal ondiepwater.

Het behoud van het areaal ondiepwater betekent mogelijk dat de balans tussen de aan- en de afvoer van sediment naar het Middelpaltencomplex niet is veranderd. Het areaal ondiepwater in macrocel 3 wordt gevormd door de kortsluitgeulen, de plaatranden en delen van de drempel tussen de Everingen en het Middelpalten. De belangrijkste reden voor het behoud van het areaal ondiepwater is het voortbestaan van de kortsluitgeulen in macrocel 3. In andere macrocellen zijn de kortsluitgeulen in aantal en omvang afgenomen.

Een ander verschil tussen macrocel 3 en de andere macrocellen zijn de onttrekkingen van sediment die plaatsvinden en –vonden in de kortsluitgeulen en op verschillende locaties langs de plaatranden. Het effect van de zandwinning op het sedimentvolume van de plaat kan direct zijn: door de zandwinning wordt extra zand van de plaat afgevoerd, zodat de balans tussen aan- en afvoer van sediment verschuift. Het effect van de zandwinning kan ook indirect zijn: door de zandwinning blijven de kortsluitgeulen aanwezig, waardoor de balans tussen de aan- en afvoer van sediment in stand blijft.

2.7 Samenvatting van de ontwikkelingen

De belangrijkste verandering van de Middelplaat is de afname van het areaal intergetijdengebied (gemeten boven GLMWS). Het areaal intergetijdengebied van de Middelplaat is sinds het einde van de jaren zestig met ruim $3 \cdot 10^6$ m² afgenomen. Dit is een afname van ruim 27 procent van het areaal van ruim $11 \cdot 10^6$ m² in 1969. In combinatie met de afname van het plaatareaal is het relatieve aandeel van het lage plaatareaal (met 0 - 30 procent droogvallen) toegenomen ten koste van het plaatareaal met 30 - 70 procent droogvallen. Het areaal met de ecologisch belangrijke droogvalduur van 30 procent tot 70 procent droogvallen is ongeveer $2 \cdot 10^6$ m² (200 hectare) kleiner geworden sinds 1959. Het sedimentvolume van de Middelplassen is afgenomen. Sinds 1992 neemt het sedimentvolume van de oostelijke helft van de platen weer toe, maar dit komt niet ten goede aan de hogere delen van de platen.

De afname van het areaal intergetijdenplaat gaat vooral ten koste van het areaal laagdynamische plaat, zodat de hoogdynamische plaat relatief een steeds groter deel van de Middelplaat beslaat. Het areaal ondiepwater in macrocel 3 is relatief stabiel sinds eind jaren tachtig. Het aantal platen waaruit het complex bestaat schommelt rond de zes.

Het areaal intergetijdengebied op de Plaat van Baarland is sinds 1988 toegenomen, nadat in de voorgaande periode de plaat een netto afname heeft vertoond. De meest recente toename (van 2001 naar 2004) heeft voornamelijk plaatsgevonden op de nieuwe zuidelijke plaat van Baarland. De verdeling over de verschillende klassen van droogvalpercentages varieert sterk in de tijd. De Plaat van Baarland is voor een belangrijk deel hoogdynamisch gebied.

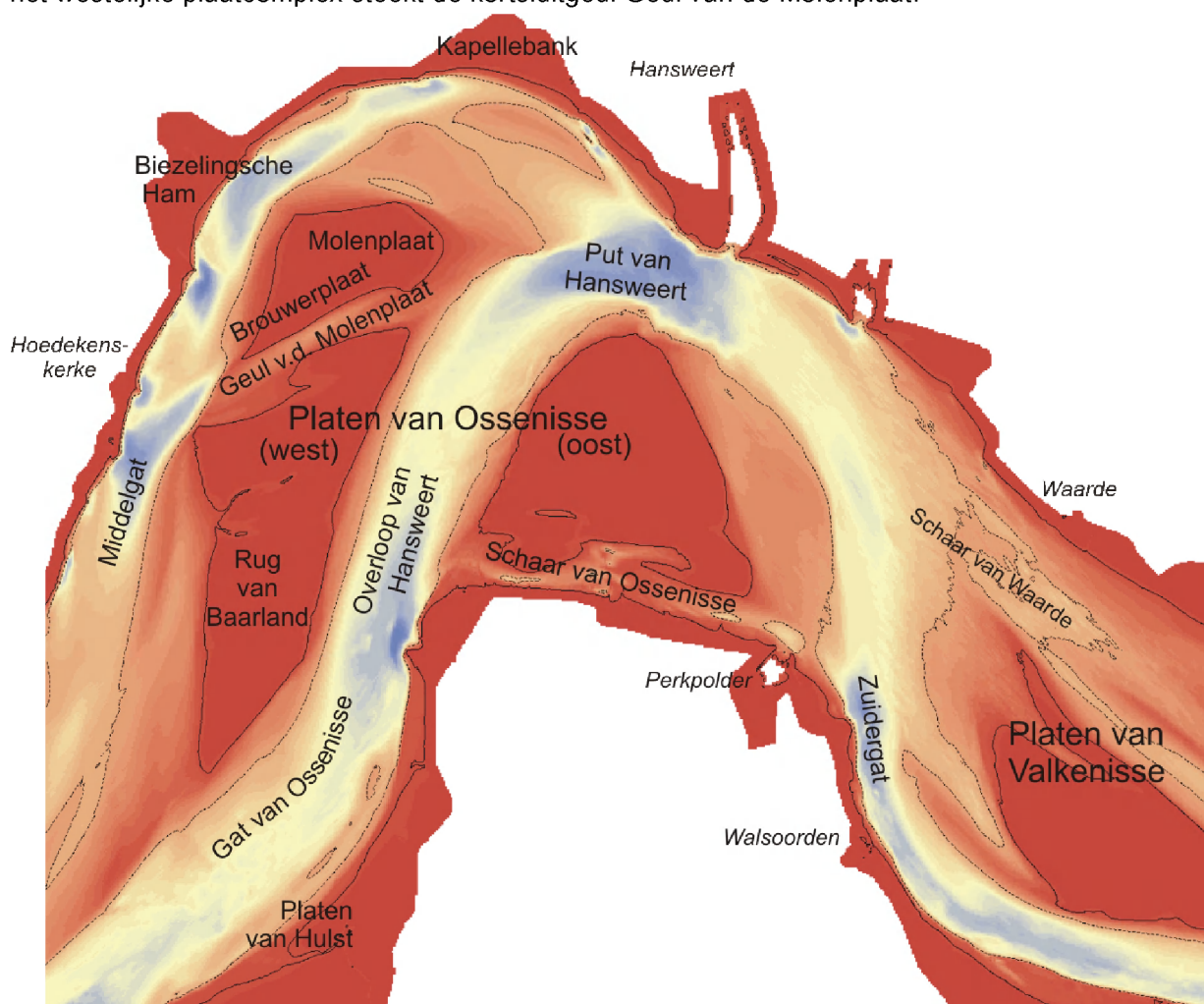
De bijdrage van de zuidelijke Plaat van Baarland in 2004 bestaat geheel uit hoogdynamische plaat. Op de platen en slikken van Baarland is het laagdynamische areaal toegenomen ten koste van het hoogdynamische areaal.

De afname van de grootte van de Geul van Baarland heeft geresulteerd in een afname van het areaal ondiepwater. De geul is aan beide uiteinden dusdanig ondiep geworden dat de Plaat van Baarland is verheeld met de slikken. Het aantal platen dat wordt omsloten door geulen is daardoor afgenomen van vier in 1959 tot nul in 1992.

Bijlage 3: Macrocel 4: Rondom de Platen van Ossenisse

3.1 Inleiding

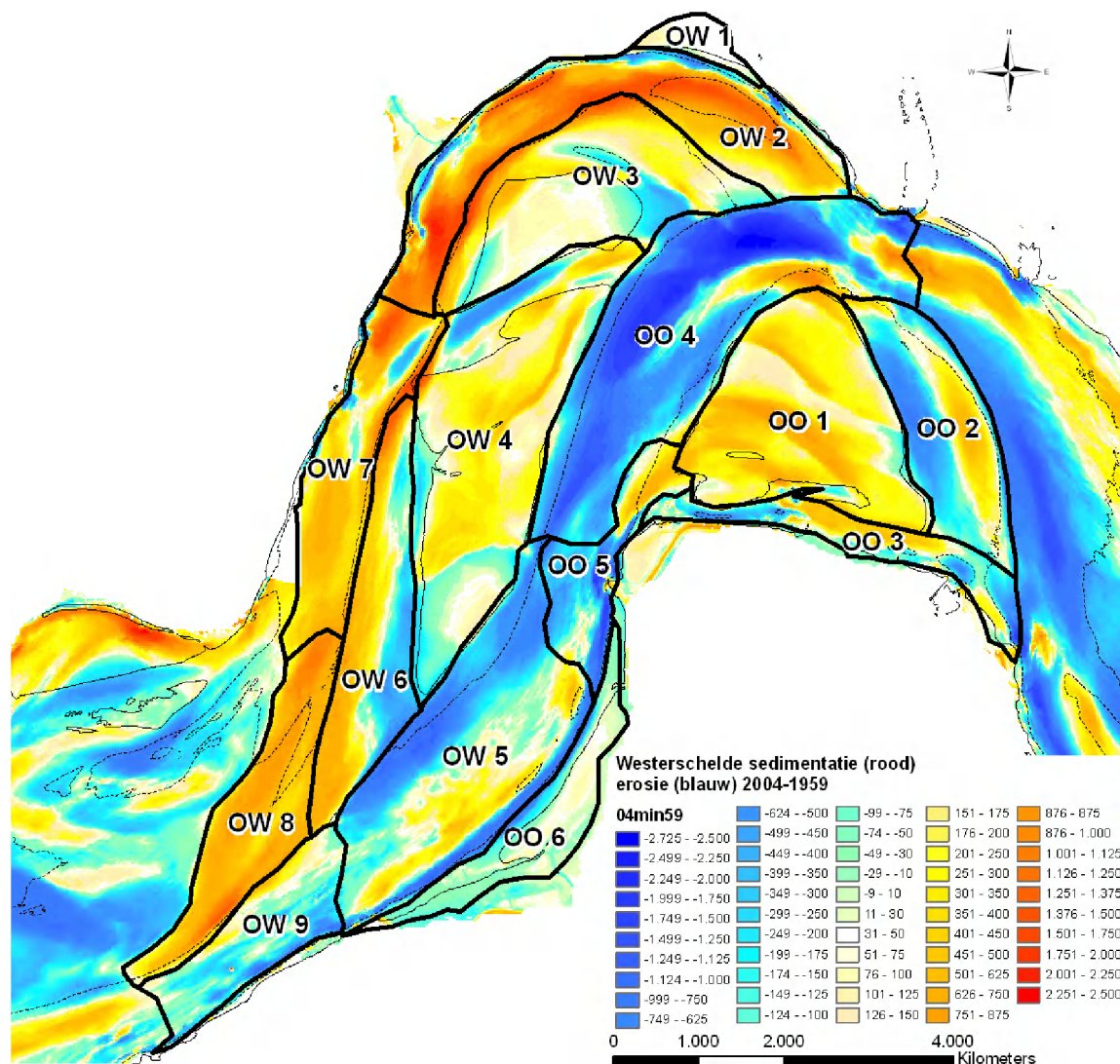
De Platen van Ossenisse zijn genoemd naar het dorp Ossenisse in Zeeuws-Vlaanderen. Dit is één van de dorpen op de karakteristieke 'bult' die vanuit Zeeuws-Vlaanderen de Westerschelde insteekt. Ten noorden ligt in het verlengde van deze bult de oostelijke Plaat van Ossenisse (figuur B3.1). Ten noordwesten hiervan liggen het westelijke platencomplex van Ossenisse. De hoofdgeul van de Westerschelde, die hier de Overloop van Hansweert heet, scheidt het westelijk van het oostelijke plaatcomplex. De Overloop van Hansweert gaat naar het noorden over in de Put van Hansweert en naar het zuiden in het Gat van Ossenisse. In deze macrocel is het Middelgat de nevengeul. De oostelijke plaat van Ossenisse wordt van de kust gescheiden door de Schaar van Ossenisse. Door het westelijke plaatcomplex steekt de kortsluitgeul Geul van de Molenplaat.



Figuur B3.1: Kaart met morfologische eenheden en namen op en rond macrocel 4.

De Platen van Hulst vormen het meest uitgestrekte slikken- en schorrencomplex in Macrocel 4. Aan de noordzijde zijn de Biezelingsche Ham en Kapellebank kleinere slikken.

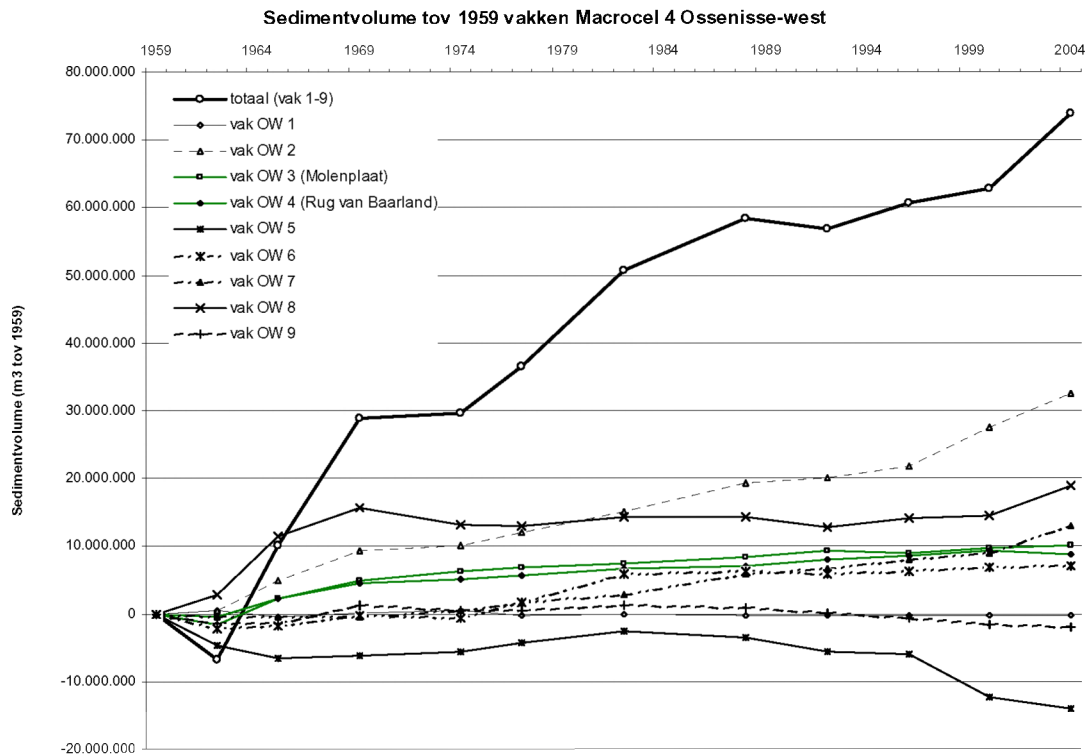
De macrocel wordt beschreven in drie delen, namelijk de Overloop van Hansweert en het Middelgat, de westelijke platen van Ossensisse en de oostelijke platen van Ossensisse. Omdat de ontwikkelingen van het Middelgat en de Overloop van Terneuzen bepalend zijn geweest voor de opdeling van de Platen van Ossensisse in het westelijke en het oostelijk complex wordt na de ontwikkeling van de arealen en sedimentvolumes begonnen met de ontwikkelingen van de geulen.



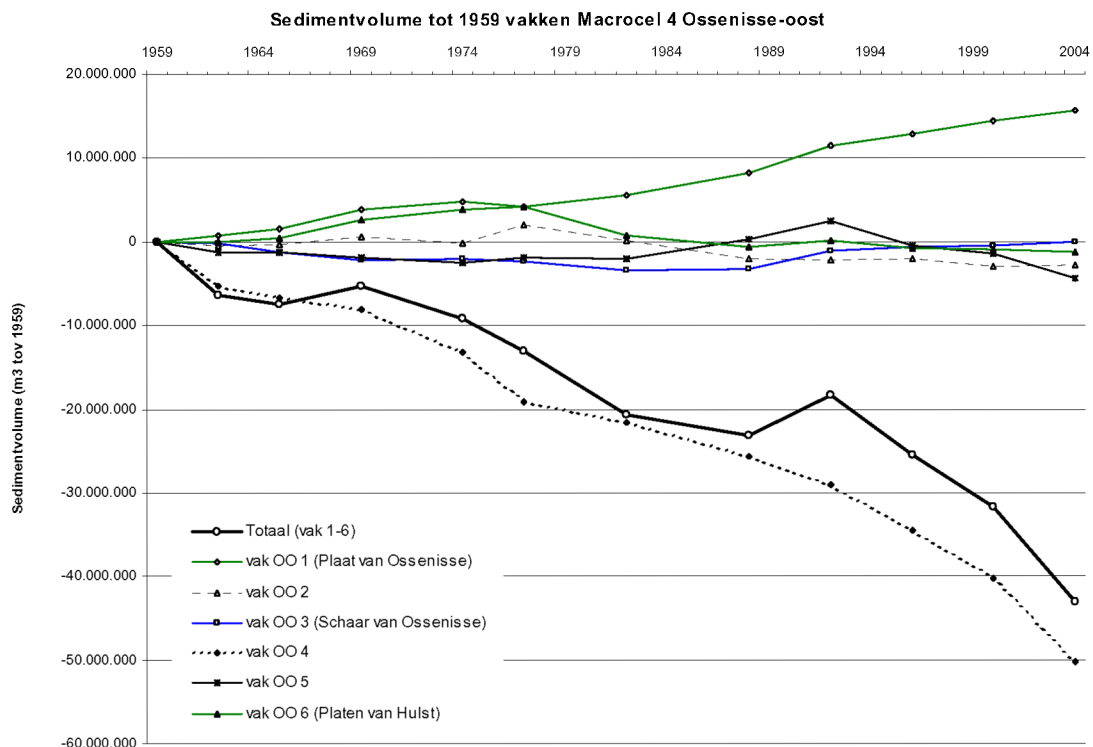
Figuur B3.2: Sedimentatie (rood) en erosie (blauw) in de periode 1959 tot 2004. Op de kaart zijn de kubeervakken aangegeven voor macrocel 4, waarbij OW staat voor de westelijke en OO voor de oostelijke Platen van Ossensisse.

3.2 Sedimentvolume en arealen

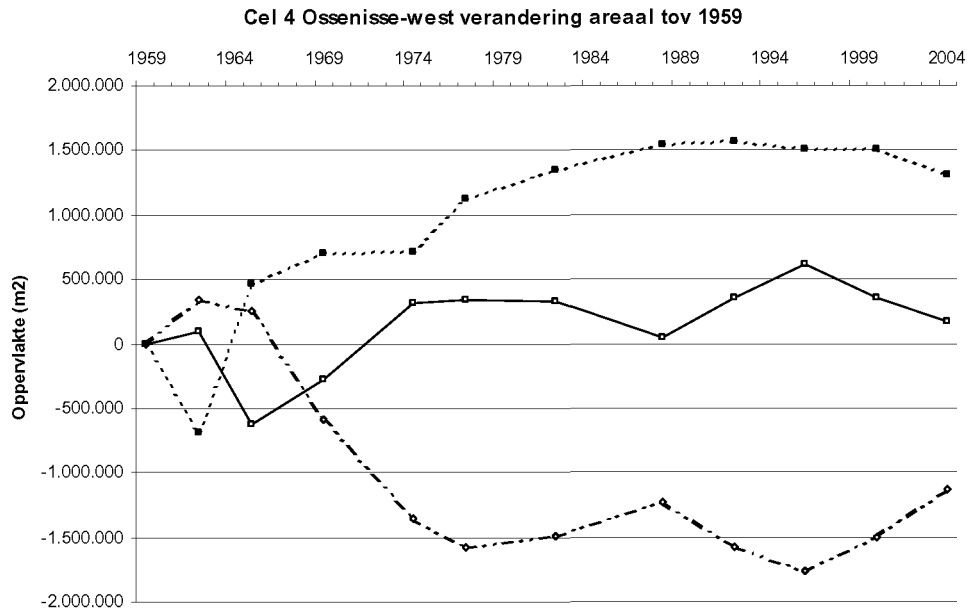
De vakindeling die is gebruikt voor het bepalen van de sedimentvolumes is weergegeven in figuur B3.2. De ontwikkeling van de sedimentinhoud is voor de westelijke vakken (OW: Ossensisse-west in figuur B3.2) weergegeven in figuur B3.3 en voor de oostelijke vakken (OO: Ossensisse-oost in figuur B3.2) in figuur B3.4.



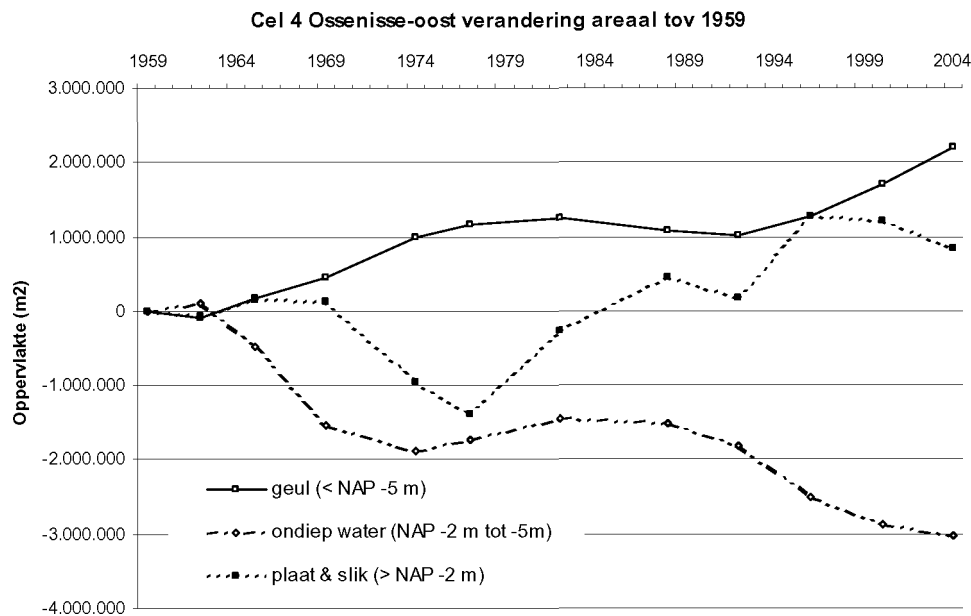
Figuur B3.3: De ontwikkeling van de sedimentinhoud (- is erosie, + is sedimentatie) van de westelijke helft van macrocel 4 en de verschillende kubeervakken (aangegeven in figuur B3.2) ten opzichte van het referentiejaar 1959.



Figuur B3.4: De ontwikkeling van de sedimentinhoud (- is erosie, + is sedimentatie) van de westelijke helft van macrocel 4 en de verschillende kubeervakken (aangegeven in figuur B3.2) ten opzichte van het referentiejaar 1959.



Figuur B3.5: De ontwikkeling van de arealen (gedefinieerd ten opzichte van een vaste referentiehoogte) geul, ondiepwater en plaat in de alle westelijke kubeervakken (OW) samen van macrocel 4 ten opzichte van het referentiejaar 1959. Legenda in figuur B3.6.



Figuur B3.6: De ontwikkeling van de arealen (gedefinieerd ten opzichte van een vaste referentiehoogte) geul, ondiepwater en plaat in de alle oostelijke kubeervakken (OO) samen van macrocel 4 ten opzichte van het referentiejaar 1959.

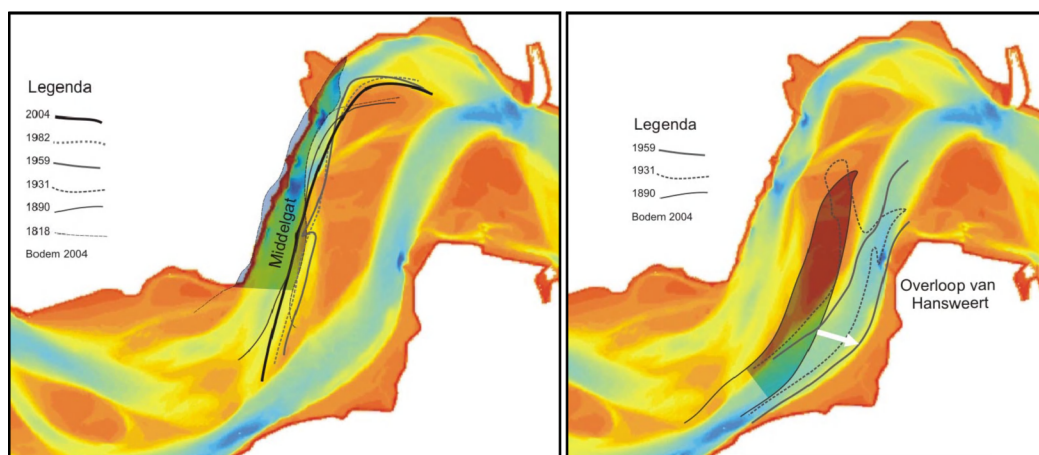
De totale volumes van de westelijke en de oostelijke kubeervakken vertonen een volledig tegengestelde ontwikkeling: het sedimentvolume van alle westelijke vakken samen is toegenomen met ruim $70 \times 10^6 \text{ m}^3$ en het sedimentvolume van alle oostelijke vakken samen is afgenomen met ruim $40 \times 10^6 \text{ m}^3$. In de sedimentatie-erosiekaart is dit zichtbaar in de voornamelijk rood- en geelgekleurde vakken aan de westelijke helft van macrocel 4.

Aan de oostzijde zijn enkele blauwe vakken zichtbaar, die samenvallen met de hoofdgeul. In figuur B3.4 is zichtbaar dat het merendeel van de erosie van de oostelijke helft op het conto komt van vak 4, dit is de Overloop van Terneuzen.

De ontwikkeling van de arealen geul, ondiepwater en plaat en slikken (gedefinieerd ten opzichte van een vaste referentiehoogte) zijn weergegeven in de figuren B3.5 en B3.6. In het westelijke en het oostelijke deel zijn de arealen plaat en geul toegenomen, ten koste van het areaal ondiepwater. De toename van het plaatareaal is in de westelijke helft doorgegaan tot halverwege de jaren tachtig en het areaal is daarna enigszins afgenomen. De toename van het plaatareaal in het oostelijke deel is begonnen na de jaren zeventig. Tot die tijd is het areaal van de plaat afgenomen. De grootste toename van het geulareaal heeft plaatsgevonden in de oostelijke helft van macrocel 4. Deze toename is in twee stappen verlopen, in de periodes 1959 tot 1977 en 1992 tot 2004. In de tussenliggende jaren is het geulareaal stabiel gebleven.

3.3 De Overloop van Hansweert en het Middelgat

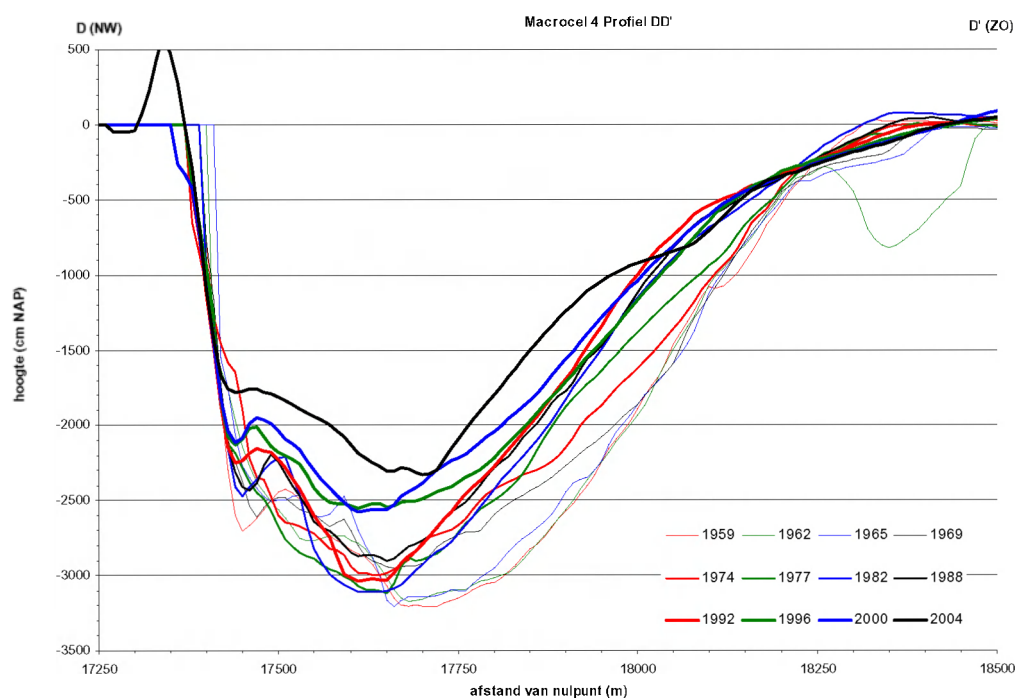
De Overloop van Hansweert scheidt het Platencomplex van Ossenisse in het westelijke en oostelijke deel. Het Middelgat scheidt de westelijke platen van Ossenisse van de noordwestoever van de Westerschelde. De Overloop van Hansweert vormt tegenwoordig in macrocel 4 de hoofdgeul van de Westerschelde, terwijl het Middelgat de nevengeul is. Voor de jaren tachtig was de situatie omgekeerd en was het Middelgat de hoofdgeul in deze cel. De toename van de grootte en het belang van de Overloop van Hansweert en de afname van het Middelgat is een ontwikkeling die al veel langer bezig is. In figuur B3.7 is de ontwikkeling van het Middelgat en de ontwikkeling van de Overloop van Hansweert in beeld gebracht.



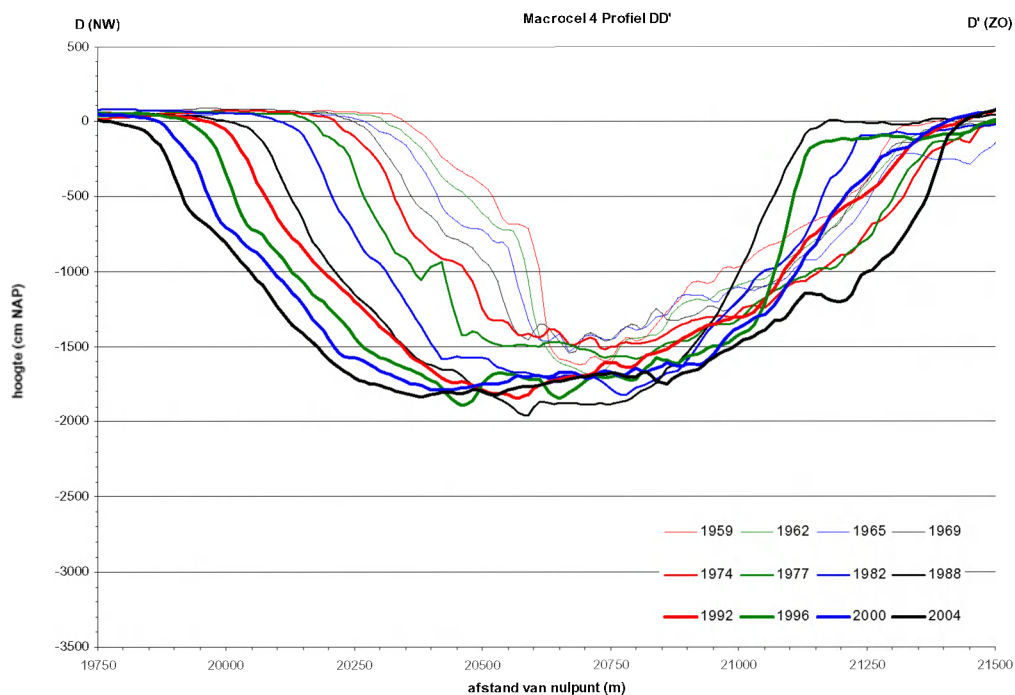
Figuur B3.7: Kaart met de contouren van de Overloop van Hansweert en het Middelgat bij macrocel 4 in de periode 1818 tot 2004 (op de bodemligging 2004).

De grootte van het Middelgat is in de loop van de 19^e eeuw toegenomen. In 1819 eindigde de geul nog in een vloedchild ten westen van Hansweert. In 1890 was sprake van een doorgaande geul ten noorden van de Molenplaat. In dwarsdoorsnede DD' in figuur B3.8 is zichtbaar dat de breedte en de maximale diepte van het Middelgat na 1959 is afgenomen. De sedimentatie in het Middelgat is ook zichtbaar in figuur B3.3, waarin het sedimentvolume van vak 2 en vak 7 is toegenomen en derhalve het watervolume is afgenomen

De ontwikkeling van de Overloop van Hansweert is later begonnen dan de ontwikkeling van het Middelgat. In figuur B3.7 is zichtbaar dat in 1890 de Overloop nog uitliep in een vloedschild op de locatie van de huidige Rug van Baarland. In de periode na 1890 is de locatie van de Overloop verschoven naar het oosten en is de grootte van de geul toegenomen. In 1959 was sprake van een doorlopende geul naar de Put van Hansweert. In figuur B3.8 is in dwarsdoorsnede te zien dat de Overloop van Hansweert na 1959 steeds breder en steeds dieper is geworden. De maximale diepte is eind jaren tachtig bereikt.



Figuur B3.8: Dwarsdoorsnede van het Middelgat (dwarsdoorsnede D1D' van macrocel 4) in verschillende jaren. (locatie in figuur 4.5)

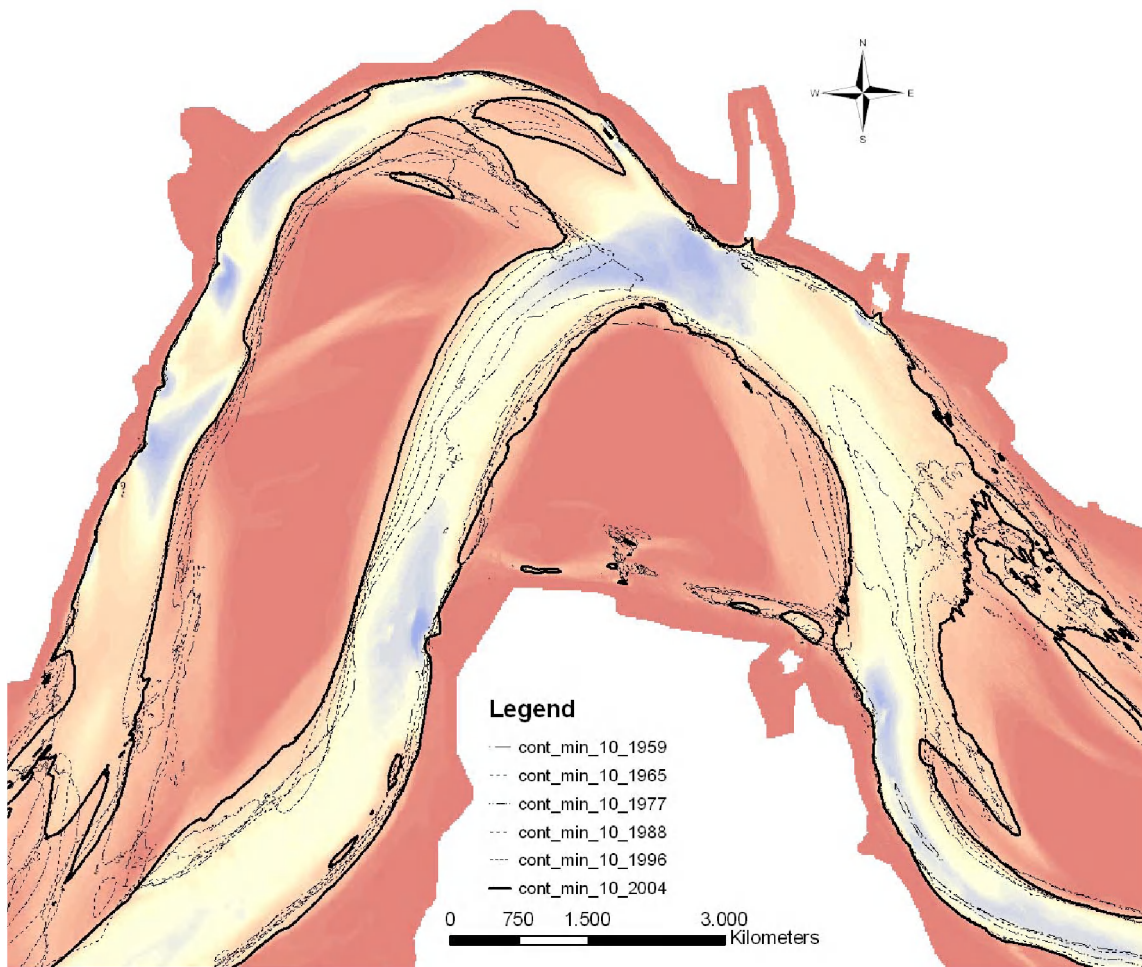


Figuur B3.9: Dwarsdoorsnede van de Overloop van Hansweert (dwarsdoorsnede D2D' van macrocel 4) in verschillende jaren (locatie in figuur 4.5).

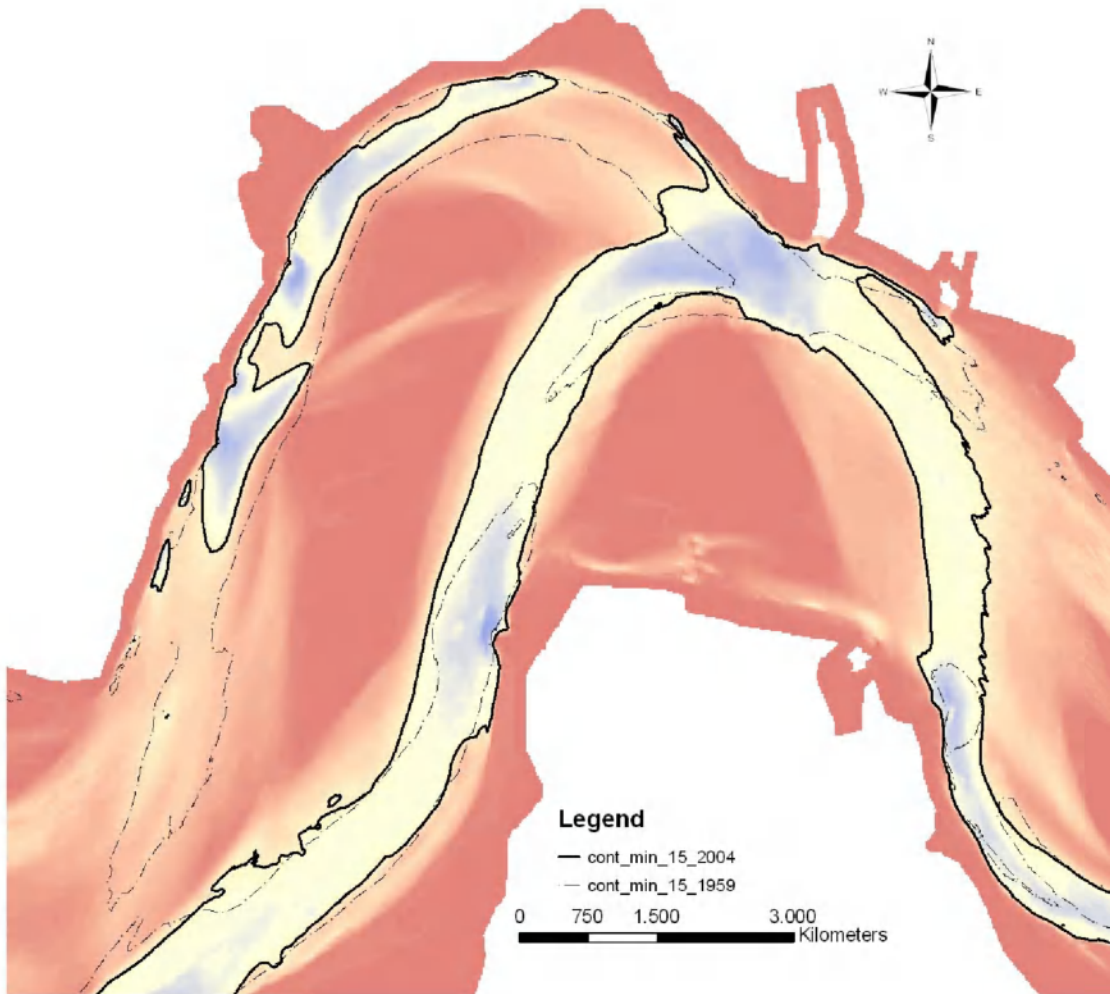
De toename van de breedte van de Overloop van Hansweert is duidelijk zichtbaar in de ligging van de NAP –10 meter contour in de loop van de tijd (Figuur B3.10). In de kaart met de NAP-15 meter contour (figuur B3.11) is zichtbaar dat het Middelgat in 1959 nog de hoofdgeul was en de Overloop van Hansweert van de nevengeul. De NAP –15 meter contour liep in 1959 nog onderbroken door langs beide oevers van het Middelgat en omsloot in de Overloop van Hansweert enkele diepere delen. De situatie in 2004 is precies omgekeerd, met een ononderbroken NAP –15 meter contour langs de Overloop van Hansweert en enkele omsloten diepere delen van het Middelgat.

In de grafiek met het oppervlakte van de dwarsdoorsnedes van de geulen in macrocel 4 in figuur B3.12 is zichtbaar dat de oppervlakte van het Middelgat is afgenomen en het oppervlakte van de Overloop van Hansweert is toegenomen. De maximale afname van het Middelgat bedraagt 26 procent en 34 procent en de maximale toename bedraagt 12 procent en 29 procent. Het oppervlakte van de totale doorsnede van macrocel 3 is afgenomen in alle drie de raaien. De maximale afname bedraagt per raai 11 procent, 17 procent en 13 procent.

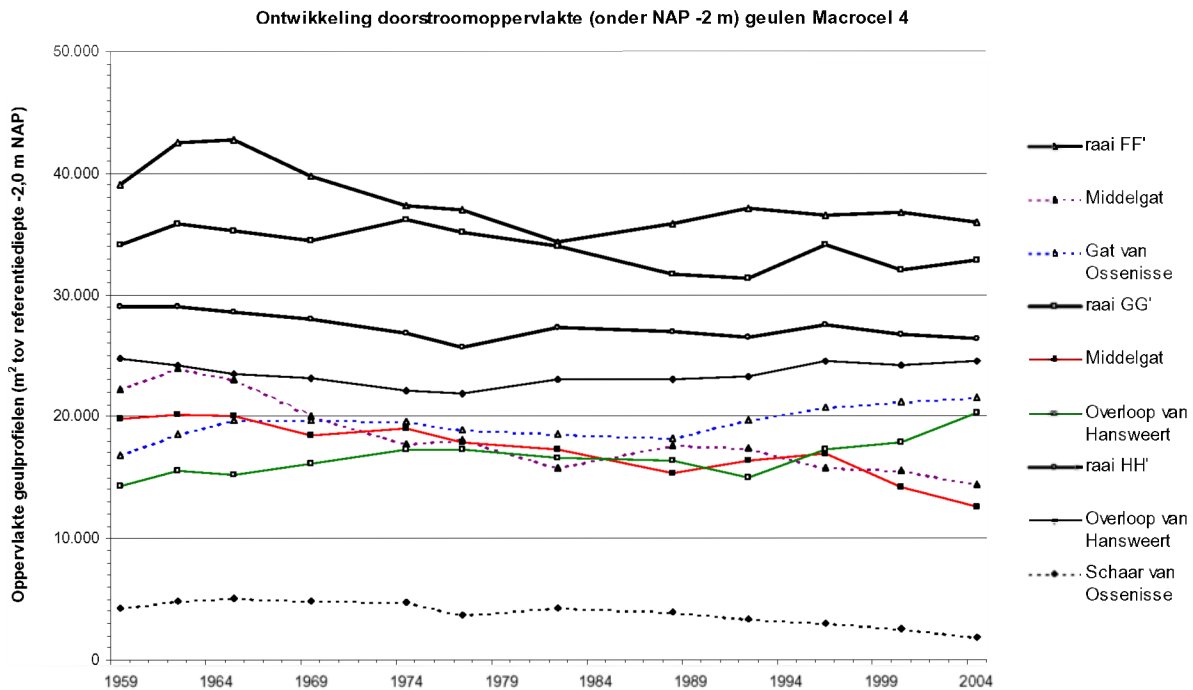
De afname van het totale doorstroomoppervlakte in de raaien van macrocel 4 wijst erop dat de dwarsdoorsnede van de geulen in dit gebied groter was dan noodzakelijk was voor het getijvolume dat bij deze geulen hoorde. Dat de geulen te ruim waren wordt ondersteund door het feit dat het doorstroomoppervlakte van deze geulen in de jaren zestig groter was dan dat van de meer westwaarts gelegen raaien.



Figuur B3.10: Kaart met de contouren van het NAP –10 meter niveau rond de Platen van Ossenisse van 1959 tot 2004.

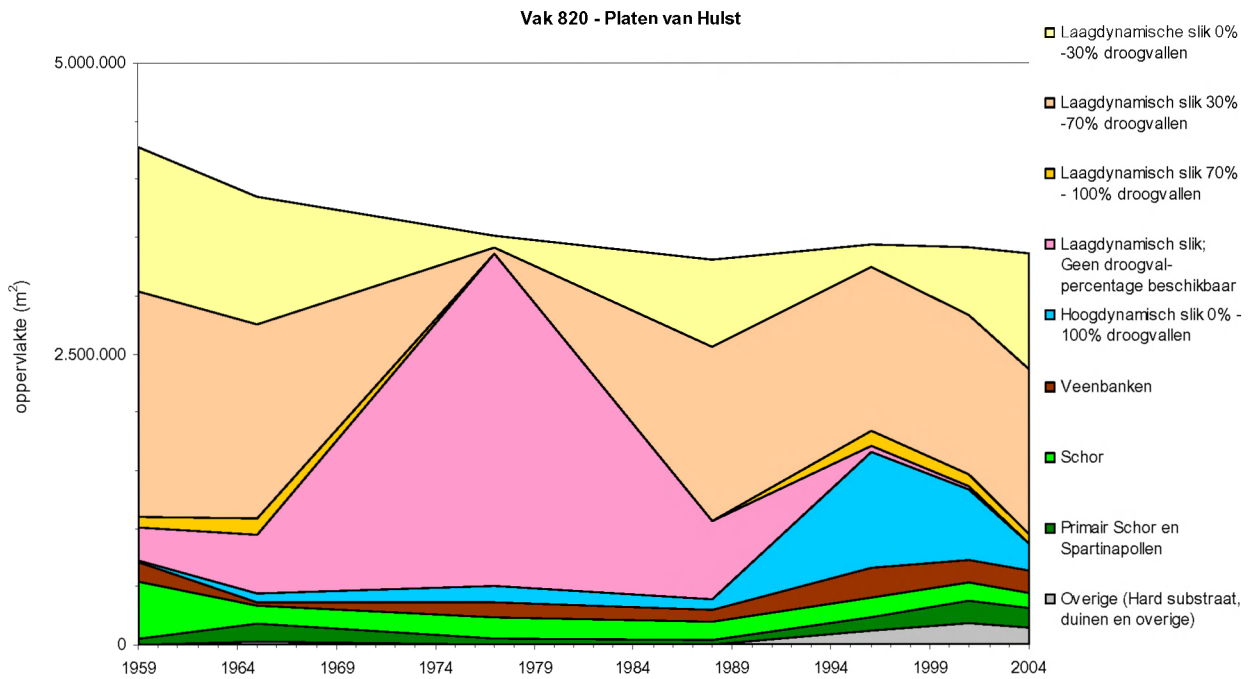


Figuur B3.11: Kaart met de contouren van het NAP –15 meter niveau rond de Platen van Ossenisse in 1959 en 2004.

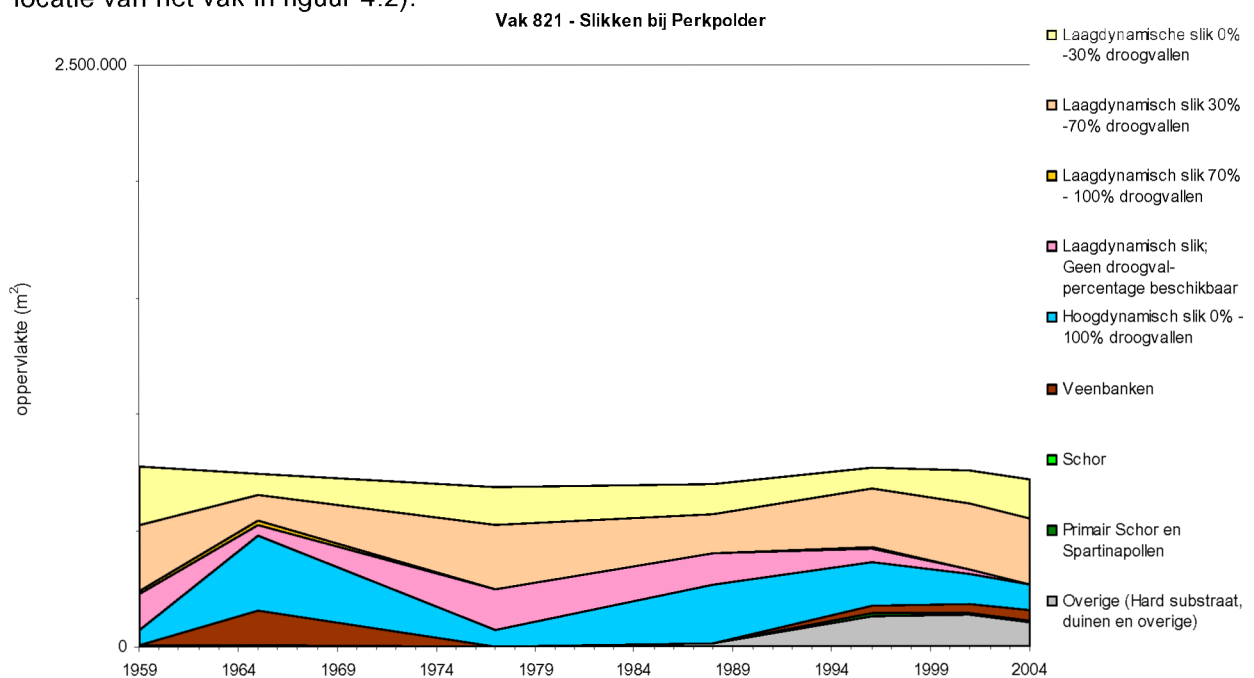


Figuur B3.12: Grafiek met de ontwikkeling van de oppervlakte (in m²) van de dwarsdoorsneden van macrocel 4. De locatie van de raaien is gegeven in figuur 4.4.

In de figuren B3.13a, B3.13b en B3.14 zijn de arealen van de slikken en schorren in de gotopenkaarten aan respectievelijk de zuid- en de noordoever van macrocel 4 weergegeven. De afname van het areaal van de slikken bij de Platen van Hulst in periode 1959 tot 1974 is het effect van de inpoldering van de noordoostpunt van de slikken (bij de Molenpolder). In de periode na 1974 verandert relatief weinig in het totale areaal van de Platen van Hulst. Wel neemt van 1988 naar 1996 het areaal hoogdynamische slikken sterk toe ten koste van het areaal laagdynamische slikken. Na 1996 neemt het areaal hoogdynamische slikken gaandeweg weer af. De toename van het areaal hardsubstraat kan worden toegeschreven aan de aanleg van geulwandverdedigingen in de jaren negentig.



Figuur B3.13a: Ontwikkeling van het areaal per ecotopenklasse voor de Platen van Hulst (vak 820, locatie van het vak in figuur 4.2).

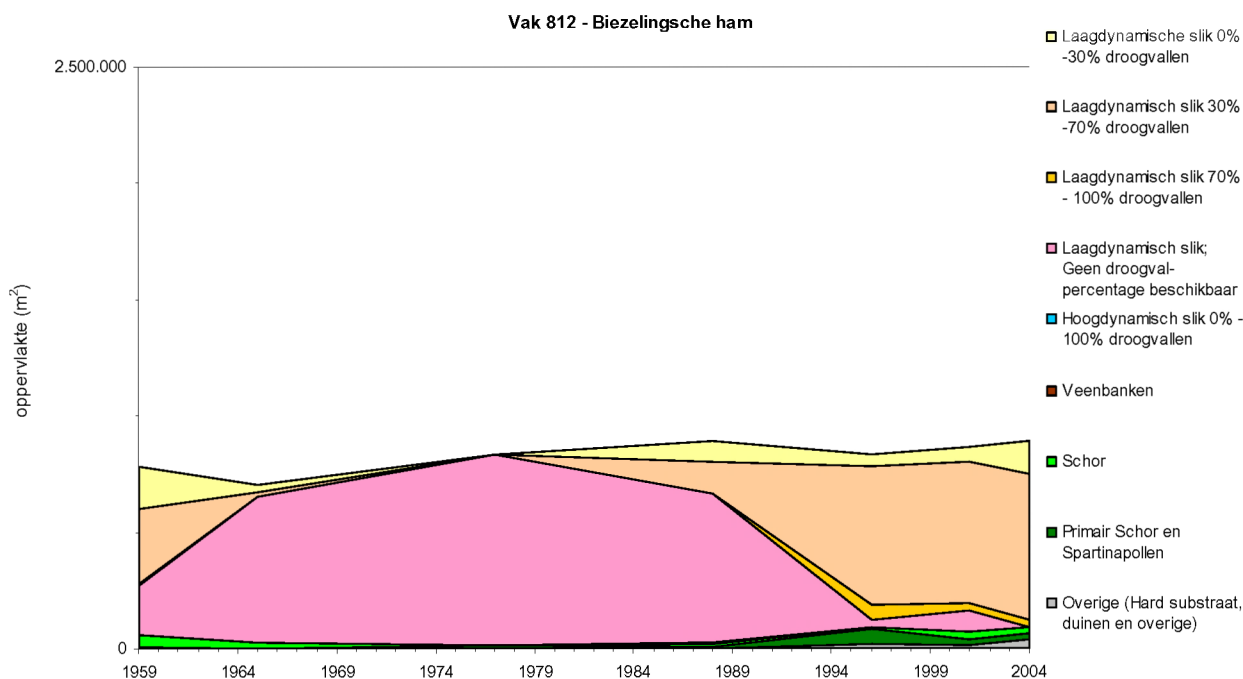


Figuur B3.13b: Ontwikkeling van het areaal per ecotopenklasse voor de slikken bij Perkpolder (vak 821, locatie van het vak in figuur 4.2).

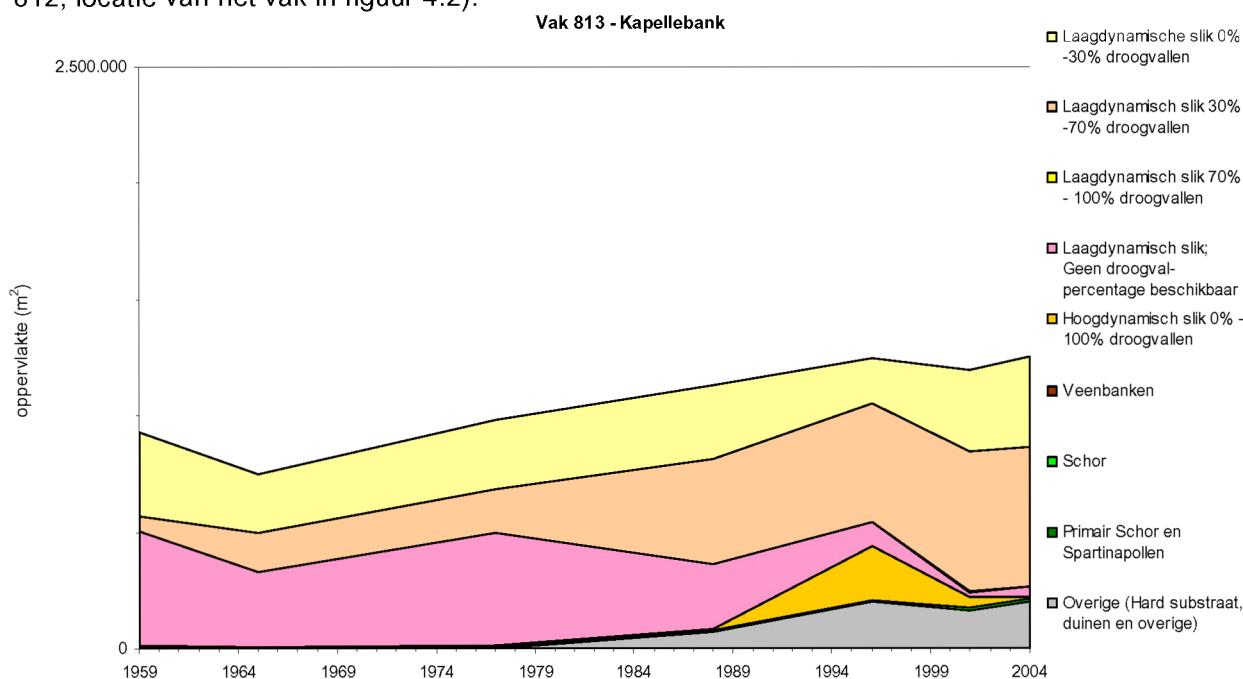
Het totale areaal van de slikken bij Perkpolder, tussen de Hoek van Ossenissee en Walsoorden (figuur B3.13b) verandert slechts weinig. Wel vinden hier schommelingen plaats in de arealen hoog- en laagdynamisch slik, veenbanken en hardsubstraat.

De ontwikkeling van het totale areaal in de verschillende ecotopenklassen laat bij de Biezelingsche Ham en de Kapellebank een toename zien, na een dieptepunt in 1965. De toename is geheel toe te

schrijven aan de ontwikkeling van slikken tussen de dijk en het Middelgat. Van 1988 naar 1996 neemt bij de Kapellebank het areaal hoogdynamische slikken sterk toe ten koste van het areaal laagdynamische slikken. In de jaren daarna neemt het areaal hoogdynamische slikken weer af, zodat in 2004 het oude niveau weer is bereikt.



Figuur B3.14a: Ontwikkeling van het areaal per ecotopenklasse voor de Biezelingsche Ham (vak 812, locatie van het vak in figuur 4.2).

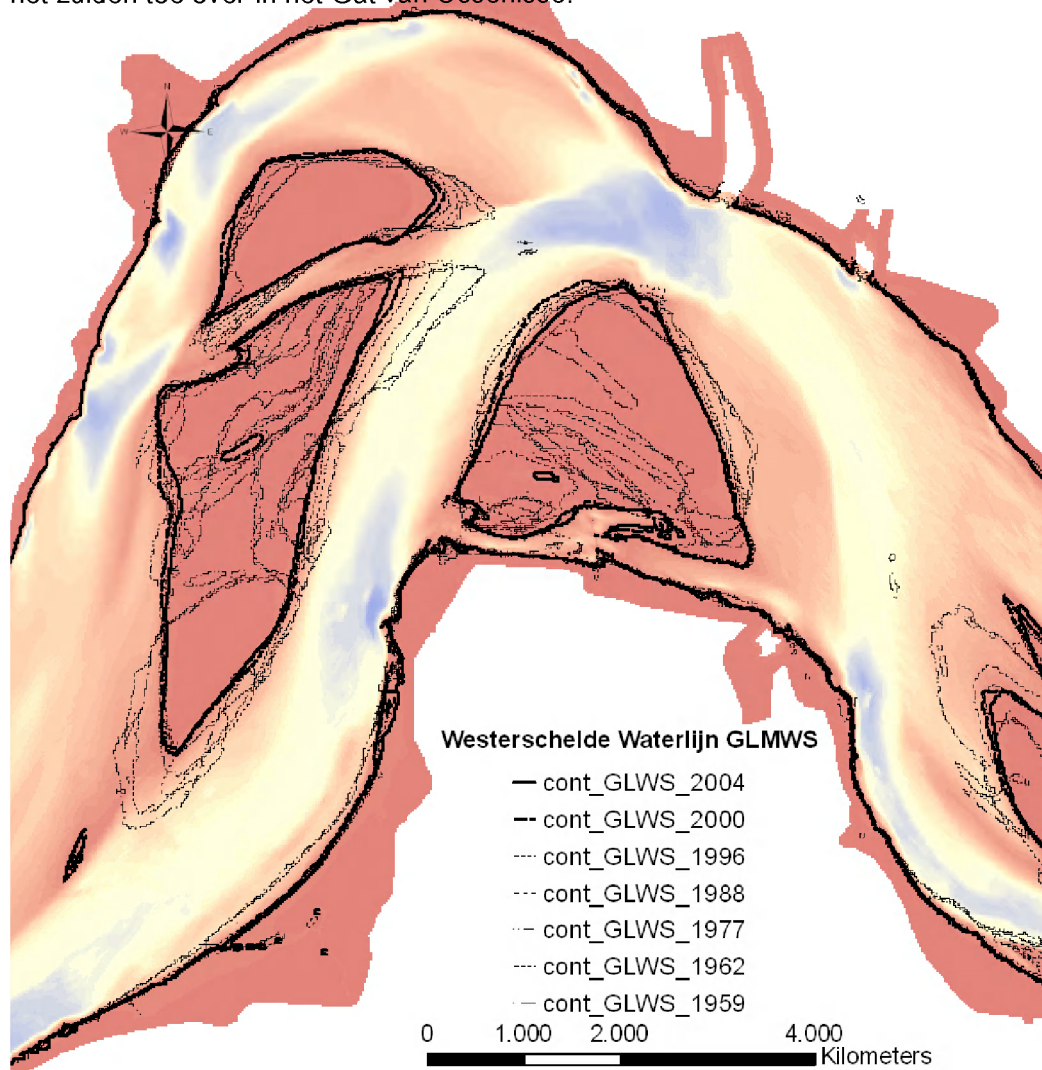


Figuur B3.14b: Ontwikkeling van het areaal per ecotopenklasse voor de Kapellebank (vak 813, locatie van het vak in figuur 4.2).

3.4 De Platen van Ossenisse west

De Platen van Ossenisse worden sinds de jaren vijftig doorsneden door de in omvang sterk toegenomen getijgeul Overloop van Hansweert (figuur B3.7). Sinds die tijd is sprake van een plaatcomplex "west" en een plaatcomplex "oost". In paragraaf 3.5 wordt ingegaan op het plaatcomplex Ossenisse oost.

Het westelijke complex van de Platen van Ossenisse ligt ter hoogte van Hoedekenskerke. De langgerekte vorm van het plaatcomplex is duidelijk te zien aan de hand van de NAP -10 meter contour (figuur B3.10). In de huidige situatie bestaat het complex uit twee platen die worden gescheiden door de Geul van Molenplaat. Het noordelijke deel van het plaatcomplex bestaat uit de Brouwerplaat en de Molenplaat. Een deel van de zuidelijke plaat staat bekend als de Rug van Baarland (figuur B3.1). Aan de westzijde ligt tussen het plaatcomplex en de kust de getijgeul Middelgat. Aan de oostzijde begrenst de Overloop van Hansweert het plaatcomplex. Deze geul gaat naar het zuiden toe over in het Gat van Ossenisse.



Figuur B3.15: Kaart met de contouren van het GLMWS niveau rond de Platen van Ossenisse van 1959 tot 2004, op de bodemligging van 2004.

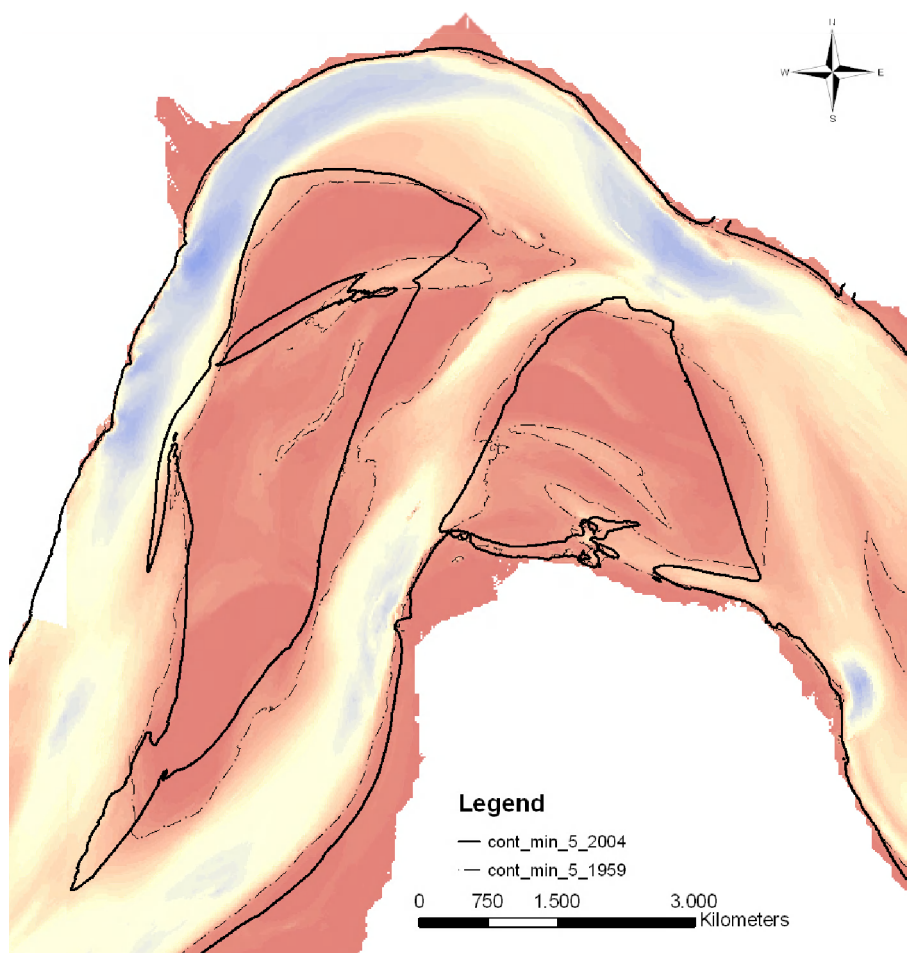
Ontwikkeling

Na het opsplitsen van het plaatcomplex Ossenisse door het ontstaan van de Overloop van Hansweert tussen de jaren dertig en vijftig heeft een aantal belangrijke veranderingen plaatsgevonden. Vergelijk bijvoorbeeld bodemligging van 2004 (in figuur B3.15) met die van 1959 (in figuur B3.16).

Belangrijke ontwikkelingen zijn: (a) de afname van het aantal platen door het verdwijnen van kortsluitgeulen en scharen; (b) de veranderende oriëntatie van de geulen door de plaat, en (c) de afname van de plaat in het westen, door de verplaatsing van de Overloop van Hansweert.

In de jaren vijftig was nog sprake van vier droogvallende plaatdelen, die werden gescheiden door twee kortsluitgeulen en verschillende scharen. Deze plaatdelen zijn met enige moeite te zien in de figuur met de GLMWS contouren (figuur B3.15).

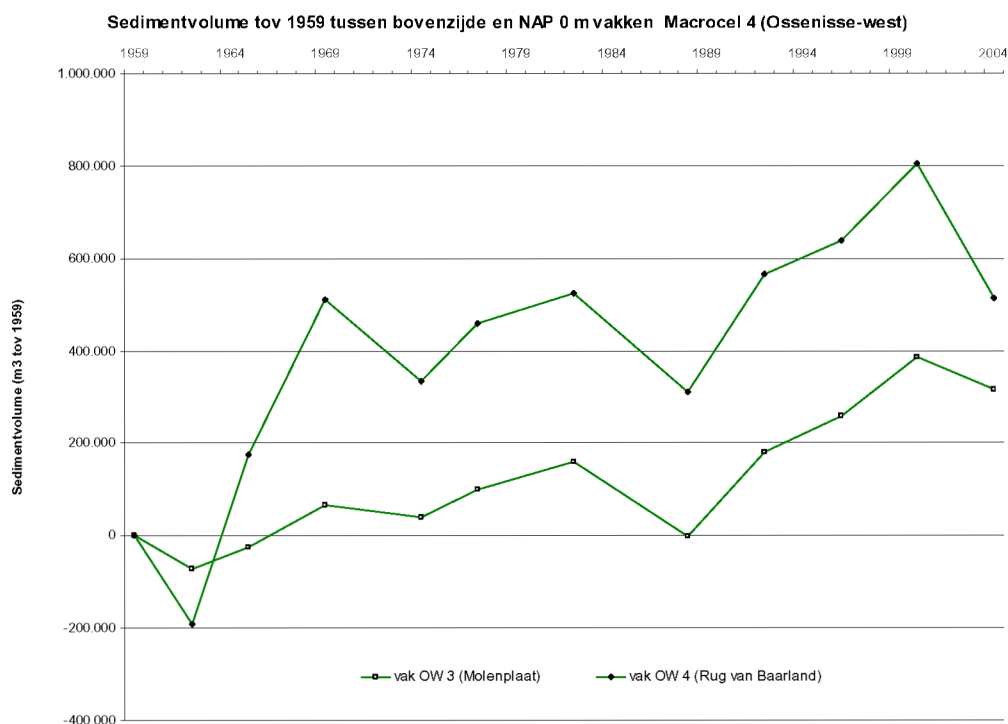
In de huidige situatie scheidt alleen de Geul van Molenplaat het noordelijke en het zuidelijke deel, zoals zichtbaar is in de kaart met de contour van de NAP –5 meter (figuur B3.16). Verder zijn enkele restanten van geulen aanwezig als lage delen in het plaatreliëf.



Figuur B3.16: Kaart met de contouren van het NAP –5 meter niveau rond de Platen van Ossenisse in 1959 en 2004 op de bodemligging van 1959.

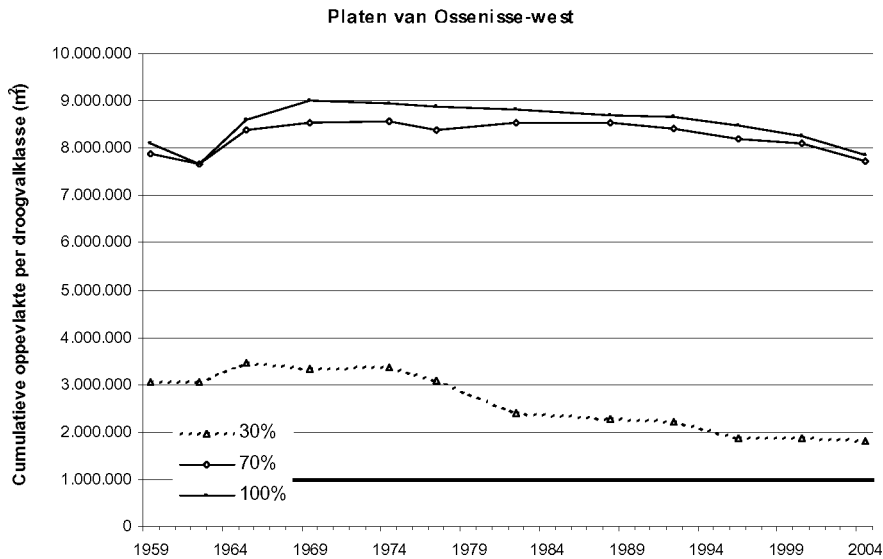
De hoofdoriëntatie van de geulen in het gebied is veranderd van west-oost naar zuidwest-noordoost. Deze veranderingen hebben geleidelijk plaatsgevonden. De afname van het aantal kortsluitgeulen heeft halverwege de jaren tachtig zijn beslag gekregen. De buitenbocht van de Overloop van Hansweert verplaatste gaandeweg naar het westen, waardoor aan de noordoostzijde de plaat kleiner is geworden, zoals zichtbaar in de ligging van de NAP –10 meter lijn in figuur B3.10. In de ontwikkeling van de GLMWS contour (figuur B3.15 onderaan) is zichtbaar dat de losse plaatdelen geleidelijk aan één plaat zijn gaan vormen.

Het sedimentvolume van de westelijke platen van Ossensisse is sinds 1959 geleidelijk toegenomen (vakken 3 en 4 in figuur B3.3). De toename van het sedimentvolume bestaat voornamelijk uit het opvullen van de kleine geulen die de plaat in- en doorstaken. Daarbij is ook het sedimentvolume van de plaat zelf toegenomen, zoals zichtbaar is in de ontwikkeling van het sedimentvolume tussen NAP 0 meter en de bovenzijde van de plaat. De toename van het sedimentvolume is zeer beperkt voor een plaat met een oppervlakte van bijna $8 \times 10^6 \text{ m}^2$.

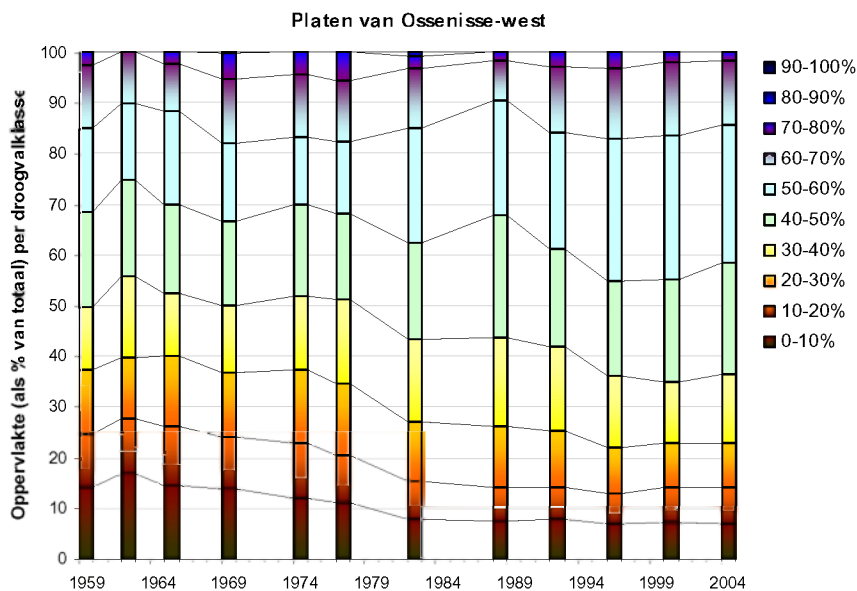


Figuur B3.17: De ontwikkeling van de sedimentinhoud tussen de bovenzijde van de plaat en NAP 0 meter (- is erosie, + is sedimentatie) van macrocel 4 van twee vakken op de platen (aangegeven in figuur B3.2) ten opzichte van het referentiejaar 1959.

Dat de toename van het sedimentvolume van de plaat relatief beperkt is voor een plaat met een groot oppervlak is ook af te leiden uit de kleine toename van het areaal met hoge droogvalpercentages, zoals zichtbaar in figuur B3.18. Na een toename van 1959 tot 1969 is de oppervlakte van de westelijke platen van Ossensisse langzaam afgenomen. Hierbij heeft een kleine verschuiving plaatsgevonden van het areaal met lage droogvalpercentages naar het areaal met middelhoge droogvalpercentages (figuur B3.19).

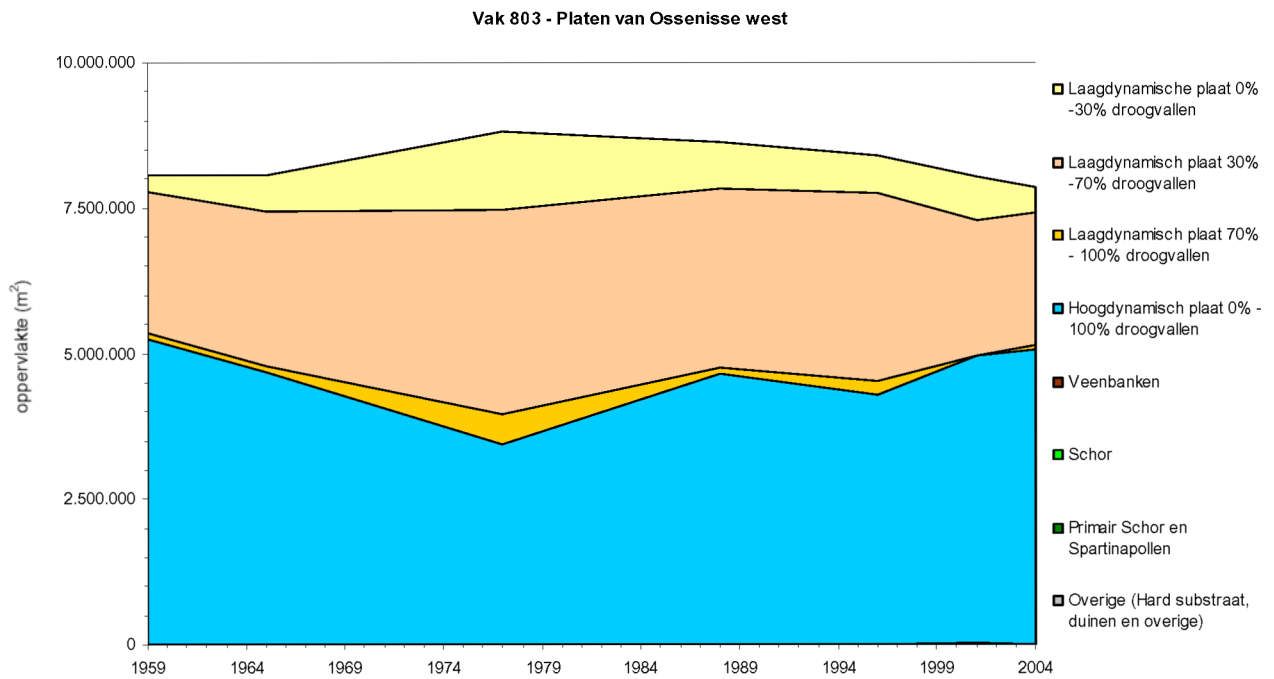


Figuur B3.18: Grafiek met het areaal met 30 procent, 70 procent en 100 procent droogvallen in de loop van de tijd. Bepaald op basis van de kaarten met droogvalpercentages, ten opzichte van variërend referentievlak (GLMWS).

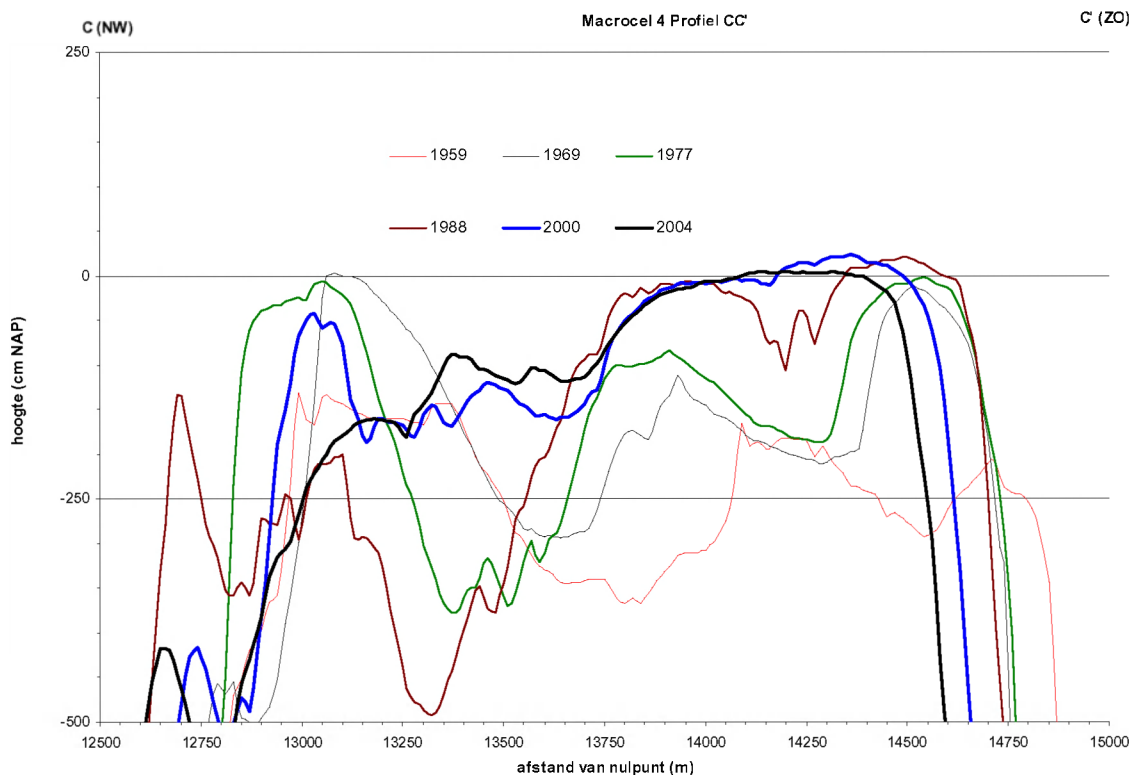


Figuur B3.19: Grafiek met de relatieve bijdrage van de verschillende droogvalpercentages aan het totale areaal droogvallende plaat in de loop van de tijd. Bepaald op basis van de kaarten met droogvalpercentages, ten opzichte van variërend referentievlak (GLMWS).

De ontwikkeling van het areaal per ecotopen klasse is weergegeven in figuur B3.20. De toename van het areaal van 1959 tot en met 1977 is tot stand gekomen door een toename van het areaal laagdynamische plaat. Ook de verhouding hoog- en laagdynamische plaat verschuift in deze periode ten faveure van de laagdynamische plaat. Na 1977 verschuift de verhouding steeds verder naar de hoogdynamische plaat. Tegelijkertijd neemt het areaal laagdynamische plaat laag (0%-30% droogvallen) af.



Figuur B3.20: Ontwikkeling van het areaal per ecotopenklasse voor de westelijke Platen van Ossensisse (vak 803, locatie van het vak in figuur 4.2).



Figuur B3.21: Dwarsdoorsnede door westelijke Plaat van Ossensisse (dwarsdoorsnede CC' van macrocel 4) in verschillende jaren (locatie in figuur 4.5).

In een dwarsdoorsnede van de westelijke Plaat van Ossensisse (Figuur B3.21) is zichtbaar dat na 1959 in alle getoonde jaren delen van de plaat een hoogte van rond de NAP 0 meter bereiken. In

2004 is geen sprake meer van geulen die de plaat doorsnijden in tegenstelling tot de periode van 1959 tot 2000.

In de vorm van de plaatrand, dat wil zeggen de overgang van plaat naar geul is geen trend zichtbaar. Deze overgang was en is relatief abrupt aan de zuidoostzijde, naar de Overloop van Hansweert. Aan de noordwestzijde varieert de overgang in de loop der jaren van mate van abrupt naar meer geleidelijk. Ook op ander locaties langs de plaatranden is geen trend herkenbaar in de overgang van plaat naar geul.

3.5 De Platen van Ossensisse oost

Het oostelijke complex van de Platen van Ossensisse ligt ter hoogte van Perkpolder. De hoofdgeul van de Westerschelde kromt om de noordrand van dit plaatcomplex. Aan de westzijde heet deze hoofdgeul de Overloop van Hansweert en aan de noordzijde ligt de Put van Hansweert. Ten oosten van het platencomplex splitst de Overloop van Hansweert in de Schaar van Waarde en het Zuidergat.

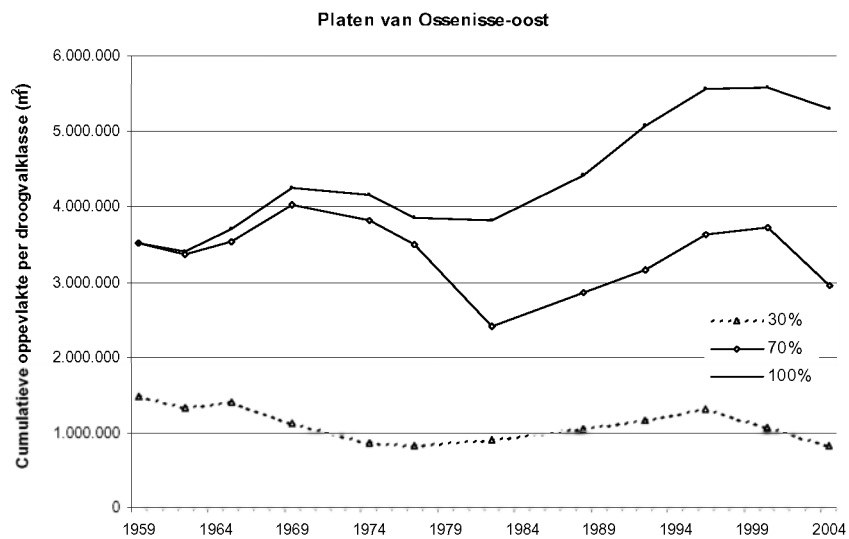
Ten zuiden van de plaat loopt de Schaar van Ossensisse, die de plaat van de kust scheidt. Tegenwoordig is sprake van één aaneengesloten plaatcomplex.

Ontwikkeling

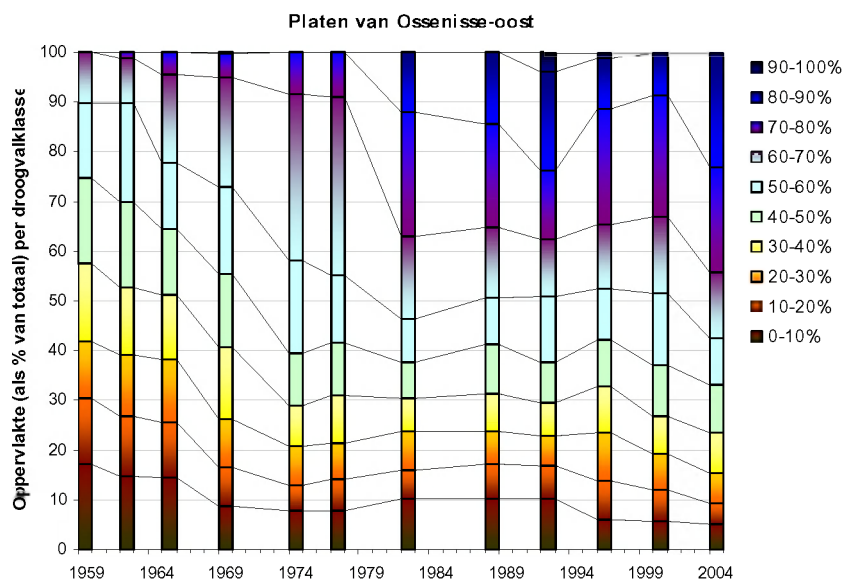
De vergelijking van het kaartbeeld van 1959 (in figuur B3.16) met dat van 2004 (in figuur B3.15) laat grote verschillen zien in de morfologie van dit plaatcomplex. Deze verschillen treden vooral op in de ondiepe delen, zoals zichtbaar is in de contouren van het GLMWS (in figuur B3.15). De omliggende positie van de NAP-10 meter contour verandert maar weinig (figuur B3.10).

In de jaren vijftig was sprake van een langgerekte plaat, inclusief een vloedschaar en twee kleine platen bij de kust. De Schaar van Ossensisse was nog een geul met een duidelijke watervoerende functie. In die tijd “staken” vanuit het westen een vloedschaar en vanuit het oosten een ebschaar het plaatcomplex in, zoals zichtbaar is in de NAP –5 meter contour (figuur B3.16). De hoge delen van de plaat zijn sindsdien in oppervlakte toegenomen, zoals kan worden afgeleid uit de ontwikkeling van de GLMWS contour (figuur B3.15). Ook zijn de vloed- en ebschaartjes grotendeels uit het plaatcomplex verdwenen.

In de huidige situatie heeft de plaat de vorm van een half ei. Aan de zuidzijde loopt nog steeds de Schaar van Ossensisse, met een kleine vloedschaar. Aan de zuidzijde van de plaat zijn nog de resten van enkele schaaftjes zichtbaar. Aan de noordwestzijde is de plaat vanaf eind jaren tachtig iets kleiner geworden, omdat de Overloop van Hansweert naar het oosten is uitgebreid. Ook aan de noordoostzijde is de plaat kleiner geworden. Aan de zuidoostzijde is plaat uitgebouwd in de richting van het Zuidergat.



Figuur B3.22: Grafiek met het areaal met 30 procent, 70 procent en 100 procent droogvallen in de loop van de tijd. Bepaald op basis van de kaarten met droogvalpercentages, ten opzichte van variërend referentievlak (GLMWS).

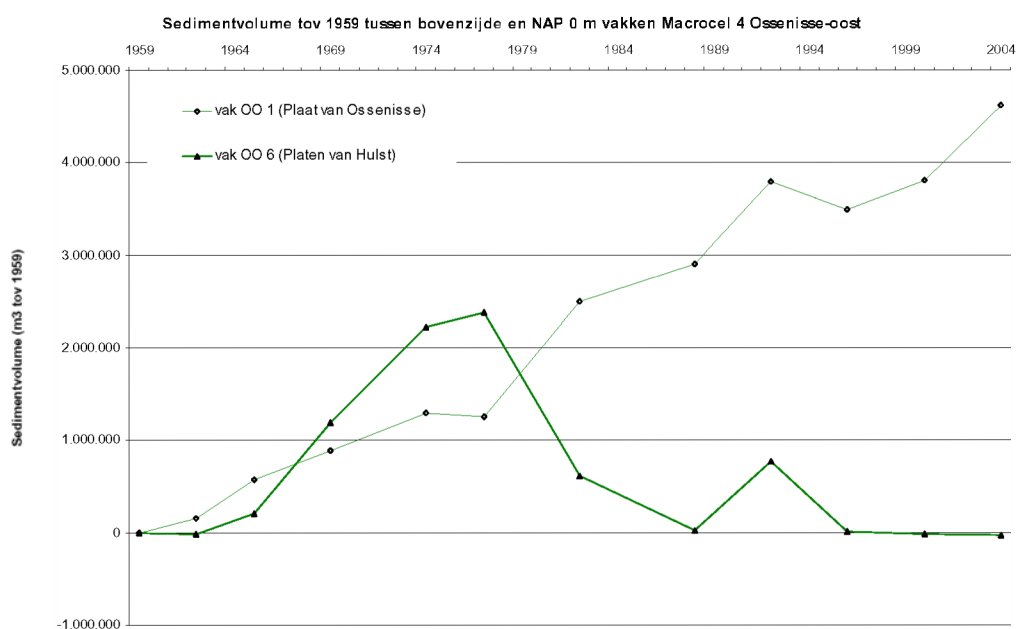


Figuur B3.23: Grafiek met de relatieve bijdrage van de verschillende droogvalpercentages aan het totale areaal droogvallende plaat in de loop van de tijd. Bepaald op basis van de kaarten met droogvalpercentages, ten opzichte van variërend referentievlak (GLMWS).

De geschetste toename van het areaal en van de hoogte van de plaat is ook zichtbaar in de grafieken van de ontwikkeling van het plaatareaal (figuur B3.22) en de percentages van de droogvalklassen. Het totale plaatareaal van de oostelijke Platen van Ossensisse neemt toe van $3,4 \times 10^6 \text{ m}^2$ in 1961 tot $5,6 \times 10^6 \text{ m}^2$ in 2000.

De toename van het plaatareaal komt vrijwel voor rekening van de hoge droogvalpercentages. Het aandeel van de lage droogvalklassen neemt in de loop van de tijd af. De bijdrage van het areaal met droogvalpercentages tot 30 procent is van 1959 tot 2004 meer dan gehalveerd, van ruim 40 procent tot ruim 15 procent van het totale areaal (figuur B3.23). Ondanks de toename van het totale plaatareaal is het areaal met droogvalpercentages tot 30 procent afgenomen van $1,4 \times 10^6 \text{ m}^2$ tot $0,8 \times 10^6 \text{ m}^2$. Het areaal met droogvalpercentages tussen 30 procent en 70 procent is gelijk gebleven en het areaal met droogvalpercentages tussen de 70 procent en 100 procent is sterk toegenomen, van vrijwel 0 m^2 in 1959 tot $3,4 \times 10^6 \text{ m}^2$ in 2004.

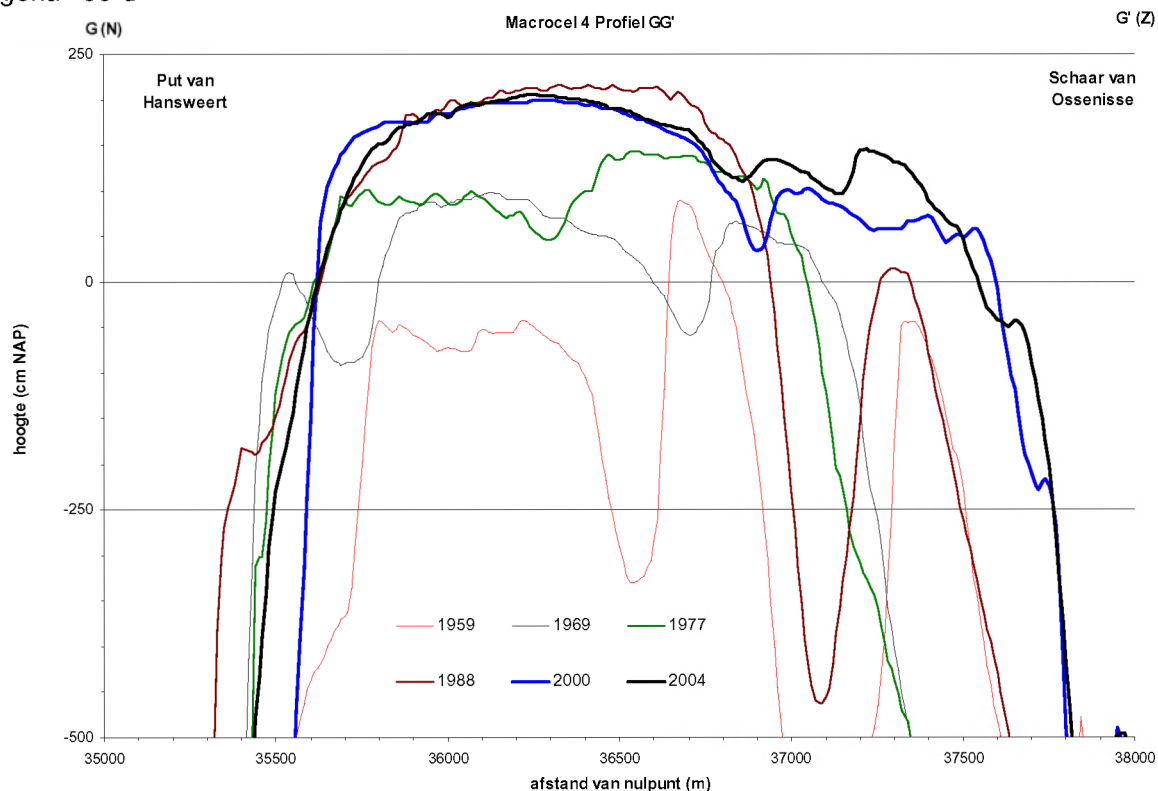
De toename van hoge droogvalpercentages is het gevolg van het toenemen van het sedimentvolume van de hogere delen van de plaat. De ontwikkeling van het sedimentvolume van de plaat is weergegeven in figuur B3.24. In deze figuur is zichtbaar dat in het sedimentvolume van de oostelijke Plaat van Ossensisse consequent toeneemt vanaf 1959.



Figuur B3.24: De ontwikkeling van de sedimentinhoud tussen de bovenzijde van de plaat en NAP 0 meter (- is erosie, + is sedimentatie) van macrocel 5 en van de verschillende kubeervakken (aangegeven in figuur B4.2) ten opzichte van het referentiejaar 1959.

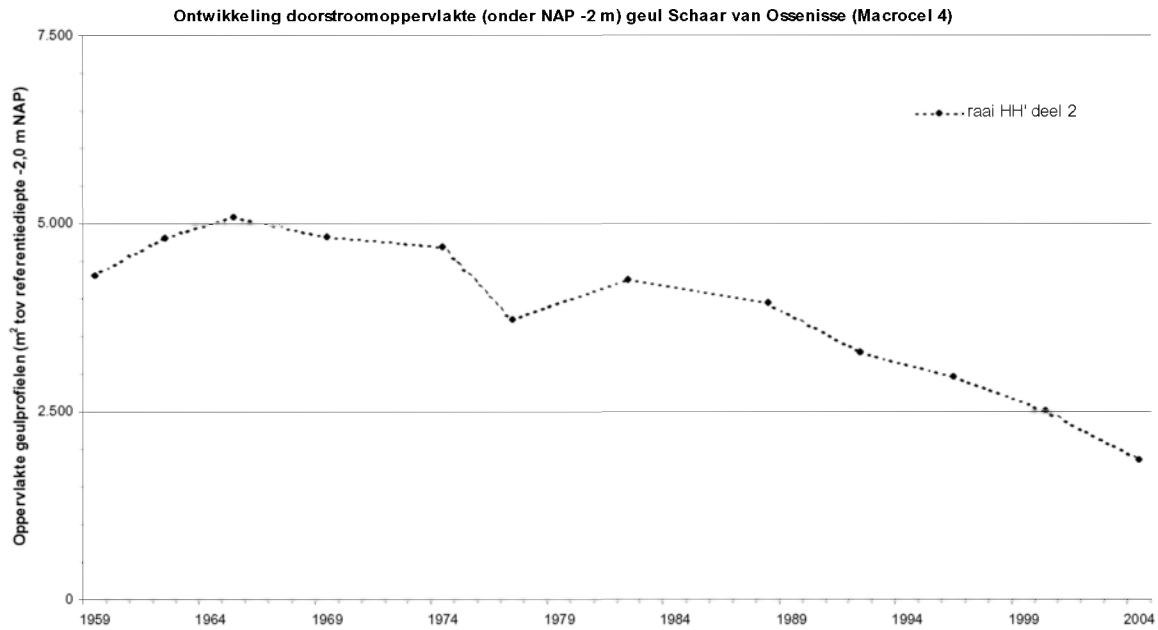
Ook in de dwarsdoorsnede van de oostelijke Plaat van Ossenissee in figuur B3.25 is de toename van de hoogte en uitbreiding van het areaal van de plaat zichtbaar. In 1959 wordt de plaat in deze dwarsdoorsnede nog doorsneden door twee geulen en maakt aan de zuidzijde Schaar van Ossenissee nog een belangrijk deel uit van de dwarsdoorsnede. De geulen door de plaat worden gaandeweg opgevuld en zijn na 1977 niet meer zichtbaar in deze dwarsdoorsnede. De plaat gaat na 1988 steeds verder uitbreiden naar het zuiden. Na 1988 neemt de maximale hoogte van de plaat in deze dwarsdoorsnede niet meer toe. Wel bouwt de plaat nog steeds uit naar het zuiden.

De uitbouw van de oostelijke Plaat van Ossenissee naar het zuiden is ten koste gegaan van de Schaar van Ossenissee. Dit is zichtbaar in de ontwikkeling van het doorstroomoppervlak van de geul in figuur B3.26. Het doorstroomoppervlak van de geul is in de periode van 1959 tot 2004 meer dan gehalveerd.

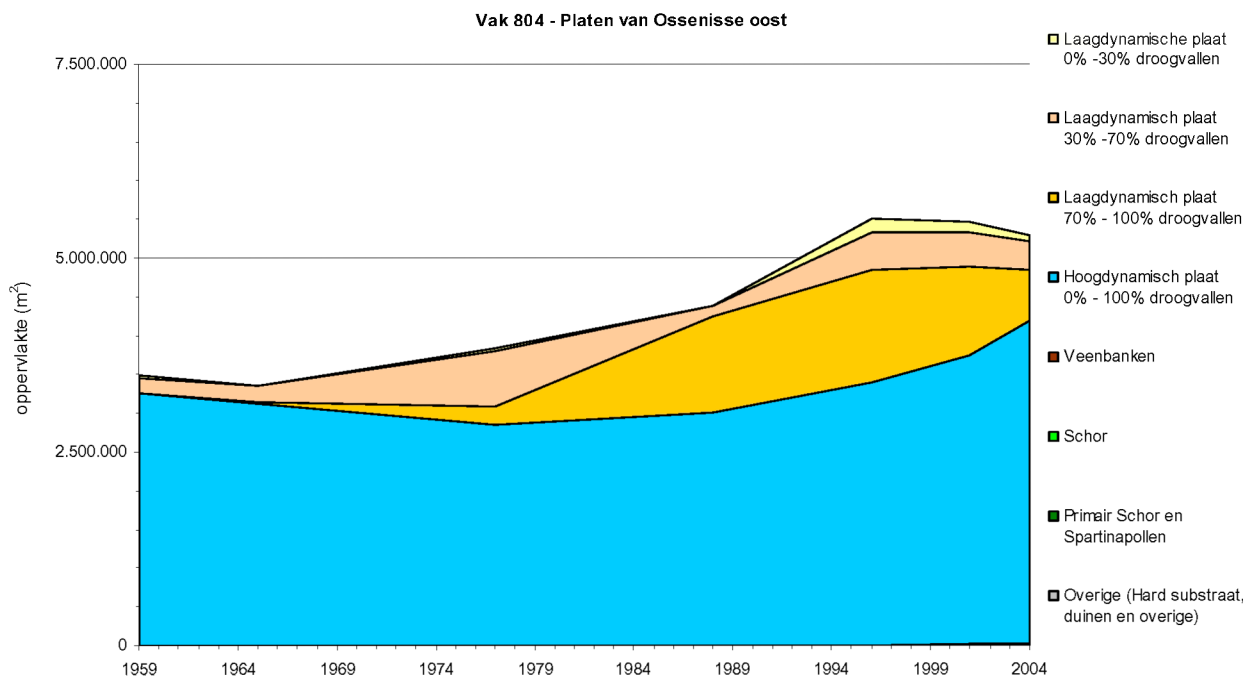


Figuur B3.25: Dwarsdoorsnede door oostelijke de Plaat van Ossenissee (dwarsdoorsnede GG' van macrocel 4) in verschillende jaren (locatie in figuur 4.5).

De ontwikkeling van het areaal van de verschillende ecotopenklassen voor de oostelijke Platen van Ossenissee is weergegeven in figuur B3.27. De toename van het totale areaal in de verschillende ecotopenklassen komt overeen met ontwikkeling van het areaal van de droogvallende plaat (figuur 3.22). Tot 1996 komt de toename van het totale plaatareaal met name tot stand door een toename van het areaal laagdynamische plaat. Na 1996 neemt het areaal hoogdynamische plaat toe ten koste van het areaal laagdynamische plaat. Het areaal laagdynamische plaat valt voor een belangrijk deel in de klasse hoog (70%-100% droogvallen), maar sinds 1996 neemt dit areaal af.

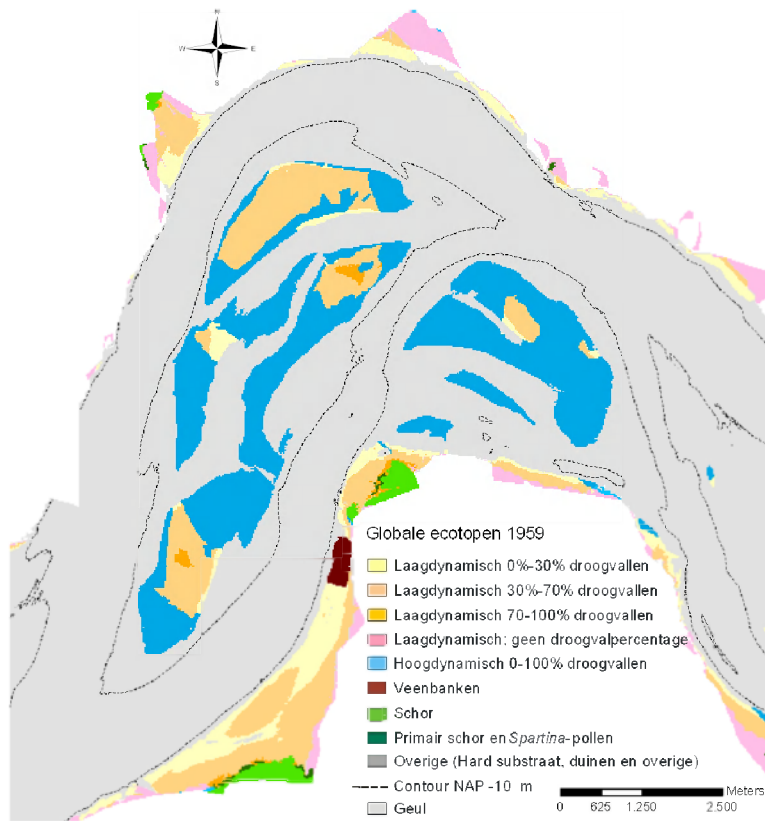


Figuur B3.26: Grafiek met de ontwikkeling van de oppervlakte (in m²) van de dwarsdoorsneden van macrocel 4. De locatie van de raaien is gegeven in figuur 4.3

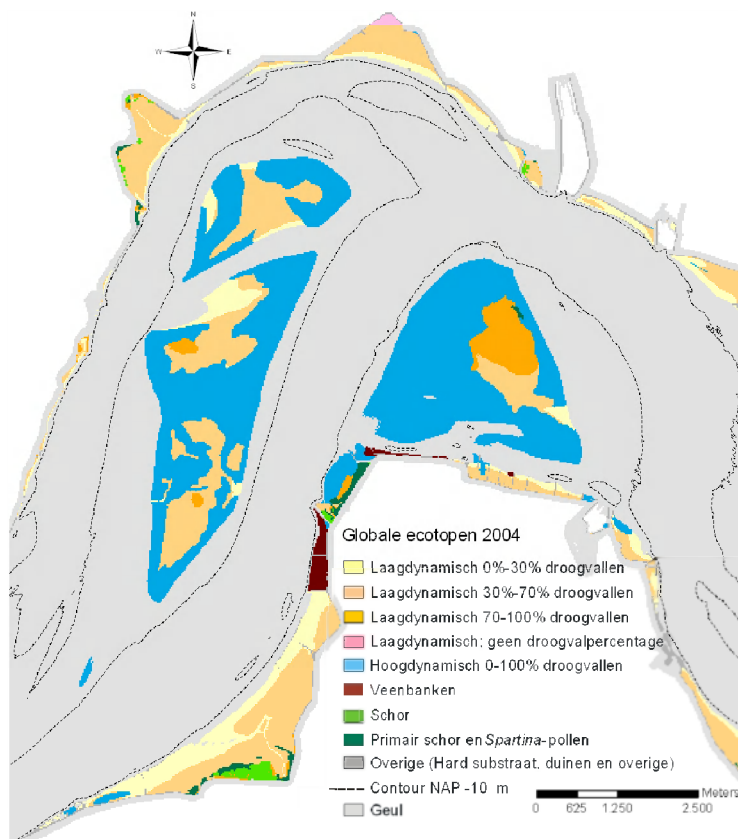


Figuur B3.27: Ontwikkeling van het areaal per ecotopenklasse voor de Platen van Ossenisse (vak 804, locatie van het vak in figuur 4.2).

Figuur B3.28 is een ecotopen kaart van 1959 en figuur B3.29 is een ecotopen kaart van 2004.



Figuur B3.28: De ecotopenkaart van het platencomplex van Ossenisse in 1959.



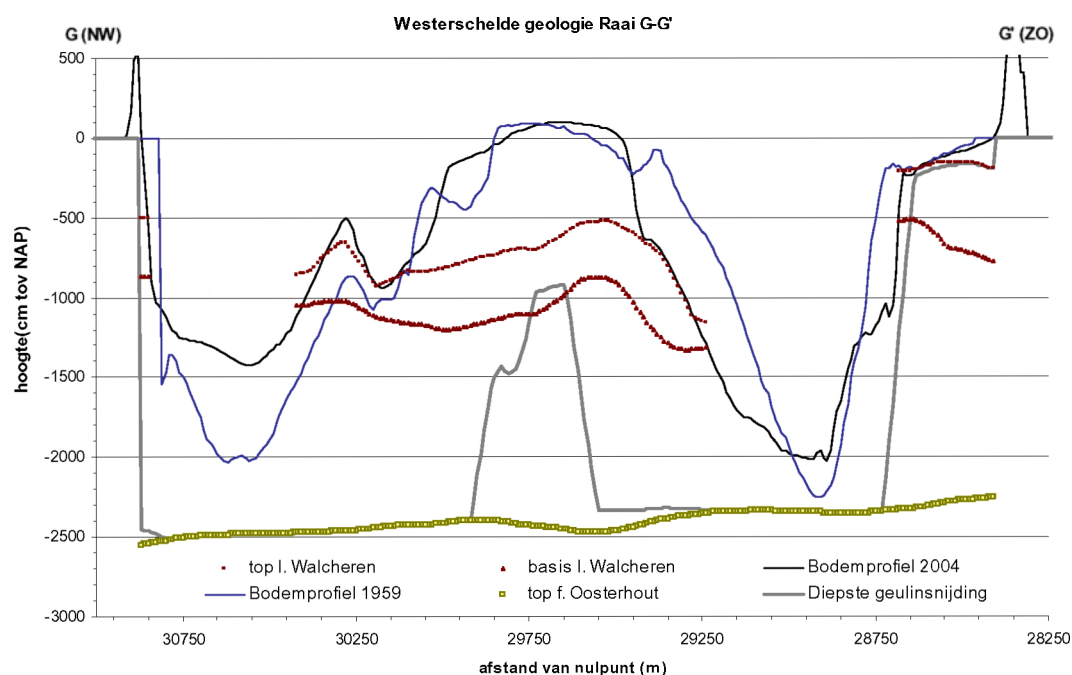
Figuur B3.29: De ecotopenkaart van het platencomplex van Ossenisse in 2004.

In de kaarten van 1959 en 2004 worden de hoogdynamische delen voornamelijk aangrenzend aan de geulen aangetroffen. De laagdynamische delen van de platen worden grotendeels omsloten door de hoogdynamische plaatdelen. Het beperkte areaal laag (0% - 30% droogvallen) van de laagdynamische platen ligt voornamelijk aangrenzend aan de geulen.

3.6 Analyse van de ontwikkelingen

De invloed van harde lagen

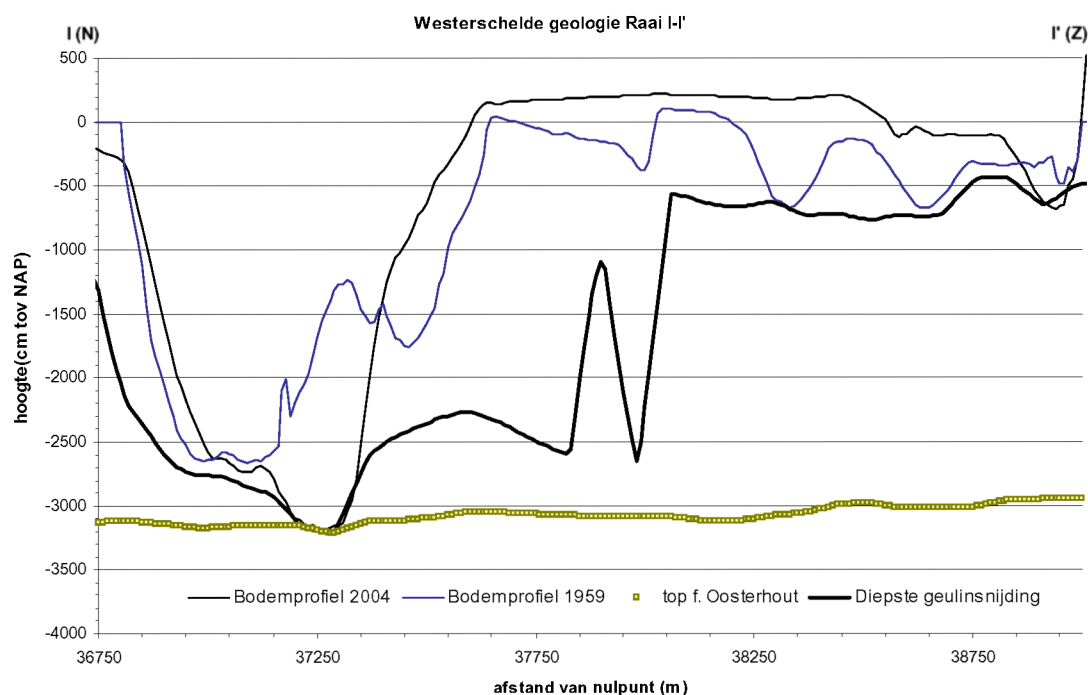
In de slikken langs de zuidoever van macrocel 4 komen veenbanken aan de oppervlakte. De veenbanken zijn aangegeven in de ecotopen kaart (en het areaal is weergegeven in figuur B3.13). De aanwezigheid van de veenbanken betekent dat ook de onderliggende oudere lagen niet zijn geërodeerd. In dwarsdoorsnede GG' in figuur B3.30 is aan de rechterzijde zichtbaar dat daar nog harde lagen van het laagpakket van Walcheren (Formatie van Naaldwijk) aanwezig zijn, die onder de diepste geulinsnijding liggen. De moeilijk erodeerbare lagen vertraagden waarschijnlijk het uitbochten van de geul, voordat de zuidoostoevers van het Gat van Ossenis en de Overloop van Hansweert zijn voorzien van geulwandbestortingen (in de jaren negentig).



Figuur B3.30: Dwarsdoorsnede GG' van de Plaat van Ossenis, met de uit boringen geïnterpoleerde aanwezigheid van moeilijk erodeerbare lagen van het laagpakket van Walcheren uit de Formatie van Naaldwijk, de Formatie van Oosterhout (niet gecorrigeerd voor erosie door geulen) en de uit de historische kaarten van 1800 tot 2004 bepaalde maximale insnijdingsdiepte van geulen. De locatie van het dwarsdoorsnede is weergegeven in figuur 4.3).

In figuur B3.30 is ook zichtbaar dat het niveau van de diepste geulinsnijdingen onder de huidige locatie van de westelijke plaat van Ossensisse *onder* het laagpakket van Walcheren ligt. De vroeger aanwezig moeilijk erodeerbare lagen zijn hier opgeruimd, doordat de Overloop van Hansweert een andere ligging heeft gekregen (figuur B3.7). De westelijke plaat van Ossensisse heeft dus geen harde kern van moeilijk erodeerbare lagen.

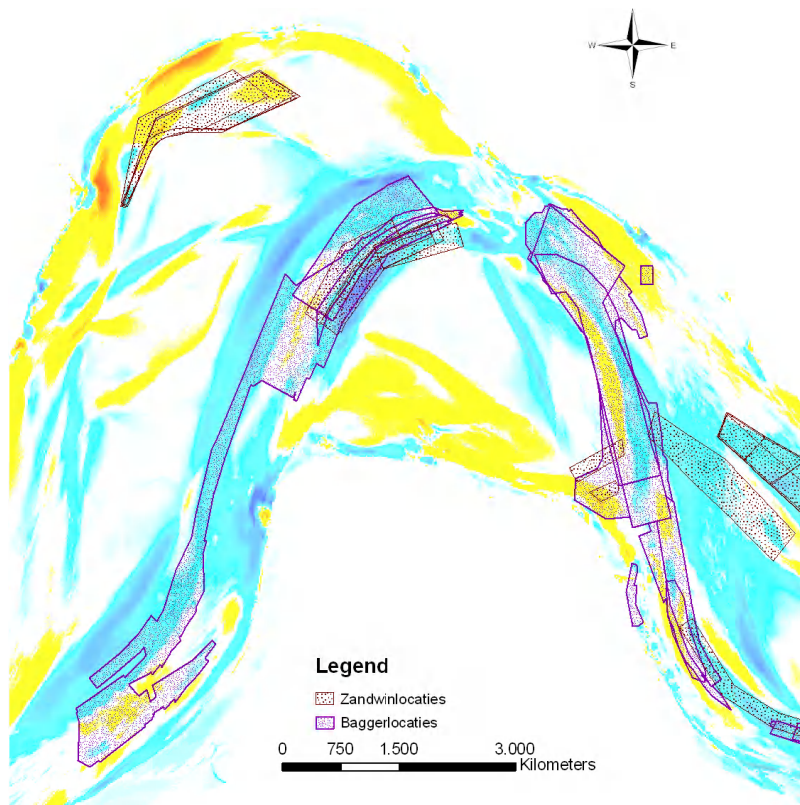
De oostelijke plaat van Ossensisse heeft voor een deel wel een harde kern van moeilijk erodeerbare lagen. In figuur B3.31 is de noord-zuid dwarsdoorsnede II' weergegeven, met de diepste insnijding van geulen en met de top van de Formatie van Oosterhout. In de rechterzijde van de figuur is zichtbaar dat de diepste geulinsnijding een plateau vormt, dat een diepte heeft van iets meer dan NAP -5 meter. De kortsluitgeulen en de geul van Ossensisse hebben dit niveau niet doorsneden, zodat hier nog moeilijk erodeerbare lagen in de ondergrond aanwezig zijn. In dezelfde dwarsdoorsnede in figuur B3.31 is aan de linkerzijde van de figuur zichtbaar dat het diepste punt van de geul (de Put van Hansweert) tot op het niveau van de Formatie van Oosterhout insnijdt. Mogelijk belemmeren de moeilijk erodeerbare schelpenbanken ('crag's') uit deze formatie diepere insnijding van de geul.



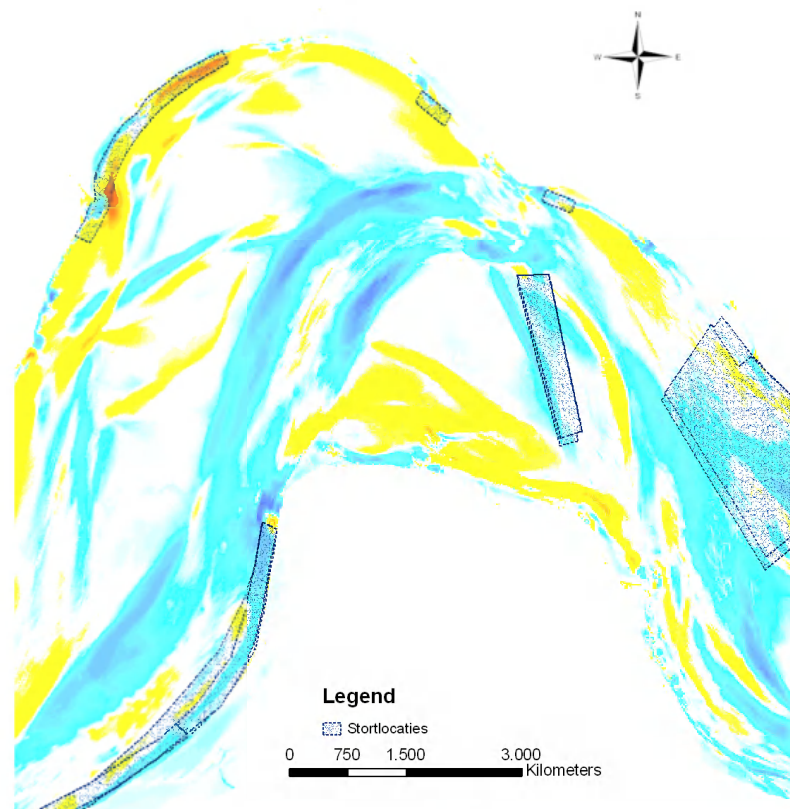
Figuur B3.31: Dwarsdoorsnede GG' van de Plaat van Ossensisse, met de uit de historische kaarten van 1800 tot 2004 bepaalde maximale insnijdingsdiepte van geulen en met de uit boringen geïnterpoleerde aanwezigheid van moeilijk erodeerbare lagen van de Formatie van Oosterhout (niet gecorrigeerd voor erosie door geulen). De locatie van het dwarsdoorsnede is weergegeven in figuur 4.3).

Menselijke ingrepen en de morfologische ontwikkelingen

In figuur B3.32 zijn de locaties weergegeven waar rond de Platen van Ossenisse onttrekking van sediment plaatsvindt. Met name in de hoofdgeul rond de oostelijke Platen van Ossenisse wordt gebaggerd en zand gewonnen. Direct aangrenzende aan macrocel 4 ligt de belangrijkste baggerlocatie (in termen van baggervolumes) van de gehele Westerschelde ten noordoosten van de oostelijke plaat van Ossenisse. Hier is in de periode 1959 tot 2004 ruim $102 \times 10^6 \text{ m}^3$ gewonnen. Ten noorden van de Molenplaat ligt een zandwinlocatie, die echter in termen van winnvolumes niet heel groot is (de totale winning in dit gebied bedraagt $5,46 \times 10^6 \text{ m}^3$).



Figuur B3.32: Locaties waar in de periode 1990 tot 2004 onttrekking (baggeren en zandwinnen) van sediment heeft plaatsgevonden in macrocel 5, 6 en 7, weergegeven op een kaart met de sedimentatie (geel tot rood) en erosie (blauw) in de periode 1988 tot 2004.



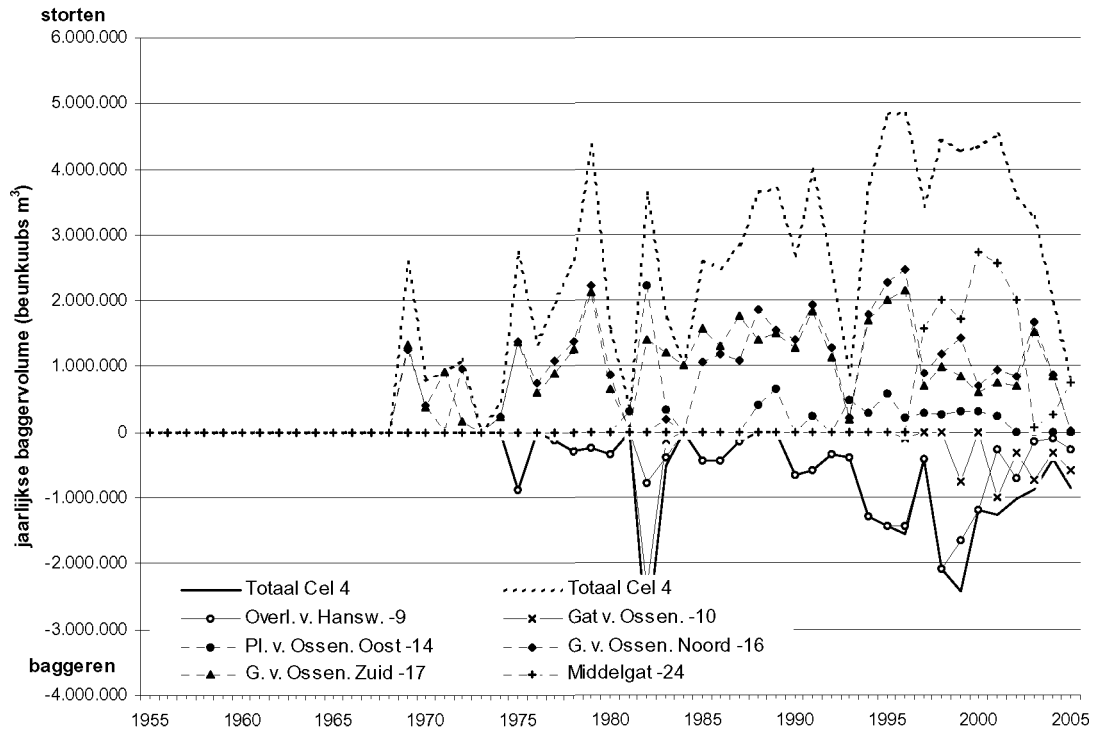
Figuur B3.33: Locaties waar in de periode 1990 tot 2004 storting van sediment heeft plaatsgevonden in macrocel 5, 6 en 7, weergegeven op een kaart met de sedimentatie (geel tot rood) en erosie (blauw) in de periode 1988 tot 2004.

In figuur B3.33 zijn de locaties weergegeven waar sediment is gestort. De belangrijkste stortvakken liggen aan de zuidoostoever van het Gat van Ossensisse en de Overloop van Hansweert. Op deze locaties is in de periode 1959 tot 2004 ruim $75 \times 10^6 \text{ m}^3$ baggerspecie gestort. In figuur B3.34 zijn de bagger- en stortvolumes per locatie gegeven en voor macrocel 4 als geheel. De cumulatieve bagger- en stortvolumes zijn weergegeven in figuur B3.35.

In macrocel 4 wordt meer sediment gestort dan wordt onttrokken. Wanneer de baggerlocatie in macrocel 5, direct aangrenzend aan de oostelijke plaat van Ossensisse in de vergelijking wordt meegenomen, dan is sprake van een beter evenwicht tussen baggeren en storten. Het storten is in dit gebied halverwege de jaren zestig begonnen en het baggeren halverwege de jaren zeventig.

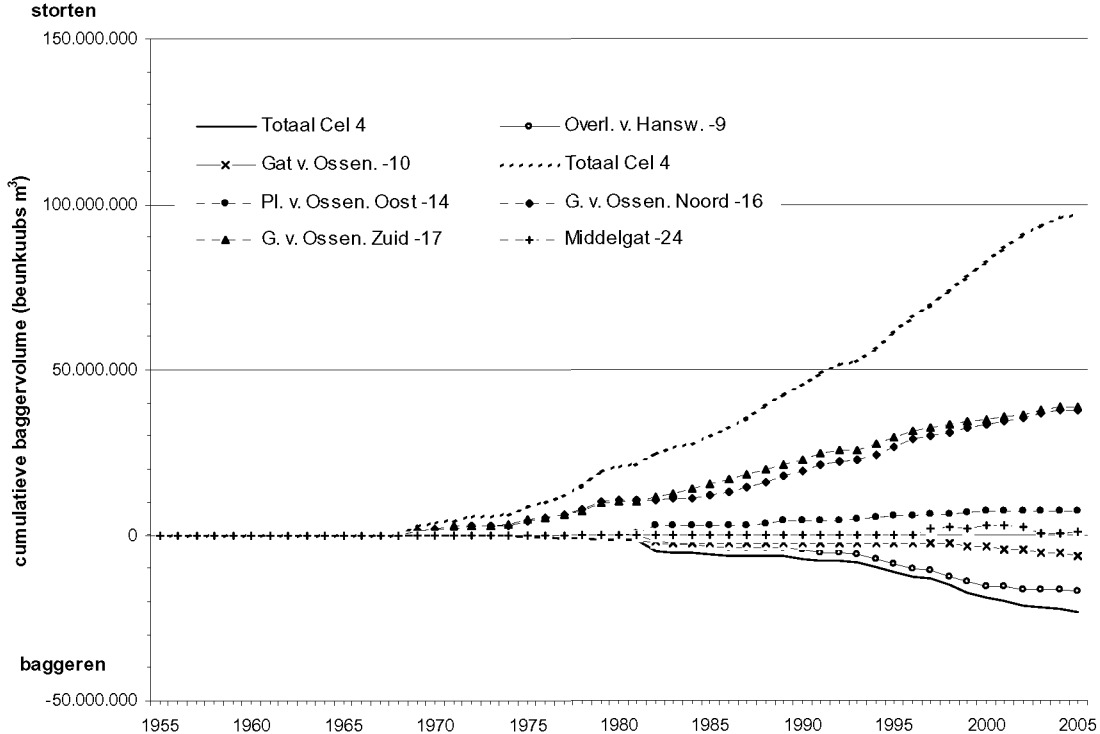
In vergelijking met de ontwikkeling van de sedimentvolumes in dit gebied (figuren B3.3 en B3.4) zijn de bagger- en stortvolumes vergelijkbaar. Het is waarschijnlijk dat de morfologische ontwikkelingen mede worden bepaald door het baggeren en storten. Het gestorte sediment in het Gat van Ossensisse en de Overloop van Hansweert levert waarschijnlijk mede een bijdrage aan de sedimentatie op de oostelijke plaat van Ossensisse.

Bagger en storthoeveelheden macrocel 4 (Platen van Ossensisse)



Figuur B3.34: Grafiek met de jaarlijkse stortvolumes (positief) en baggervolumes (negatief) in macrocel 4 en in de verschillende bagger- en stortgebieden in de periode 1955 tot 2005.

Bagger en storthoeveelheden macrocel 4 (Platen van Ossensisse)



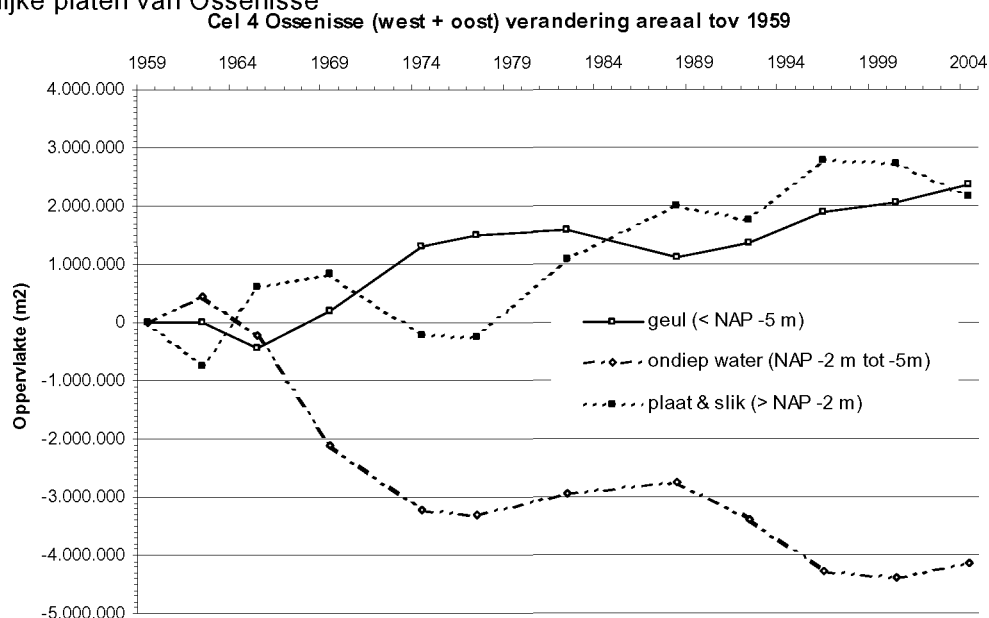
Figuur B3.34: Grafiek met de cumulatieve stortvolumes (positief) en baggervolumes (negatief) in macrocel 4 en in de verschillende bagger- en stortgebieden in de periode 1955 tot 2005.

De opvulling van het Middelgat met sediment, waardoor het doorstroomoppervlak afneemt, is grotendeels een natuurlijk proces. Het gestort sediment (bijna $13 \times 10^6 \text{ m}^3$) op de locatie in figuur B3.32 is veel kleiner dan de toename van het sedimentvolume in dit gebied (meer dan $45 \times 10^6 \text{ m}^3$). Verondersteld wordt dat het storten van ruim $21 \times 10^6 \text{ m}^3$ in een ebschaar van het Middelgat in macrocel 3 (figuur B2.34) ook een bijdrage heeft geleverd aan het opvullen van het Middelgat.

Zanduitwisseling tussen plaat en geul

In Cel 4 is het areaal slikken en plaat en het areaal geul sinds 1959 in gelijke mate toegenomen, zoals zichtbaar is in figuur B3.35. Deze toename is ten koste gegaan van het areaal ondiepwater. Deze ontwikkeling is ook zichtbaar in de ontwikkelingen van de verhouding geul, plaat en ondiep water in figuur B3.36.

De platen zijn in hoogte toegenomen, zodat tegenwoordig de hogere droogvalklassen een groter deel van het plaatoppervlakte uitmaken. Het sedimentvolume van de hogere plaatdelen is toegenomen. Deze ontwikkeling van de platen is niet hetzelfde voor de westelijk en de oostelijke platen. De grootste toename van areaal, hoogte en sedimentvolume heeft plaatsgevonden op de oostelijke platen van Ossenisse

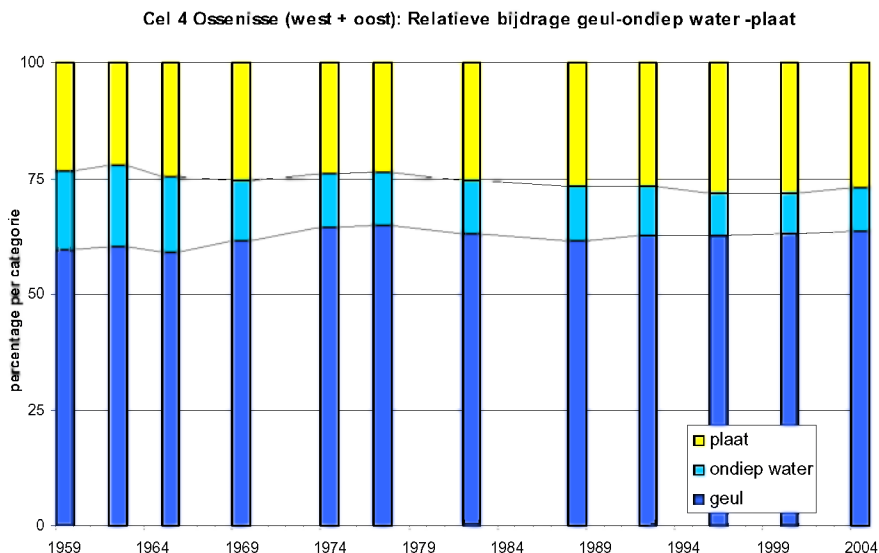


Figuur B3.35: De ontwikkeling van de arealen geul, ondiepwater en plaat (gedefinieerd ten opzichte van een vaste referentiehoogte) in alle kubeervakken samen van macrocel 4.

De toename van het areaal slikken en plaat bestaat met name uit een toename van het areaal plaat op plekken waar eerder ondiepe geulen liepen. De kortsluitgeulen door beide plaatcomplexen zijn verdwenen, op de Geul van de Molenplaat na. Ook de Schaar van Ossenisse is in omvang afgenomen. De hoofdgeul is in omvang toegenomen op locaties waar eerder plaat en slikken lagen, maar de uitbreiding van het plaatareaal op andere locaties heeft hiervoor gecompenseerd.

Het relatief hoger worden van beide plaatcomplexen en de toename van het sedimentvolume van de oostelijke plaat betekent dat meer sediment op de hoge delen van de plaat is terechtgekomen. Mogelijk heeft het storten van sediment ten zuidwesten van de oostelijke plaat van Ossenisse in het Gat van Ossenisse en in de Overloop van Hansweert een bijdrage geleverd aan de toename van het

sedimentvolume op de plaat. De grote baggerinspanning direct ten noordoosten van de Plaat van Ossensisse heeft blijkbaar niet geleid tot de afbraak van de naastgelegen plaat.



Figuur B3.36: De relatieve bijdrage van de arealen geul, ondiep water en plaat (gedefinieerd ten opzichte van een vaste referentiehogte) in alle kubeervakken samen van macrocel 4.

Andere factoren die mogelijk een rol spelen bij het hoger worden van beide plaatcomplexen zijn de afname van het aantal kortsluitgeulen en de toename van het areaal hoogdynamische plaat. Beide veranderingen zijn tegelijkertijd opgetreden met het hoger worden van de platen. Mogelijk is door deze veranderingen de balans tussen aan- en afvoer van sediment verschoven in het voordeel van de aanvoer.

De toename van het areaal hoogdynamische plaat kan hebben geleid tot een toename van de aanvoer van sediment de plaat op. De sterke stroming, die leidt tot de kenmerkende bodemvormen is deels de plaat op gericht. Dit kan worden bepaald uit de oriëntatie van de kammen van de megaribbels op de platen. Met de stroming de plaat op wordt ook sediment aangevoerd naar de plaat.

Het areaal ondiepwater bestaat deels uit drainagegeulen en kortsluitgeulen die sediment kunnen afvoeren van de platen. De afname van het areaal ondiepwater betekent dat deze geulen in belang zijn afgenomen. Vergelijken van de contouren van de droogvalpercentages in figuren B3.28 en B3.29 laat zien dat ook de kleinere droogvallende geultjes in aantal zijn afgenomen. Mogelijk is de afvoer van sediment met deze kleine geultjes en met de grotere kortsluitgeulen en drainage geulen in belang afgenomen.

3.6 Analyse van de ontwikkelingen

Het totale oppervlakte aan intergetijdengebied in de westelijke delen van de platen van Ossensisse is sinds 1959 afgenomen met ongeveer 11procent. Het aandeel in de droogvalklassen van 30 procent tot 70 procent is relatief gezien met ongeveer 10 procent toegenomen sinds 1959, hetgeen neerkomt op een toename met $1 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ (100 hectare). Het sedimentvolume van platen als geheel is

toegenomen met bijna $20 \times 10^6 \text{ m}^3$, waarbij het volume van de hoogste delen van de plaat beperkt is toegenomen, met ruim $0,8 \times 10^6 \text{ m}^3$.

De toename van het areaal van de westelijke platen van Ossensisse van 1959 tot 1977 heeft geresulteerd in een toename van het laagdynamische areaal. Na 1977 is het areaal laagdynamische plaat sneller afgenomen dan het areaal hoogdynamische plaat, zodat tegenwoordig de verhouding areaal hoogdynamische en laagdynamische plaat acht staat tot drie bedraagt

Vanaf 1959 tot 2004 is het areaal ondiepwater bij de westelijke platen van Ossensisse afgenomen met ruim $1 \times 10^6 \text{ m}^2$, doordat het aantal en de grootte van de kortsluitgeulen is afgenomen.

Het totale plaatoppervlak van de oostelijke delen van de Platen van Ossensisse is sinds 1982 toegenomen. Hierbij is met name het areaal van de hoogste delen van de plaat toegenomen. Maar ook het oppervlak in de droogvalklasse 30 procent tot 70 procent is in absolute zin toegenomen, met $0,6 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ (60 hectare). Het sedimentvolume van de oostelijke Platen van Ossensisse is toegenomen met ruim $15 \times 10^6 \text{ m}^3$, waarvan ruim $4,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ boven NAP 0 meter terecht is gekomen.

Tot 1996 heeft de toename van het areaal van de oostelijke Platen van Ossensisse geresulteerd in een toename van het laagdynamische areaal. Nadien is het areaal hoogdynamische plaat toegenomen en het areaal laagdynamische plaat afgenomen. In 2004 maakt het laagdynamische areaal minder dan 20 procent uit van het totale plaatareaal.

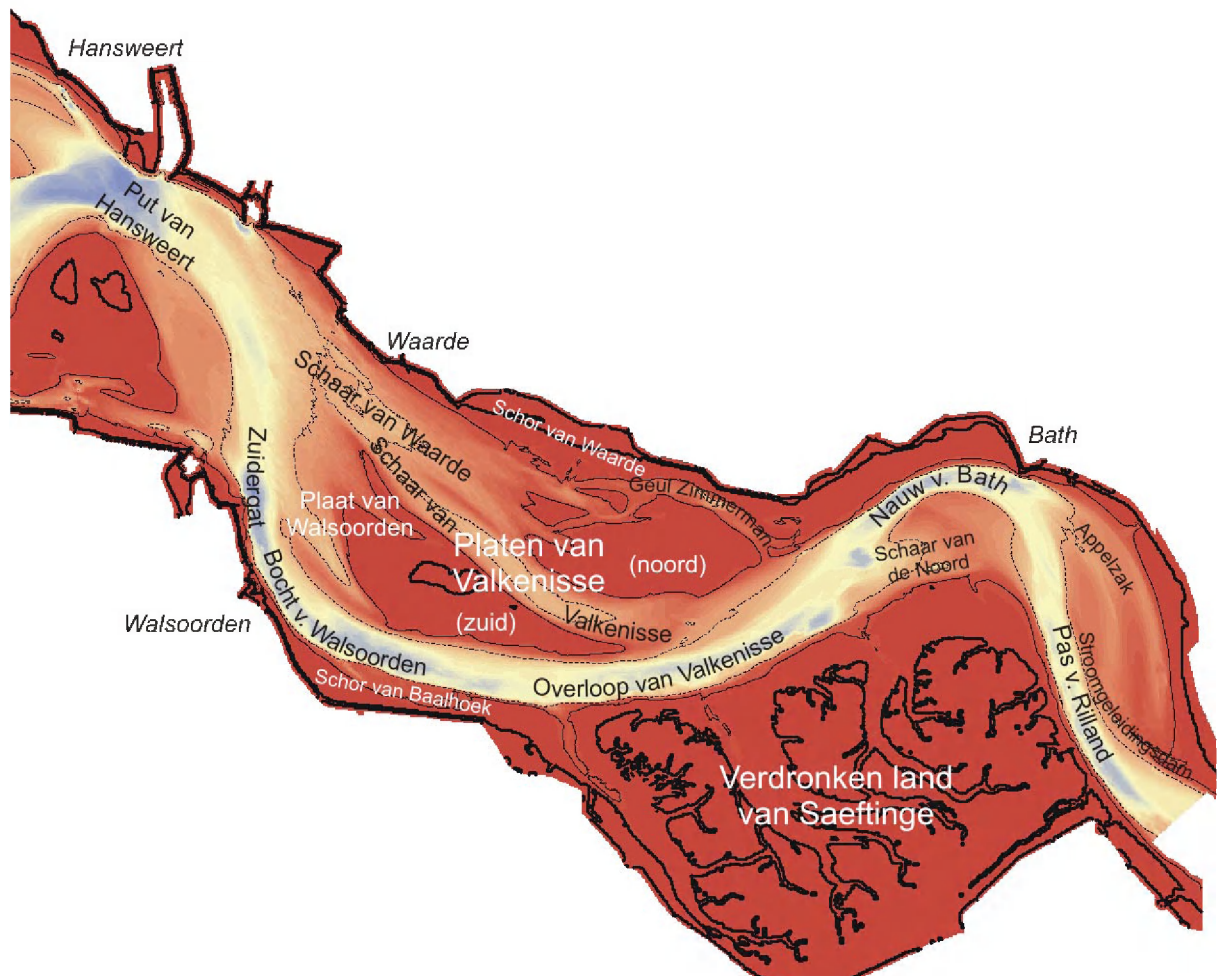
Vanaf 1959 tot 2004 is het areaal ondiepwater bij de oostelijke Platen van Ossensisse afgenomen met ruim $3 \times 10^6 \text{ m}^2$, doordat het aantal en de grootte van de kortsluitgeulen is afgenomen.

In macrocel 4 zijn het plaatareaal en het geulareaal toegenomen en is het areaal ondiepwater afgenomen. De relatieve bijdrage van het ondiepwaterareaal aan het gebied is bijna gehalveerd. Het aantal platen in het platencomplex van Ossensisse is afgenomen van 17 in 1959 tot 4 in 2004.

Bijlage 4: Macrocel 5: Rondom de Platen van Valkenisse

4.1 Inleiding

De Platen van Valkenisse zijn genoemd naar het in 1862 verdronken dorp Valkenisse. Macrocel 5 ligt ter hoogte van het dorp Waarde en bestaat uit de hoofdgeul van de Westerschelde met nevengeulen in de vorm van vloedscharen en het platencomplex van Valkenisse (figuur B4.1). De hoofdgeul draagt van west naar oost de namen Put van Hansweert, Zuidergat/Bocht van Walsoorden en Overloop van Valkenisse. De nevengeulen zijn de Schaar van Waarde en de Schaar van Valkenisse die vanaf de Put van Hansweert het platencomplex insteken. Het platencomplex bestaat uit de Plaat van Walsoorden, oftewel de zuidelijke plaat van Valkenisse, en de noordelijke plaat van Valkenisse. De twee plathelften worden gescheiden door de Schaar van Valkenisse. De noordelijke Plaat van Valkenisse wordt van de oever gescheiden door de Geul Zimmerman. Ten noorden van de Platen van Valkenisse bevindt zich het Schor van Waarde met voorliggende slikken. Aan de zuidzijde ligt het Schor van Baalhoek.

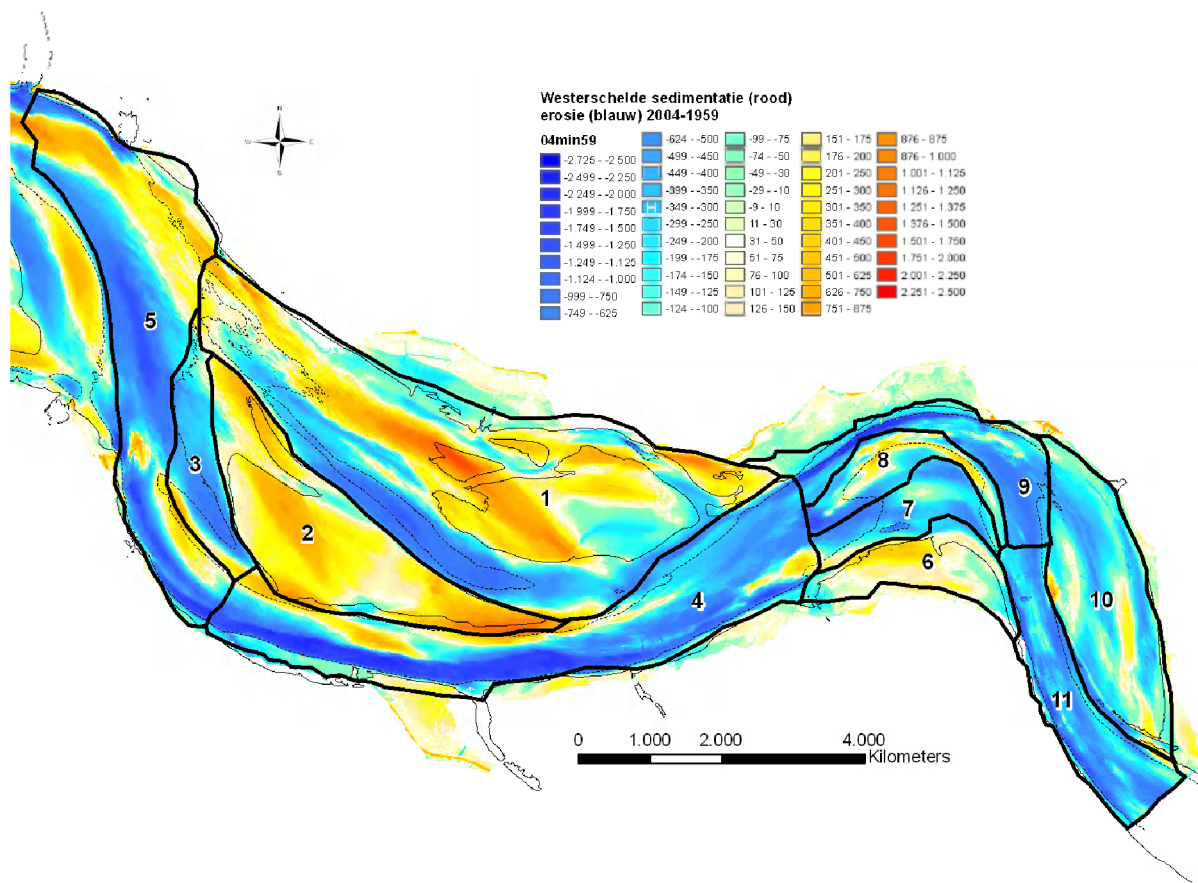


Figuur B4.1: Kaart met morfologische eenheden en namen op en rond macrocellen 5, 6 en 7.

De macrocel wordt beschreven in twee delen: 1. de Platen van Valkenisse (inclusief de Geul Zimmerman); en 2. de Bocht van Walsoorden en de Scharen van Waarde en Valkenisse. Eerst worden de ontwikkelingen van het sedimentbudget en de arealen beschreven.

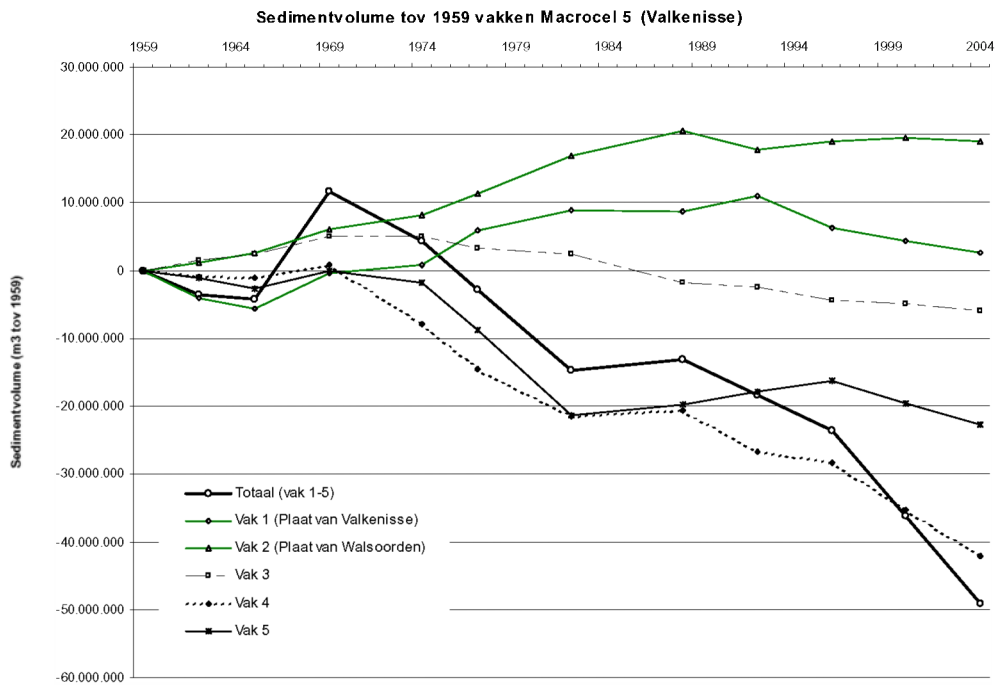
4.2 Sedimentvolume en arealen

De vakindeling die is gebruikt voor het bepalen van de ontwikkeling van de sedimentvolumes in macrocel 5, 6 en 7 is weergegeven in figuur B4.2. Voor macrocel 5 zijn alleen de kubeervakken 1 tot en met 5 beschouwd.

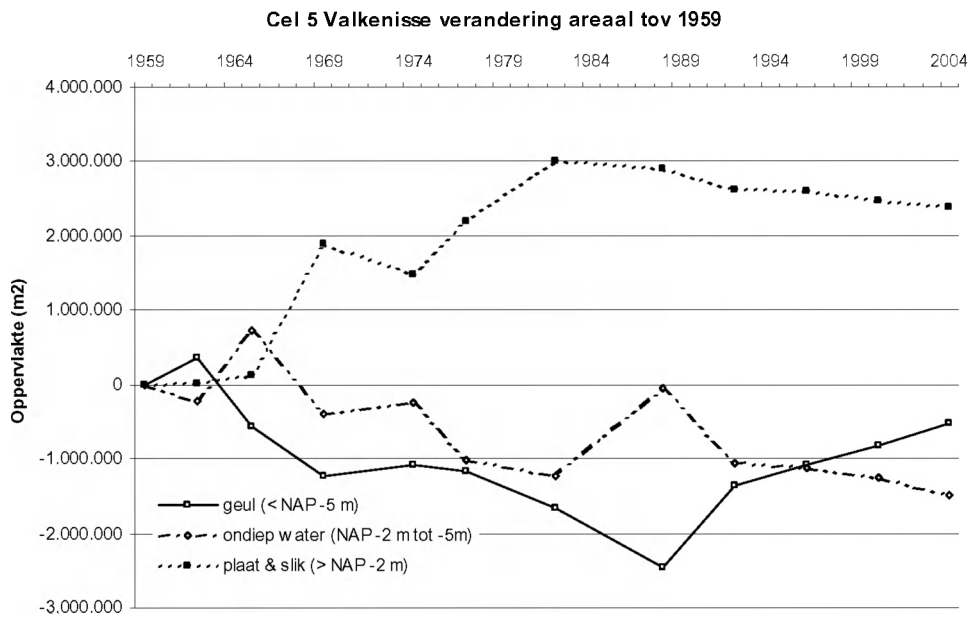


Figuur B4.2: Sedimentatie (rood) en erosie (blauw) in de periode 1959 tot 2004. Op de kaart zijn de kubeervakken aangegeven voor macrocellen 5, 6 en 7.

De ontwikkeling van de sedimentvolumes ten opzichte van 1959 is weergegeven in figuur B4.3. Het totale sedimentvolume van macrocel 5 is sinds 1969 afgenomen met ruim $60 \times 10^6 \text{ m}^3$, na een toename met ongeveer $10 \times 10^6 \text{ m}^3$ van 1959 tot 1969. De afname van het sedimentvolume in de gehele macrocel heeft plaatsgevonden ondanks de netto toename van sedimentvolume van de platen. De afname van het sedimentvolume in de geulen is daarom nog groter dan de afname in de gehele cel en bedraagt ruim $110 \times 10^6 \text{ m}^3$. Het belangrijkste deel van de afname van het sedimentvolume heeft plaatsgevonden in de hoofdgeul. De afname van het sedimentvolume in de Schaar van Waarde is met minder dan $10 \times 10^6 \text{ m}^3$ relatief beperkt gebleven ten opzichte van de afname in de hoofdgeul.



Figuur B4.3: De ontwikkeling van de sedimentinhoud (- is erosie, + is sedimentatie) van macrocel 5 en de verschillende kubeervakken (aangegeven in figuur 5.2) ten opzichte van het referentiejaar 1959.



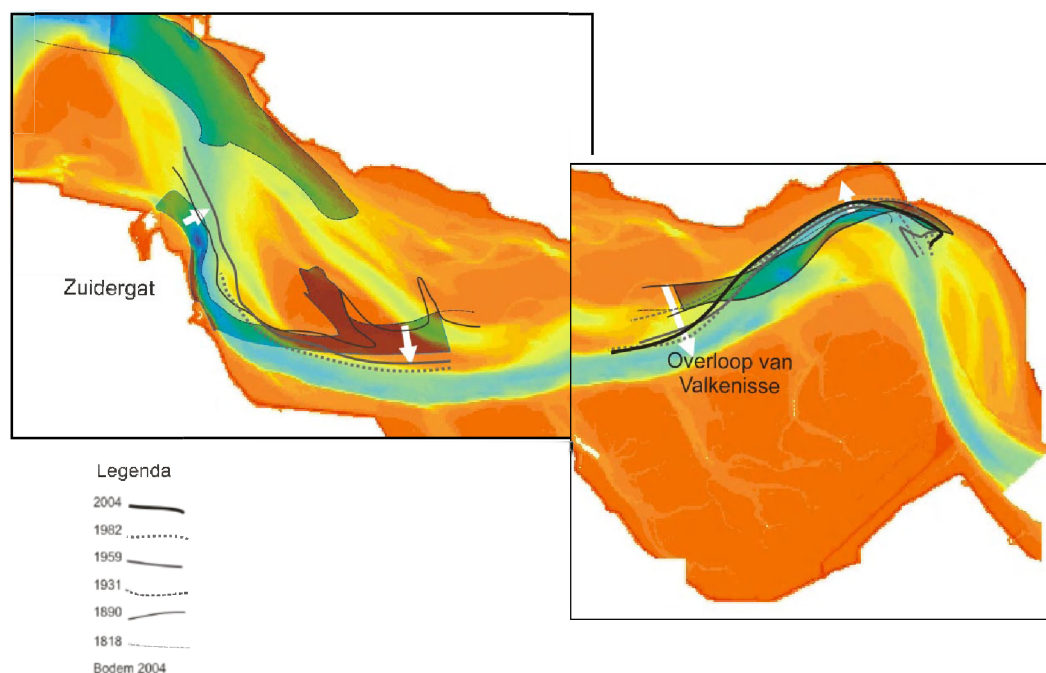
Figuur B4.4: De ontwikkeling van de arealen (gedefinieerd ten opzichte van een vaste referentiehoogte) geul, ondiepwater en plaat in alle kubeervakken samen van macrocel 5 ten opzichte van het referentiejaar 1959.

De ontwikkeling van de arealen geul, ondiepwater en plaat en slikken (gedefinieerd ten opzichte van een vaste referentiehoogte) in figuur B4.4 laat een duidelijke toename van het plaat- en slikkenareaal zien vanaf 1959 tot 1981 die wordt gevolgd door een beperkte afname. Het areaal ondiepwater vertoont een min of meer doorgaande achteruitgang. Na een afname van het geulareaal tot 1988 is dit areaal weer toegenomen, ten koste van zowel plaat en slikken als ondiepwater.

4.3 De Platen van Valkenisse

De Platen van Valkenisse worden aan de west- en zuidzijde begrensd door de hoofdgeul van de Westerschelde. Tussen de oever en het oostelijk deel van het plaatcomplex loopt de geul Zimmerman. Vanuit de Put van Hansweert steken de vloedscharen Schaar van Valkenisse en de Schaar van Waarde naar het oosten het platencomplex in.

De Platen van Valkenisse hebben hun huidige vorm en oriëntatie in de loop van de 20^e eeuw gekregen. De belangrijkste randvoorwaarde voor het platencomplex was de migratie van de hoofdgeul van de Westerschelde (figuur B4.5). De naar het zuiden uitbochtende Bocht van Walsoorden-Overloop van Valkenisse is verder naar het zuiden gemigreerd, waardoor de Platen van Valkenisse zich verder naar het zuiden konden uitstrekken. De westelijke begrenzing van de Platen is opgeschoven naar het oosten, omdat het Zuidergat naar het oosten is gemigreerd. Deze migratie van het Zuidergat hangt samen met de ontwikkeling van het Gat van Ossenisse en de grootschalige geulontwikkelingen in Macrocel 4.

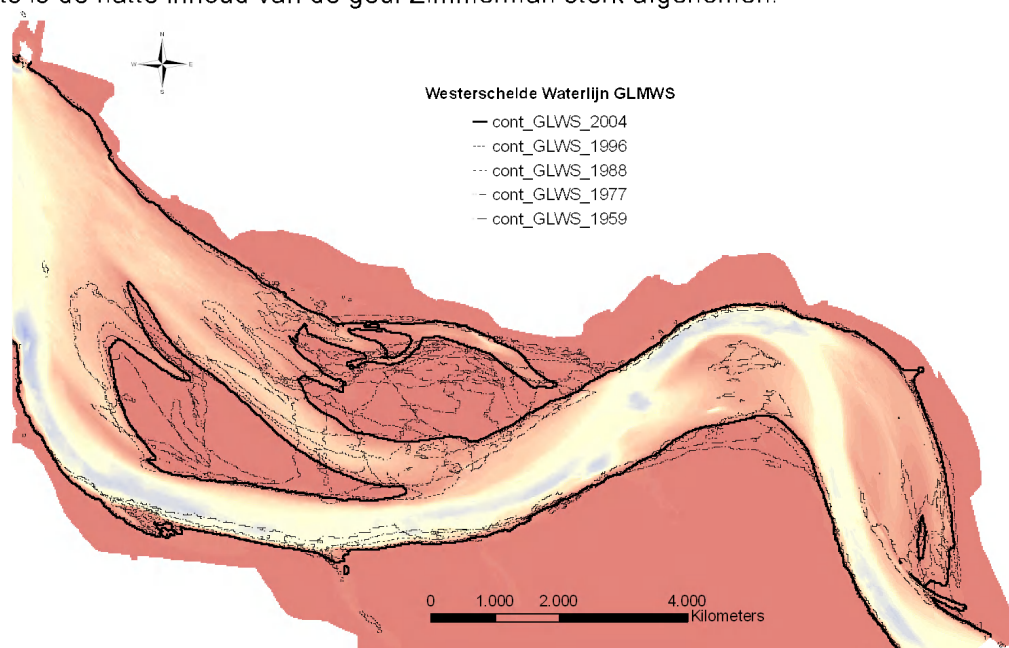


Figuur B4.5: Kaart met de contouren van de noordoever van de hoofdgeul bij macrocel 5 in de periode 1818 tot 2004 (op de bodemligging 2004).

Het plaatcomplex wordt doorsneden door de Schaar van Valkenisse, die het verlengde is van de Schaar van Waarde. Deze geul is in de afgelopen tientallen jaren geleidelijk aan vanuit het westen het plaatcomplex ingesneden.

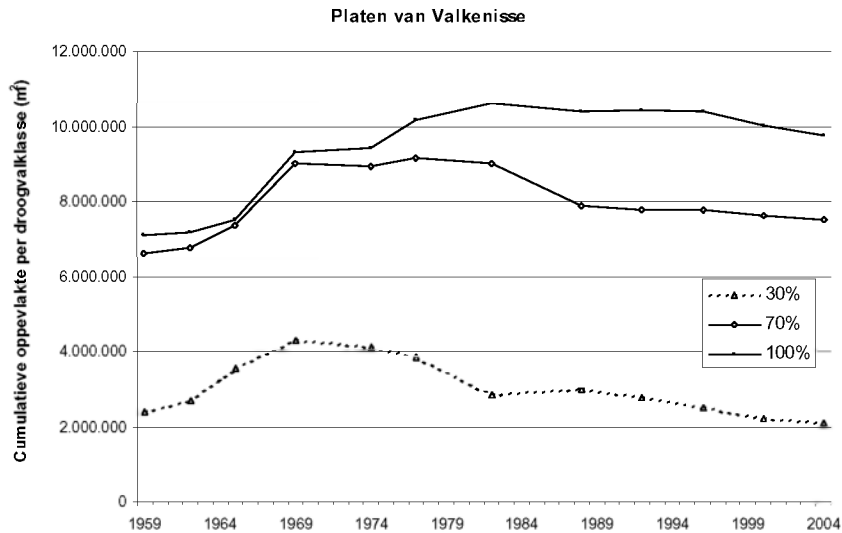
Ontwikkeling

De basisvorm van de Platen van Valkenisse is steeds een complex van twee grote platen die worden gescheiden door de Schaar van Valkenisse. Een blik op de wirwar die de GLMWS contour vormt in figuur B4.6 laat zien dat het platengebied zeer veranderlijk is geweest. Een belangrijk element in de bodemdynamiek is de Schaar van Valkenisse, waarvan zowel de grootte als de ligging aanzienlijk is veranderd. Deze veranderingen worden voornamelijk geïnitieerd door het ontstaan van verschillende vloedscharen vanuit de Schaar van Waarde. Deze scharen nemen eerst in volume toe, verplaatsen en nemen dan weer in volume af. Daarbij worden delen van de plaat gedeeltelijk of geheel afgesnoerd, om op een later moment opnieuw te ontstaan en weer met grotere platen te verhelen. Voorts is de natte inhoud van de geul Zimmerman sterk afgenomen.

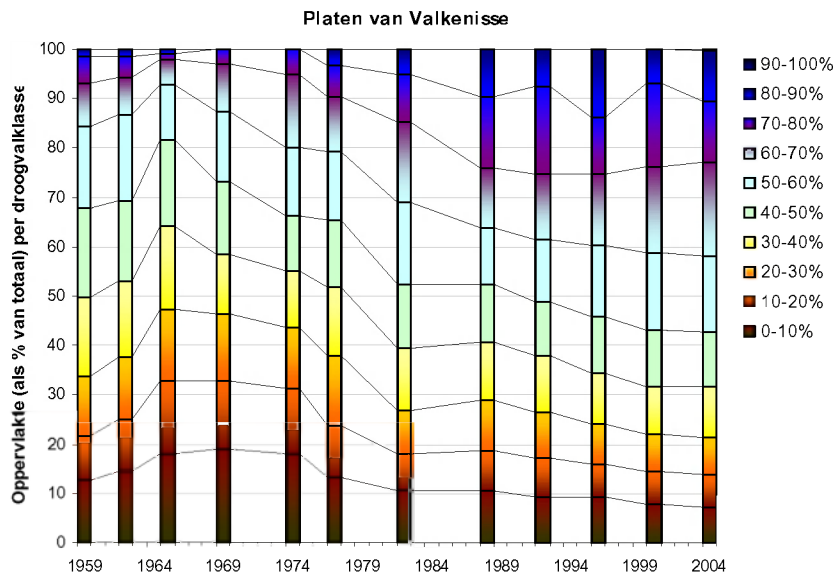


Figuur B4.6: Kaart met de contouren van de GLMWS niveaus op de Platen van Valkenisse en de aangrenzende macrocellen 6 en 7 in de periode 1959 tot 2004.

De ontwikkeling van het plaatareaal (figuur B4.7) laat een sterke toename zien van het totale areaal droogvallende plaat van $7,1 \times 10^6 \text{m}^2$ in 1959 tot $11,1 \times 10^6 \text{m}^2$. In de periode daarna neemt het areaal beperkt af tot $9,7 \times 10^6 \text{m}^2$. De grote toename heeft vooral geleid tot een toename van de lagere plaatdelen tot 1965, zoals zichtbaar is in de ontwikkeling van de relatieve bijdrage van de droogvalpercentages in figuur B4.8. Na 1965 is het belang van de hogere droogvalpercentages consequent toegenomen.

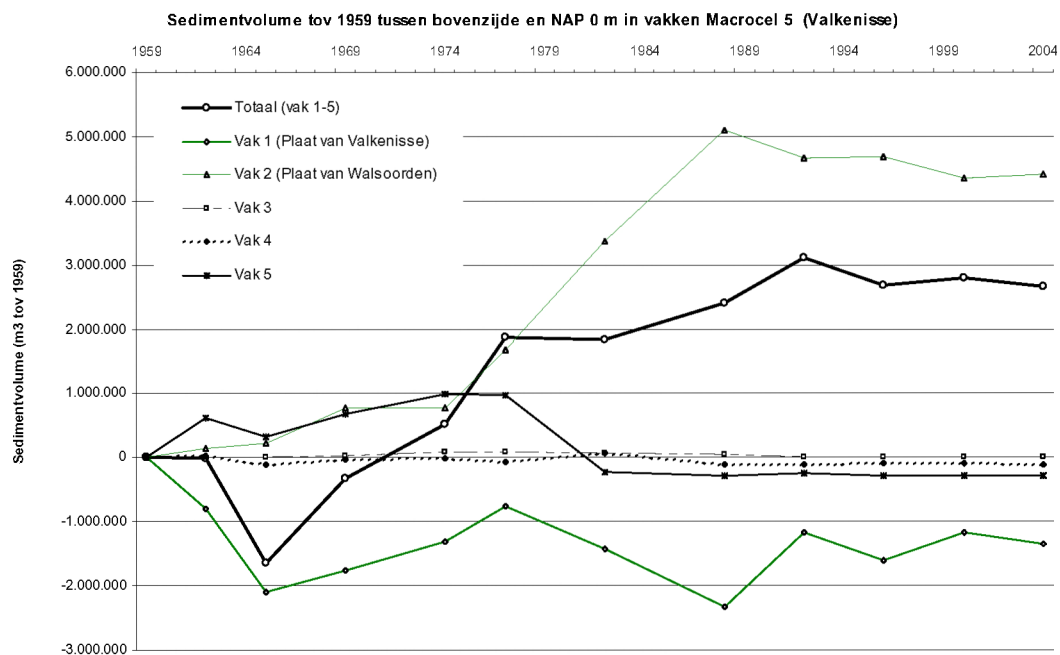


Figuur B4.7: Grafiek met het areaal met 30 procent, 70 procent en 100 procent droogvallen in de loop van de tijd. Bepaald op basis van de kaarten met droogvalpercentages, ten opzichte van variërend referentievlak (GLMWS).

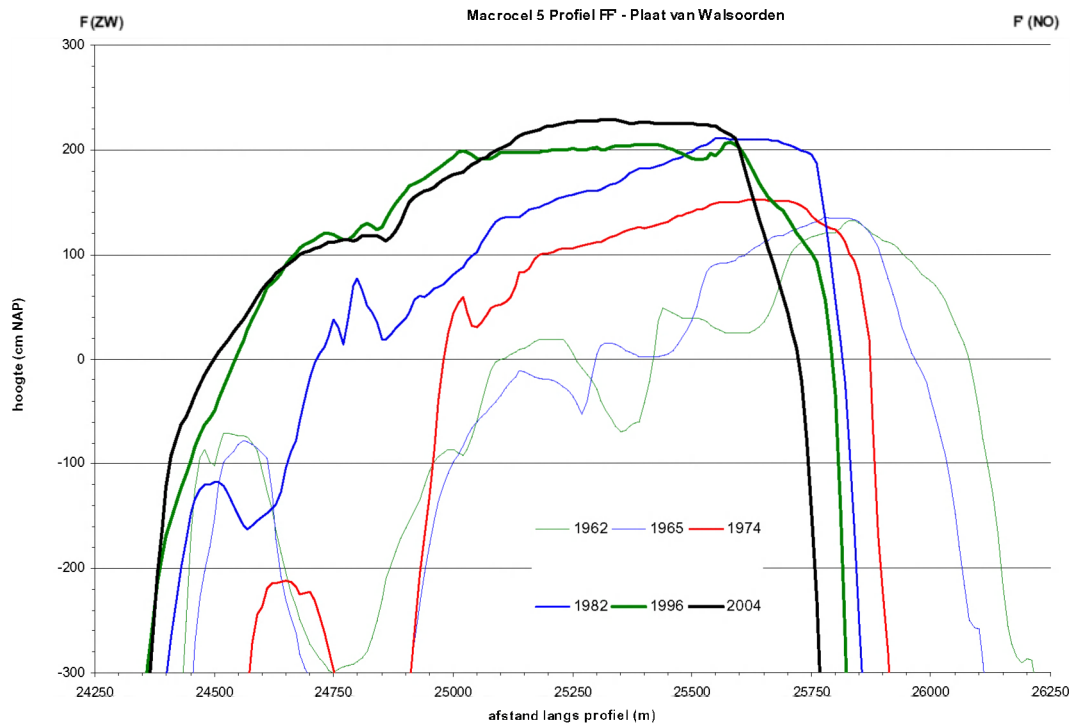


Figuur B4.8: Grafiek met de relatieve bijdrage van de verschillende droogvalpercentages aan het totale areaal droogvallende plaat in de loop van de tijd. Bepaald op basis van de kaarten met droogvalpercentages, ten opzichte van variërend referentievlak (GLMWS).

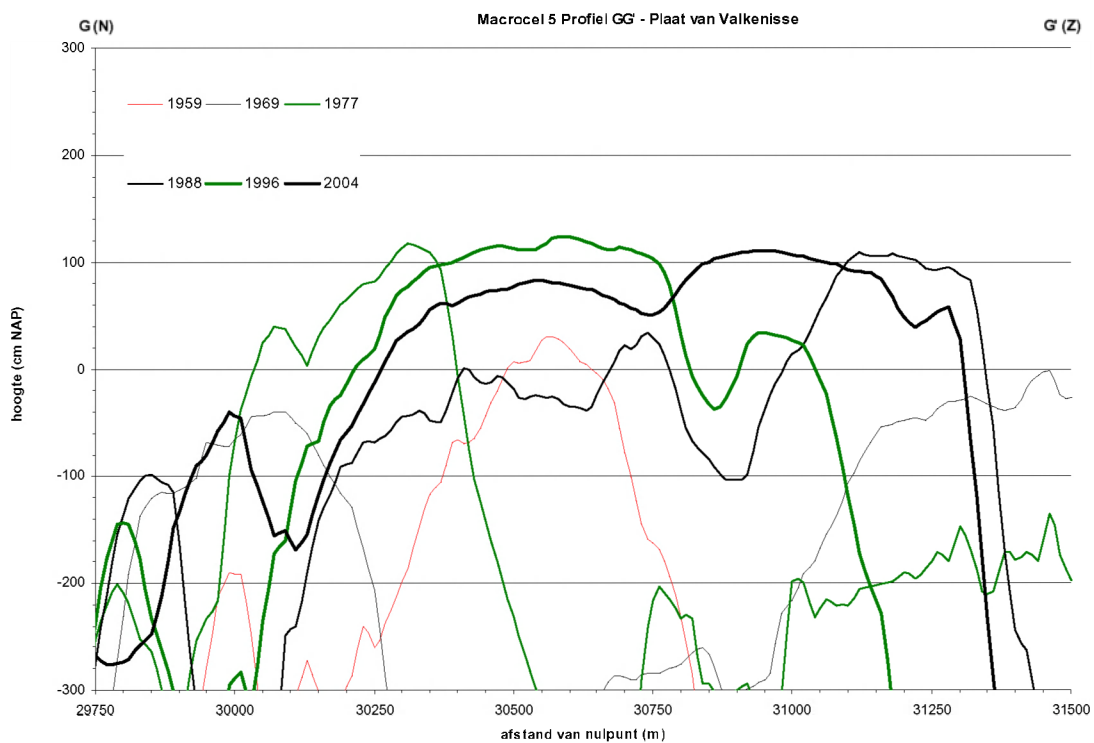
De ontwikkeling van het sedimentvolume van de hogere plaatdelen (tussen de bovenzijde van de plaat en NAP 0 meter) is weergegeven in figuur B4.9. Het sedimentvolume van de hogere delen neemt tot 1992 toe in de gehele macrocel en stabiliseert in de periode na 1992. Deze toename is volledig toe te schrijven aan de ontwikkeling op de Plaat van Walsoorden (de zuidelijke plaat van Valkenisse, vak 2). Dit beeld is enigszins vertekend doordat het vak met de noordelijke Plaat van Valkenisse ook het erosiegebied van de Schaar van Valkenisse omvat (figuur B4.2). We veronderstellen daarom dat het sedimentvolume van alle hogere delen van het platencomplex is toegenomen.



Figuur B4.9: De ontwikkeling van de sedimentinhoud tussen de bovenzijde van de plaat en NAP 0 meter (- is erosie, + is sedimentatie) van macrocel 5 en van de verschillende kubeervakken (aangegeven in figuur B4.2) ten opzichte van het referentiejaar 1959.



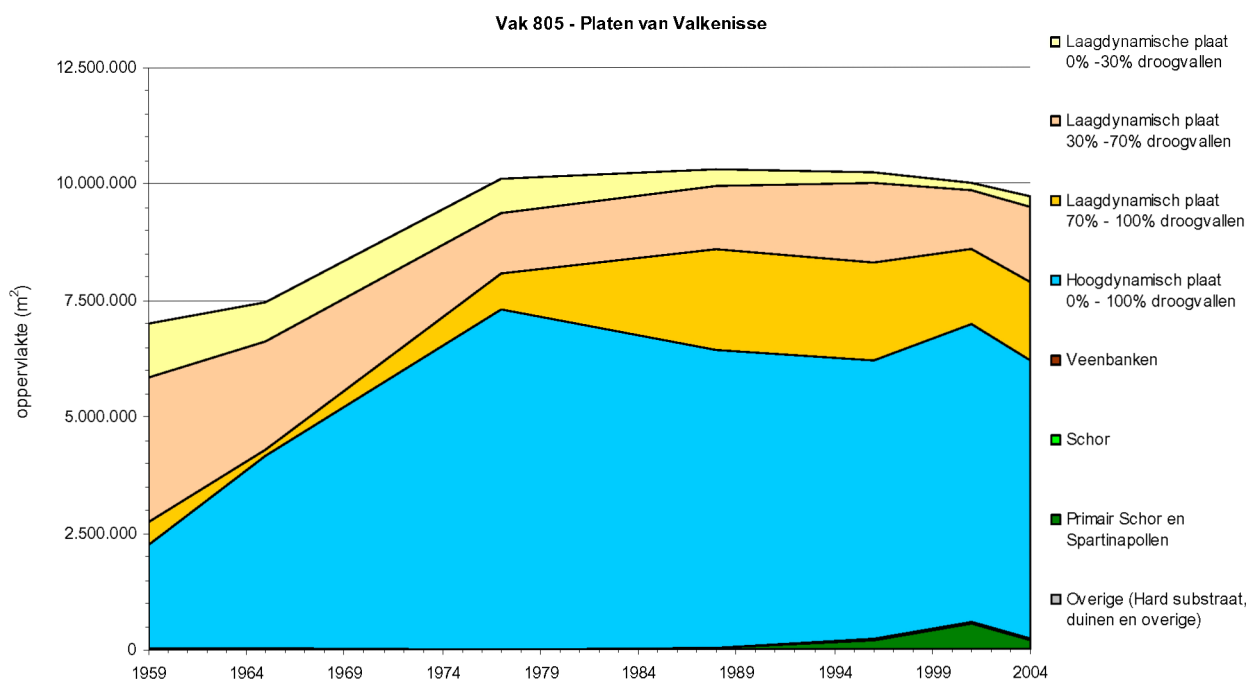
Figuur B4.10a: Dwarsdoorsnede van de Platen van Walsoorden (dwarsdoorsnede FF' van macrocel 5) in verschillende jaren (locatie in figuur 4.5).



Figuur B4.10b: Dwarsdoorsnede van de Platen van Valkenisse (dwarsdoorsnede GG' van macrocel 5) in verschillende jaren (locatie in figuur 4.5).

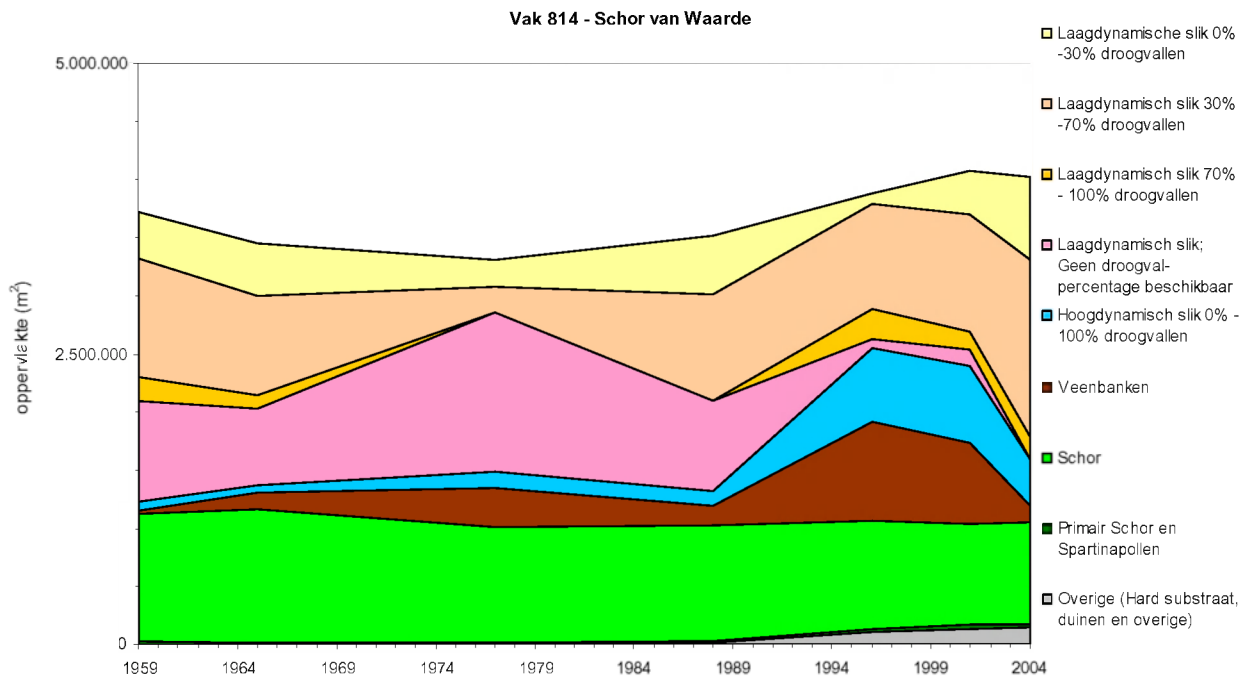
De toename van de hogere delen van de Platen van Valkenisse is goed zichtbaar in de dwarsdoorsneden door de plaat (twee voorbeelden in figuur B4.10). In deze dwarsdoorsneden is naast de toename van de hoogte ook zichtbaar dat lokale verdiepingen (geultjes) in het verleden algemeen aanwezig waren, maar tegenwoordig ontbreken.

De ontwikkeling van het totale areaal van alle ecotopen klassen op de Platen van Valkenisse samen (figuur B4.11) vertoont een sterke toename tot 1977, gevolgd door een afname van het totaal areaal. Bij de toename van het areaal is het areaal hoogdynamische plaat toegenomen ten koste van het areaal laagdynamische plaat. Na 1977 varieert de verhouding tussen het hoog- en laagdynamische areaal. En na 1997 is van het laagdynamische areaal een steeds groter deel in de hoogteklasse hoog (70%-100% droogvallen) terechtgekomen. Het areaal in de hoogteklasse laag (0% - 30% droogvallen) van de laagdynamische plaat neemt al sinds 1959 af. Sinds de jaren negentig zijn de platen van Valkenisse zo hoog dat kweldervegetatie tot ontwikkeling is gekomen.



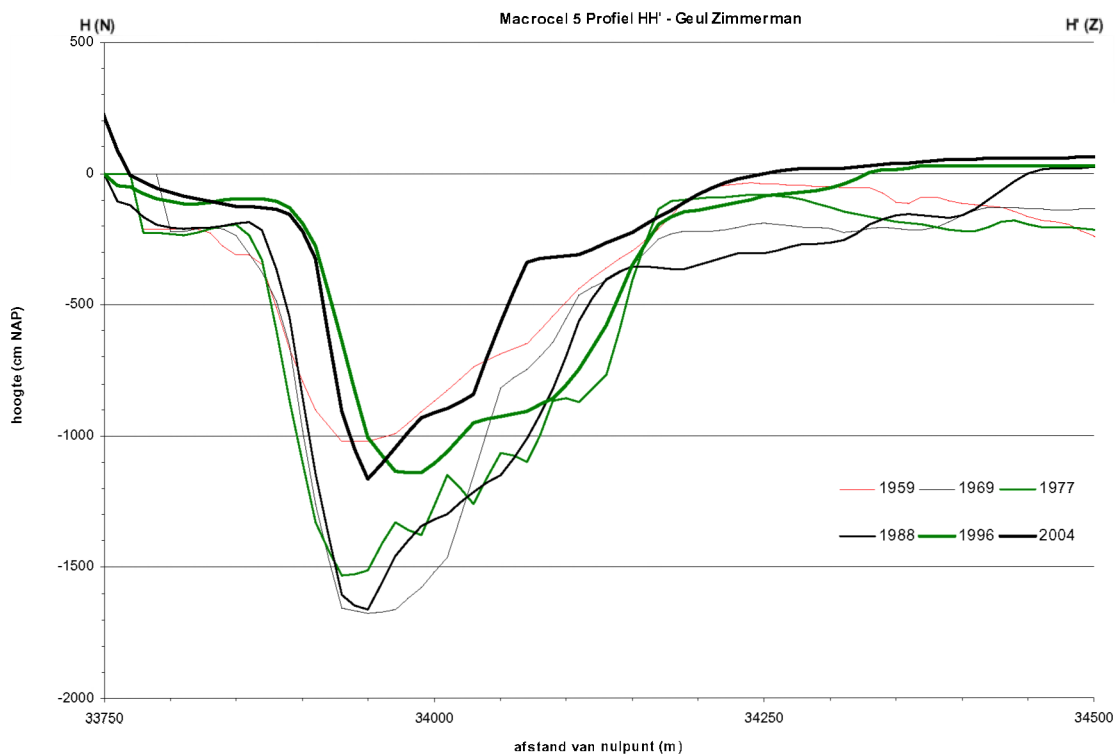
Figuur B4.11: Ontwikkeling van het areaal per ecotopenklasse voor de Platen van Valkenisse (vak 805, locatie van het vak in figuur 4.2).

De ontwikkeling van het Schor van Waarde en de voorliggende slikken wordt mede beïnvloedt door de ontwikkeling van de Platen van Valkenisse. De ontwikkeling van het totale areaal in de verschillende ecotopenklassen (figuur B4.12) vertoont ontwikkeling die enigszins tegengesteld is aan die van de Platen van Valkenisse (figuur B4.11), namelijk een afname gevolgd door een toename. Na 1988 zijn zowel het areaal hoogdynamische intergetijdengebied als de veenbanken belangrijk in omvang toegenomen, zodat deze nu een substantieel deel uitmaken van het areaal in dit vak.



Figuur B4.12: Ontwikkeling van het areaal per ecotopenklasse voor het Schor van Waarde (vak 814, locatie van het vak in figuur 4.2).

De ontwikkelingen van het Schor van Waarde kunnen worden verklaard door de afname van de grootte en de migratie van de oever van de Geul Zimmerman. In figuur B4.13 is zichtbaar dat het doorstromoppervlak van de Geul Zimmerman gaandeweg kleiner is geworden. De noordelijke geulwand ligt tegenwoordig verder uit de oever, zodat meer ruimte voor slik en schor is ontstaan.



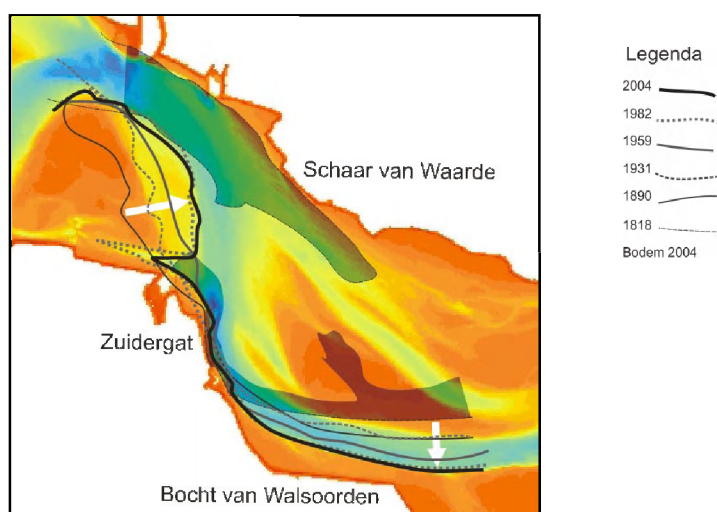
Figuur B4.13: Dwarsdoorsnede door de Geul Zimmerman (dwarsdoorsnede GG' van macrocel 5) in verschillende jaren (locatie in figuur 4.5).

4.4 De Bocht van Walsoorden en de Scharen van Waarde en Valkenisse

De Bocht van Walsoorden-Zuidergat is in macrocel 5 de hoofdgeul van de Westerschelde, die in het westen overgaat in de Put van Hansweert en naar het oosten in de Overloop van Valkenisse. De Scharen van Waarde en Valkenisse zijn vloedscharen, die in deze cel de nevengeulen vormen.

Voor 1850 vormden de geulen rond het plaatcomplex van Valkenisse een schoolvoorbeeld van een elkaar ontwijkende eb- en vloedschaar met een tussenliggende drempel (figuur B4.14). In deze situatie hadden de Schaar van Waarde en de Bocht van Walsoorden/het Zuidergat geen (in de morfologie) zichtbare eb- of vloeddominantie. Na 1850 is een duidelijke getijdinantie ontwikkeld, waarbij de Schaar van Waarde zich heeft ontwikkeld als vloedschaar, en de Bocht van Walsoorden/het Zuidergat zich heeft ontwikkeld als ebschaar.

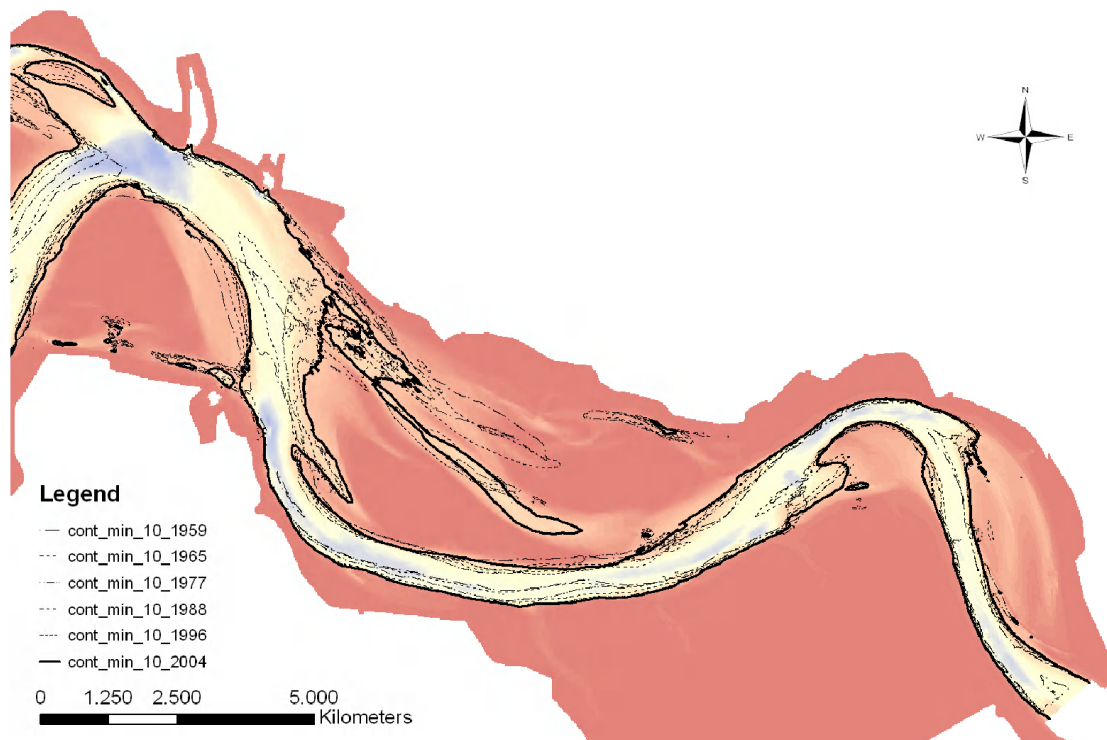
Zowel de noordoever (figuur B4.5) als de zuidoever (figuur B4.14) van de Bocht van Walsoorden zijn naar het zuiden gemigreerd. Deze ontwikkeling is in de jaren zestig van de vorige eeuw tot stilstand gebracht door het aanbrengen van bestortingen in de buitenbocht.



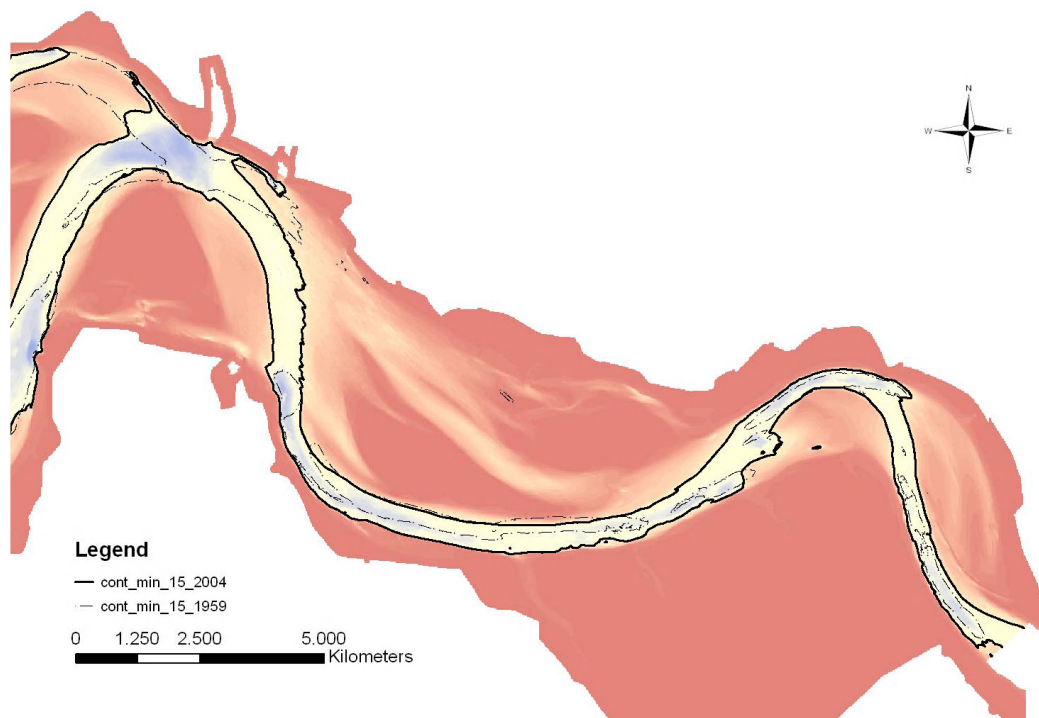
Figuur B4.14: De ontwikkeling van de zuidoever van het Zuidergat en de Bocht van Walsoorden in de periode 1818 tot 2004, op de bodemligging van 2004.

Ontwikkelingen

De ligging van de NAP –10 meter contour (figuur B4.15) geeft een indruk van de ontwikkeling van de grote geulen in en rondom het plaatcomplex van 1959 tot 2004. De positie van de hoofdgeul van de Westerschelde is redelijk constant. De belangrijkste veranderingen zijn het uitbochten van de geul naar het zuiden en de verplaatsing van de geul op de overgang van het Zuidergat naar de Put van Hansweert. De ligging en de grootte van de scharen is veel dynamischer dan de ligging van de hoofdgeul. Aan de westzijde van het plaatcomplex schuift de NAP –10 meter begrenzing van de Schaar van Waarde op naar het oosten. De Schaar van Valkenisse verlengt, wordt groter en migreert naar het zuiden.

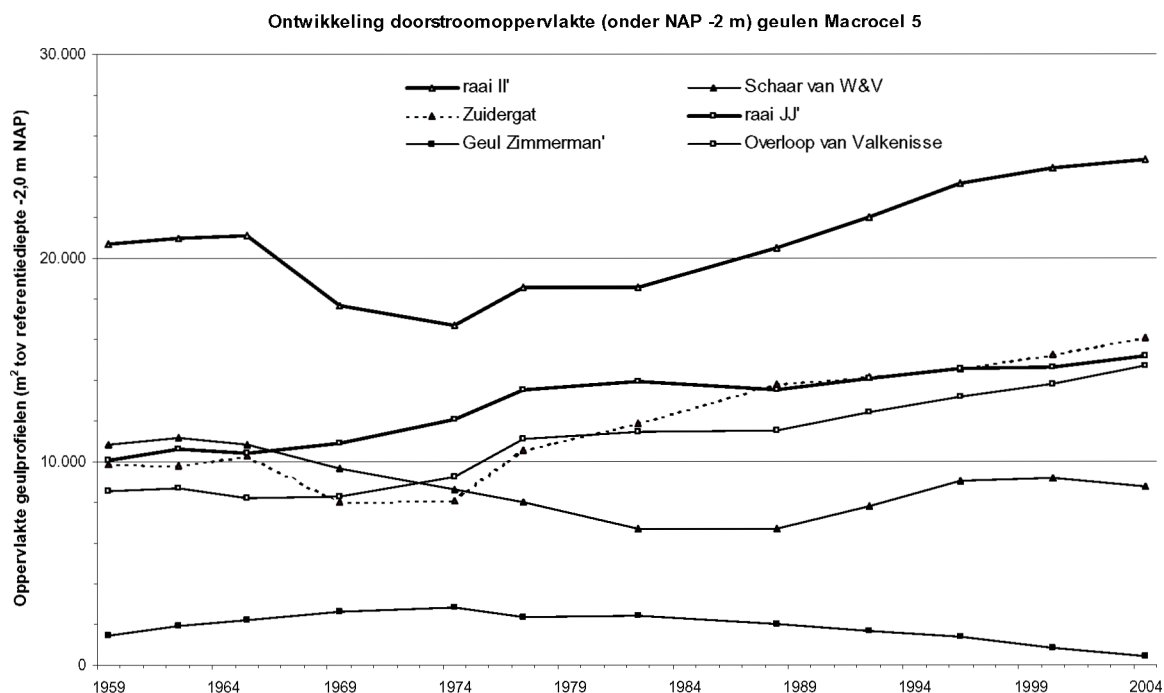


Figuur B4.15: Kaart met de contouren van het NAP –10 meter niveau op de Platen van Valkenisse en de aangrenzende macrocellen 6 en 7 van 1959 tot 2004.



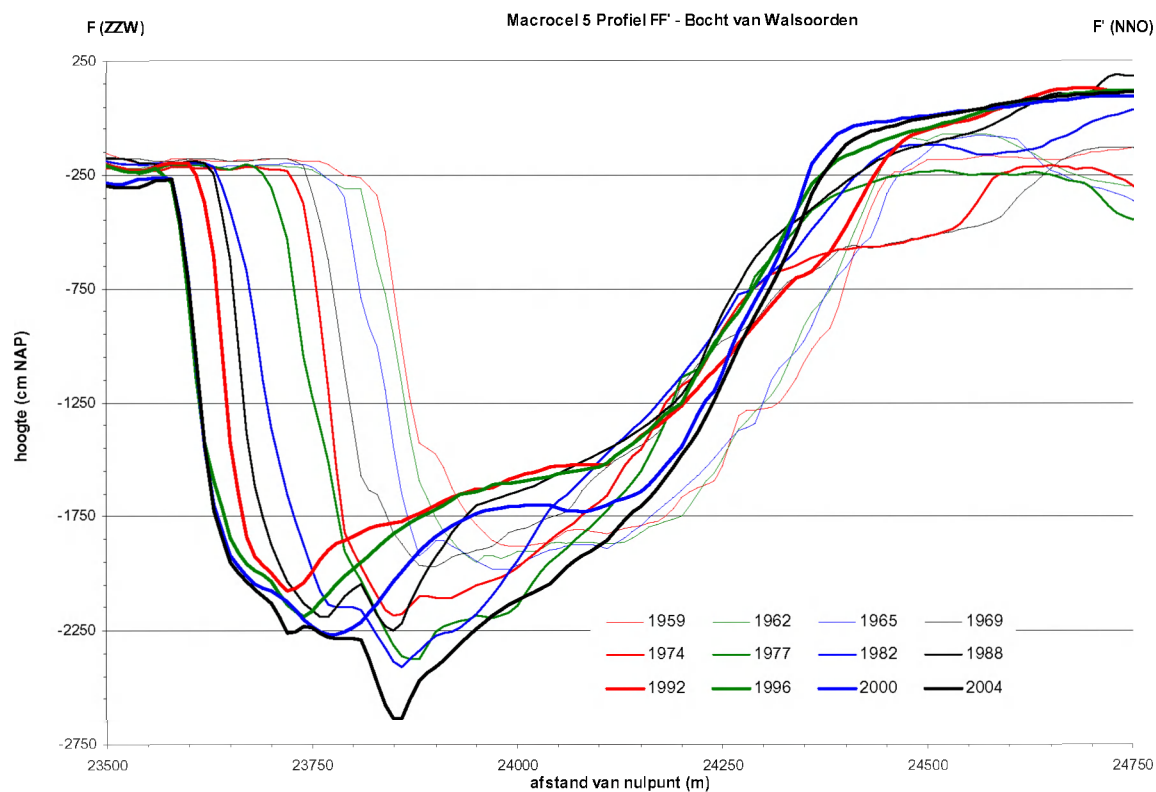
Figuur B4.16: Kaart met de contouren van het NAP –15 meter niveau op de Platen van Valkenisse en de aangrenzende macrocellen 6 en 7 in de jaren 1959 en 2004.

In de kaart met de NAP –15 meter lijn (figuur B4.16) is zichtbaar dat de hoofdgeul in 1959 nog een aantal diepere delen had, die werden gescheiden door ondiepe geuldelen. In 2004 is sprake van een doorgaande NAP –15 meter lijn, zonder ondiepten. Deze ontwikkeling is het gevolg van de baggerinspanningen om de vaargeul op diepte te houden.



Figuur B4.17: Grafiek met de ontwikkeling van het oppervlakte (in m²) van de dwarsdoorsneden van macrocel 5. De locatie van de raaien is gegeven in 4.4

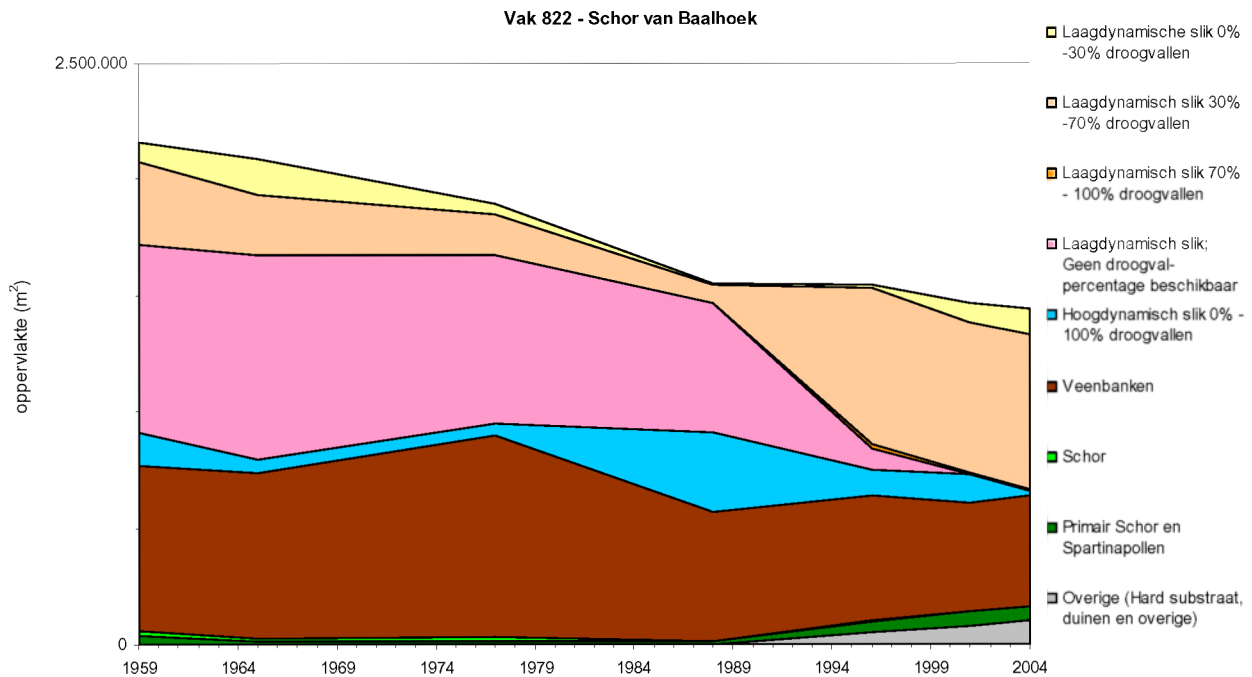
Het doorstroomoppervlak van de hoofdgeul in macrocel 5 is gaandeweg groter geworden, zoals zichtbaar is in figuur B4.17. De toename van het doorstroomoppervlakte van de Overloop bedraagt ongeveer 55 procent. Deze toename van het doorstroomoppervlak van de hoofdgeul is gedeeltelijk gecompenseerd door de afname met 76 procent van het doorstroomoppervlak van de Geul Zimmerman, dat is een van de nevengeulen. Desondanks is het doorstroomoppervlak van de Westerschelde op deze locatie in zijn geheel toegenomen met 29 procent in periode 1959 tot 2004. In de meer westelijk gelegen raai II' zijn de ontwikkelingen minder uitgesproken, waarschijnlijk omdat deze dwarsdoorsneden door de dynamische Scharen van Waarde en Valkenisse lopen. Het doorstroomoppervlak van deze Scharen is sinds 1959 netto afgenomen, maar heeft wel gefluctueerd. Het doorstroomoppervlak van het Zuidergat is sinds de jaren zeventig toegenomen. Het totale doorstroomoppervlak is na 1965 afgenomen tot een minimum in 1974, om daarna weer toe te nemen tot 2004. Het netto effect in de periode van 1959 tot 2004 is een beperkte toename van het doorstroomoppervlakte van dwarsdoorsnede JJ'.



Figuur B4.18: Dwarsdoorsnede van de Bocht van Walsoorden (dwarsdoorsnede FF in macrocel 5, locatie in figuur 4.5).

In de dwarsdoorsnede van de hoofdgeul (figuur B4.18) is zichtbaar dat de toename van het doorstroomoppervlak een combinatie is van het dieper worden van de geul én het breder worden van de geul. De geul wordt breder omdat de migratiesnelheid van de zuidoever groter is dan de migratiesnelheid van de noordoever. In figuur B4.15 is ook zichtbaar dat de migratie van de zuidoever tegenwoordig niet meer plaatsvindt. Dit is het gevolg van het uitbreiden van de geulwandbestortingen in de jaren negentig.

De migratie van de Bocht van Walsoorden/Zuidergat heeft als gevolg gehad dat het Schor van Baalhoek (of juist de Slikken van Baalhoek, gezien het beperkte areaal schor) gaandeweg kleiner is geworden (figuur B4.19). De afname van het areaal is tot staan gebracht door het aanbrengen van bestortingen. Ook zijn in dit gebied enkele dwarsdammen opgetrokken om de erosie van het schor tegen te gaan. Met de tegenovergelegen Schor van Waarde is dit het gebied waar de meeste veenbanken aan de oppervlakte van de Westerschelde liggen.



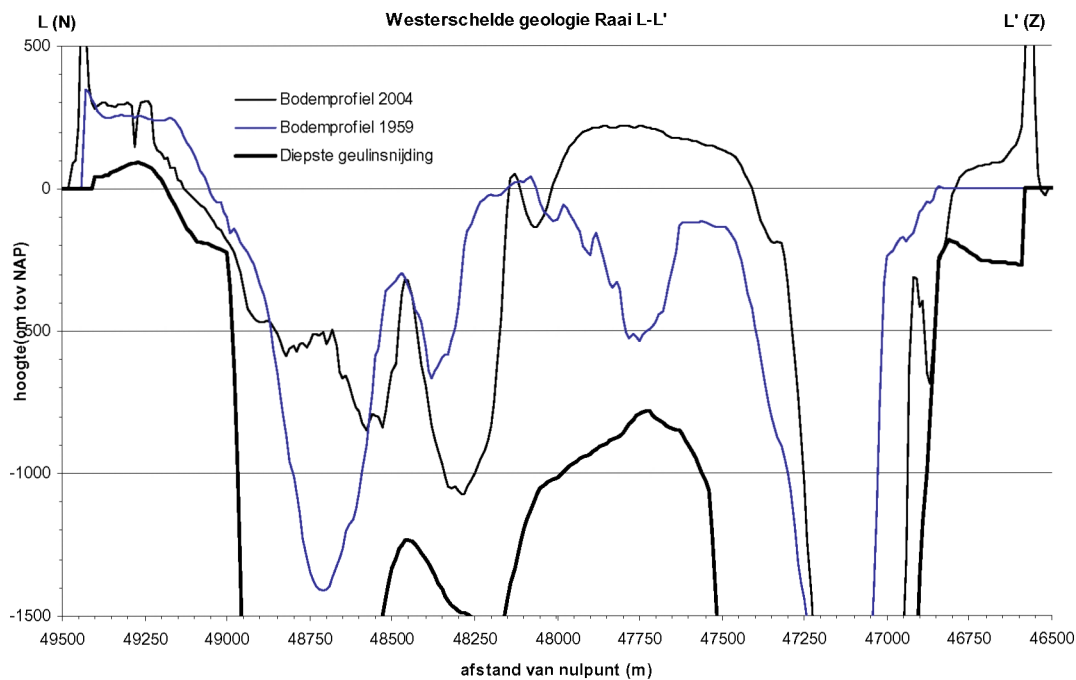
Figuur B4.19: Ontwikkeling van het areaal per ecotopenklasse voor het Schor van Baalhoek (vak 815, locatie van het vak in figuur 4.2).

4.5 Analyse van de ontwikkelingen

De invloed van harde lagen

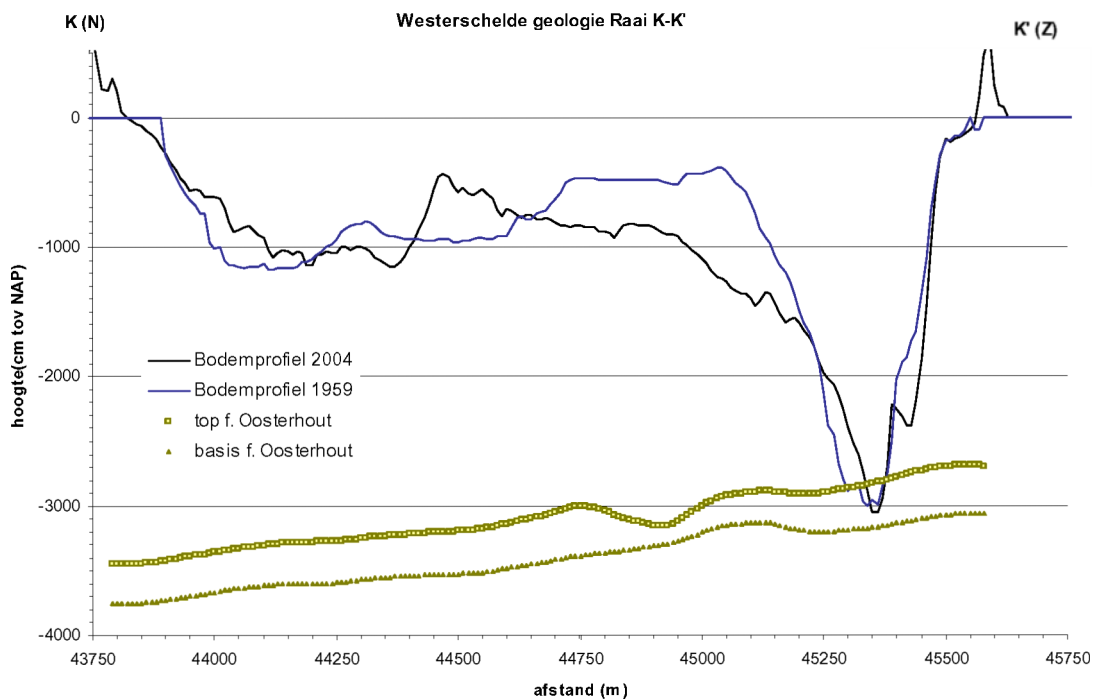
In de slikken aan de beide oevers van macrocel 5 komen relatief veel veenbanken aan het oppervlakte. Deze banken zijn in het veld en in luchtfoto's (figuren 3.1 en 3.3) zichtbaar en dit komt ook tot uiting in de arealen van de ecotopenkaart (figuren B4.12 en B4.19). De aanwezigheid van deze veenbanken betekent dat in de ondergrond ook nog ouder materiaal aanwezig is. De veenbanken zelf en de oudere lagen bemoeilijken de migratie van geulen aan de beide oevers van de Westerschelde. Ook in het verleden hebben de moeilijk erodeerbare lagen de migratie van de geulen in dit gebied waarschijnlijk vertraagd.

Onder de Platen van Valkenisse zijn geen veenbanken aangetroffen. De kern van oud materiaal zit dieper dan NAP -7 meter (figuur B4.20). De aanwezigheid van de kern speelt slechts een beperkte rol in de stabiliteit van het platencomplex, omdat alleen geulen met een diepte groter dan 7 meter worden beïnvloed door deze kern.



Figuur B4.20: Dwarsdoorsnede LL' van de Plaat van Valkenisse, met de uit de historische kaarten van 1800 tot 2004 bepaalde maximale insnijdingsdiepte van geulen. De locatie van het dwarsdoorsnede is weergegeven in figuur 4.3).

De insnijding van de hoofdgeul tot een diepte van maximaal NAP –30 meter valt samen met de aanwezigheid met de Formatie van Oosterhout (figuur B4.21). Mogelijk vormen de schelpenbanken (“crags”) in deze formatie een belemmering voor de geul om dieper in te snijden.

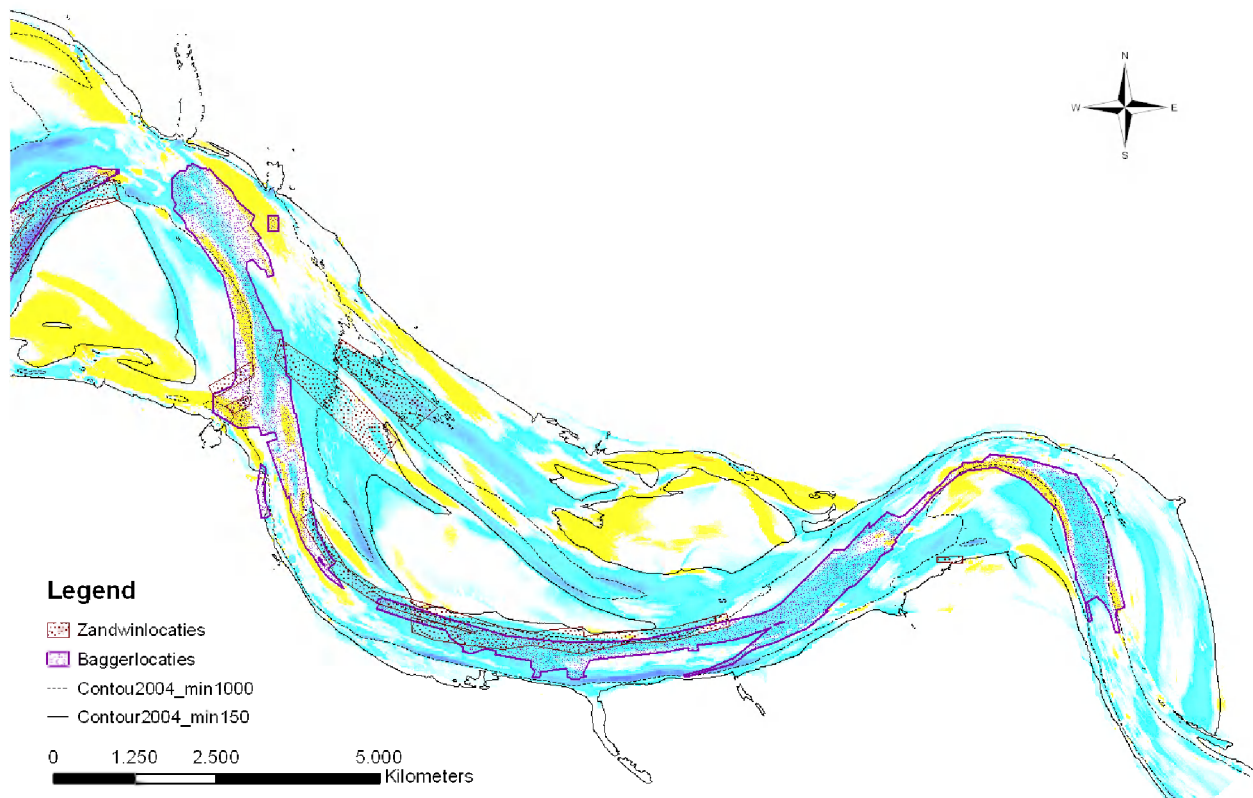


Figuur B4.21: Dwarsdoorsnede KK' van de Bocht van Walsoorden en de Plaat van Walsoorden, met de uit boringen geïnterpoleerde aanwezigheid van moeilijk erodeerbare lagen van de Formatie van Oosterhout (niet gecorrigeerd voor erosie door geulen). De locatie van het dwarsdoorsnede is weergegeven in figuur 4.3).

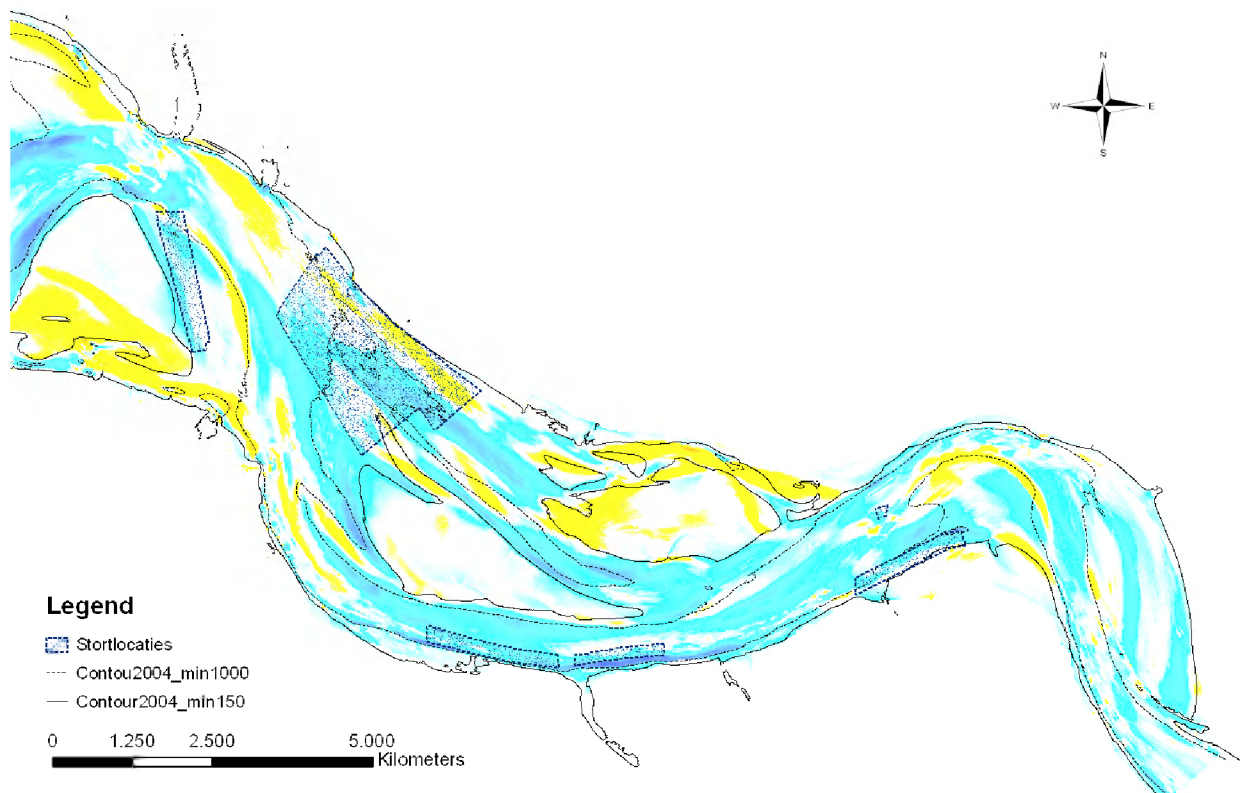
Menselijke ingrepen en de morfologische ontwikkelingen

In het oostelijke deel van de Westerschelde wordt veel gebaggerd om de vaargeul op de afgesproken nautische diepte en breedte te houden. De grootste inspanning wordt geleverd in de zuidelijke bocht van de Bocht van Walsoorden, aan de westzijde van het Zuidergat en op de drempel tussen het Gat van Terneuzen en de Schaar van Waarde. Daarbij wordt in de Schaar van Waarde en in de zuidelijke Bocht van Walsoorden verschillende locaties zand gewonnen (figuur B4.22). Een deel van het gebaggerde sediment wordt teruggestort in de macrocel. De stortlocaties zijn aangegeven in figuur B4.23. De volumes van het gebaggerde en het gestorte sedimenten in macrocel 5 zijn weergegeven in figuur B4.24. De optelsommen van de baggervolumes en de stortvolumes in de periode 1955 tot 2005 zijn weergegeven in figuur B4.25.

Ten noordwesten van de Platen van Ossenissee ligt de grootste (in sedimentvolume) baggerlocatie van de Westerschelde, waar in de periode 1959 tot 2004 $102 \times 10^6 \text{ m}^3$ is gebaggerd. Naar het zuidoosten ligt in het verlengde van deze baggerlocatie nog een baggerlocatie waar in dezelfde periode ruim $30 \times 10^6 \text{ m}^3$ is gebaggerd. De waargenomen toename van de breedte en diepte van de Bocht van Walsoorden is waarschijnlijk voor een belangrijk deel toe te schrijven aan de onttrekking van sediment aan de geul. Daarnaast speelt de toename van het getijdenvolume van de Westerschelde en de Zeeschelde een rol bij de toename van het doporstroomoppervlakte van de geulen. Deze toename is een indirect effect van menselijke ingrepen, verder stroomopwaarts in het estuarium.

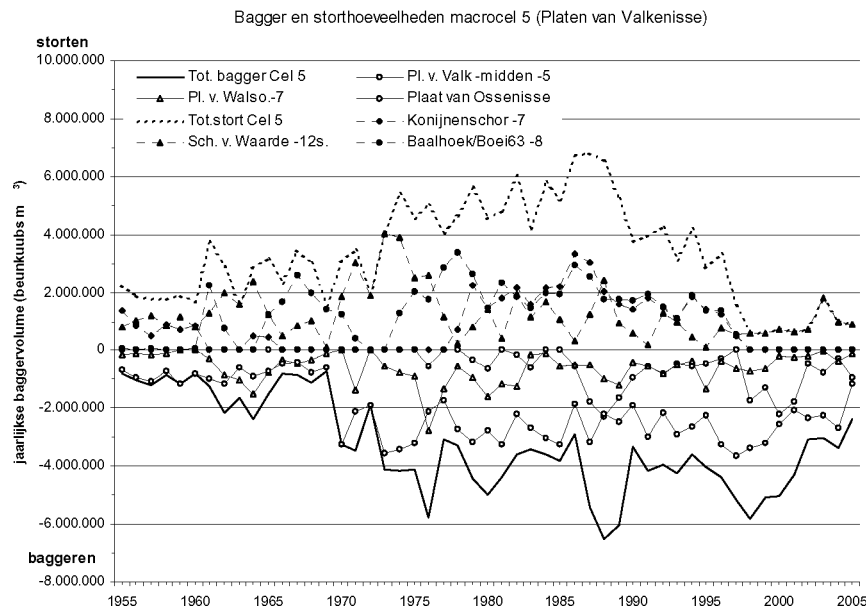


Figuur B4.22: Locaties waar in de periode 1990 tot 2004 onttrekking (baggeren en zandwinnen) van sediment heeft plaatsgevonden in macrocel 5, 6 en 7, weergegeven op een kaart met de sedimentatie (rood) en erosie (blauw) in de periode 1988 tot 2004.



Figuur B4.23: Locaties waar in de periode 1990 tot 2004 storting van sediment heeft plaatsgevonden in macrocel 5, 6 en 7, weergegeven op een kaart met de sedimentatie (rood) en erosie (blauw) in de periode 1988 tot 2004.

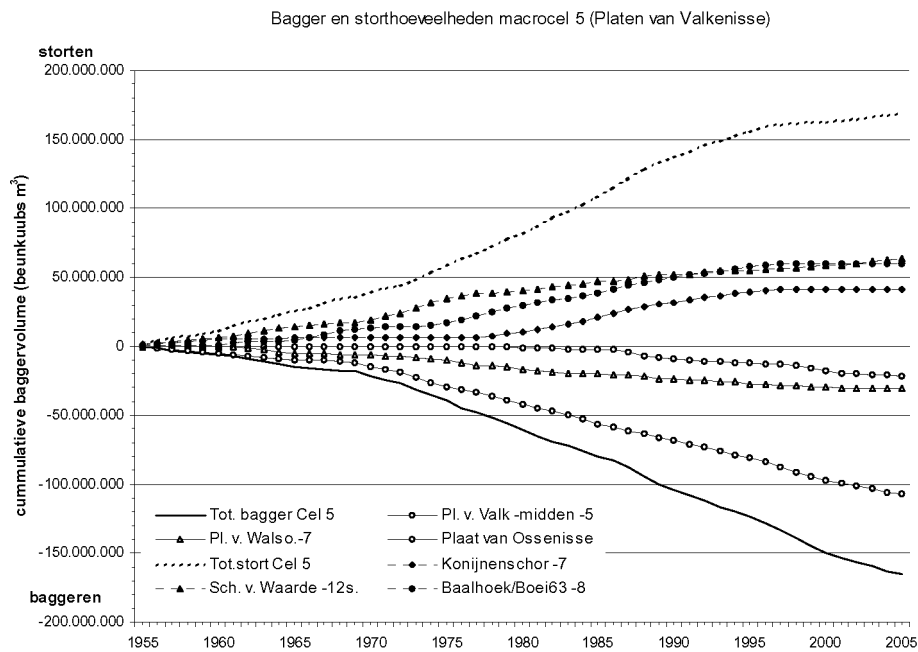
De stortingen in het stortvak in de Schaar van Waarde van ruim $58 \times 10^6 \text{ m}^3$ hebben waarschijnlijk in belangrijke mate bijgedragen aan het toenemen van het sedimentvolume van de Platen van Valkenisse. Vanuit de Schaar van Waarde wordt het platencomplex aangestroomd door de vloedstroom in de Westerschelde. De vloedstroom voert sediment mee uit de Schaar van Waarde, zodat dit op de platen kan worden afgezet.



Figuur B4.24: Grafiek met de jaarlijkse stortvolumes (positief) en baggervolumes (negatief) in macrocel 5 en in de verschillende bagger- en stortgebieden in de periode 1955 tot 2005.

Na het begin van de jaren negentig is het stortvolume in macrocel 5 gereduceerd (figuur 4.24). Na de tweede verdieping is het zwaartepunt van het storten van sediment uit het oostelijke deel van de Westerschelde verschoven naar het westelijke deel van de Westerschelde. Tot 1998 werd meer sediment in macrocel 5 gestort dan werd onttrokken, nadien is meer onttrokken dan gestort (Nederbragt en Liek, 2004). Deze verandering in het stortbeleid heeft geleid tot een sterke reductie van het storten in de Schaar van Waarde. De trend in de ontwikkeling van het sedimentvolume van de gehele plaat (figuur B4.3) en van de hogere delen van de platen (figuur B4.9) loopt overigens niet gelijk op met de stortvolume in de Schaar van Waarde (12s in figuur B4.24) en volgt de trend ook niet later. De relatie tussen het storten van sediment in de Schaar van Waarde en de ontwikkeling van het sedimentvolume van de platen is zeker niet één op één.

Een belangrijk deel van de zuidelijke geulwand van het Zuidergat, de Bocht van Walsoorden en de Overloop van Valkenisse is bestort met stenen. Deze bestortingen zijn vroeger met name uitgevoerd om de oprukkende geulen 'uit de dijk' te houden. Sinds de jaren negentig is ook bestort om de slikken en schor tegen doorgaande erosie te beschermen (Holzhauer et al, 2007).



Figuur B4.25: Grafiek met de cumulatieve stortvolumes (positief) en baggervolumes (negatief) in macrocel 5 en in de verschillende bagger- en stortgebieden in de periode 1955 tot 2005.

Aan de noordoever zijn dwarsdammen (figuur B4.26) aangelegd om het Schor van Waarde tegen erosie te beschermen. Aan de zuidoever zijn op het Slik van Baalhoek enkele dwarsdammen aangelegd om het slik te beschermen tegen erosie

Door het aanbrengen van de bestortingen ligt de positie van de hoofdgeul van de Westerschelde voor het grootste deel vast. De ruimte voor dynamiek van de scharen wordt aan de noordoever enigszins beperkt door de dwarsdammen.

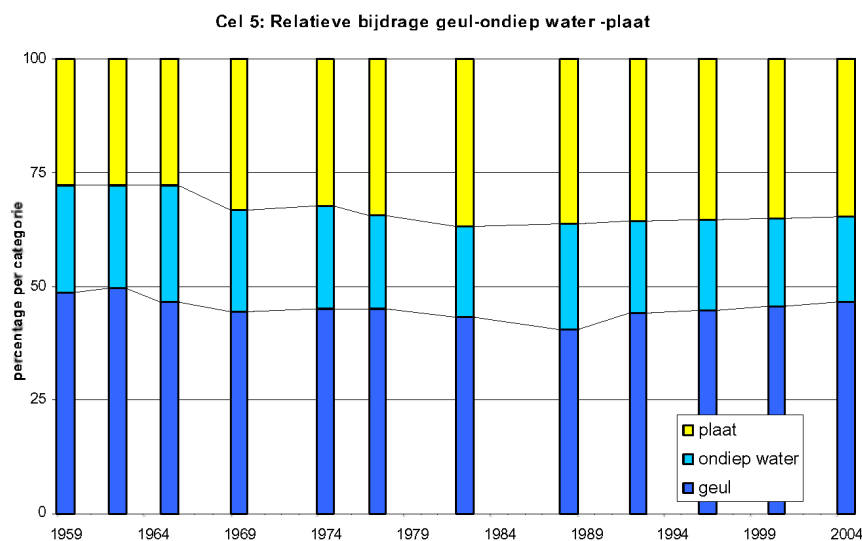


Figuur B4.26: Dwarsdammen in de slikken, om het Schor van Waarde tegen de verplaatsingen van de geul te beschermen (bron: Google Earth).

Zanduitwisseling tussen plaat en geul

In de periode 1959 tot 1981 is het areaal plaat en slik flink toegenomen en daarna heeft stabilisatie van het areaal plaatsgevonden. De toename van het sedimentvolume van het Platencomplex van Valkenisse heeft iets langer geduurd, tot 1988 en is gevolgd door een kleine afname van het sedimentvolume. De verschuiving van lage naar hoge droogvalpercentages is in 1965 begonnen en gaat nog steeds door. Het platencomplex van Valkenisse is dus hoger en droger geworden, tot 1988 door het toenemen van het sedimentvolume en daarna door het herverdelen van sediment.

De toename van het plaatareaal is voor een deel ten koste gegaan van het areaal geul en voor deel ten koste van het areaal ondiepwater (figuur 4.27). De afname van het geulareaal heeft zich met name voorgedaan in de Scharen van Waarde en Valkenisse, waarvan het doorstroomoppervlak is afgenomen (figuur 4.17).



Figuur B4.27: De relatieve bijdrage van de arealen geul, ondiepwater en plaat (gedefinieerd ten opzichte van een vaste referentiehoogte) in alle kubeervakken samen van macrocel 5.

Een deel van de afname van het doorstroomoppervlak van de Schaar van Waarde en de Schaar van Valkenisse kan worden gerelateerd aan het storten van baggerspecie in het stortvak in de Schaar van Waarde. Verder speelt de natuurlijke dynamiek van de scharen een belangrijke rol bij ontstaan, migreren en verdwijnen van dit type drempelgeul. Van nature neemt de grootte (areaal en watervolume) eerst toe, om daarna weer af te nemen. Bovenstaande levert wel een verklaring voor de veranderingen in het areaal van het platencomplex, maar geen verklaring voor de toename en stabilisatie van het sedimentvolume. Blijkbaar is de balans tussen de aan- en afvoer van sediment naar en van de plaat verschoven in het voordeel van de aanvoer. Twee veranderingen hebben zich tegelijkertijd voorgedaan met de toename van het sedimentvolume, namelijk de afname van het areaal ondiepwater (tussen NAP –5 en NAP–2 meter) en de absolute en relatieve toename van het areaal hoogdynamische plaat ten opzichte van het areaal laagdynamische plaat (figuur B4.27).



Figuur B4.28: De zuidelijke Plaat van Valkenisse met de megaribbelvelden. De dominante stroomrichting, op basis van de ribbelasymmetrie, is aangegeven met pijlen (rood= vloed; blauw = eb) (bron: Google Earth).

De toename van het areaal hoogdynamische plaat kan hebben geleid tot een toename van de aanvoer van sediment naar de plaat. De aanwijzingen hiervoor volgen uit de ribbelpatronen op de Plaat van Valkenisse (figuur B4.28). De oriëntatie van de kammen van de megaribbels wijst op een stroming die voor een belangrijk deel de plaat op is gericht. Met de stroming de plaat op wordt ook sediment aangevoerd naar de plaat.

De afname van het areaal ondiepwater kan een bijdrage hebben geleverd aan de afname van de afvoer van sediment. Een deel van het areaal ondiepwater bestaat namelijk uit drainagegeultjes die de plaat aflopen en uit kortsluitgeulen die een zelfde rol kunnen spelen.

4.6 Samenvatting van de ontwikkelingen

Op deze platen valt in de meest recente opname van 2004, ongeveer 60 procent van het plaatoppervlak in de klasse 31 - 70 procent droogvalpercentage. Het aandeel van deze droogvalklasse is sinds halverwege de jaren tachtig toegenomen met ongeveer $0,4 \cdot 10^6$ m² (40 hectare). Wel heeft sinds halverwege de jaren tachtig een kleine afname plaatsgevonden van het totale plaatoppervlak. Het sedimentvolume van de platen is toegenomen tot eind jaren tachtig en daarna gestabiliseerd of afgenomen. De toename van het sedimentvolume heeft voor de zuidelijk plaat (Plaat van Walsoorden) ook op de hogere delen van de plaat plaatsgevonden. Bij de noordelijke plaat is het sedimentvolume van de hoge delen van de plaat relatief stabiel na een afname tot 1965.

Bij de toename van het oppervlak van de plaat tot 1977 is ook het areaal hoogdynamische plaat uitgebreid. Na 1977 is dit areaal weer enigszins afgenomen. Verder heeft op de plaat vegetatieontwikkeling plaatsgevonden, zodat een klein deel van de plaat nu primair schor en *spartina*-pollen omvat.

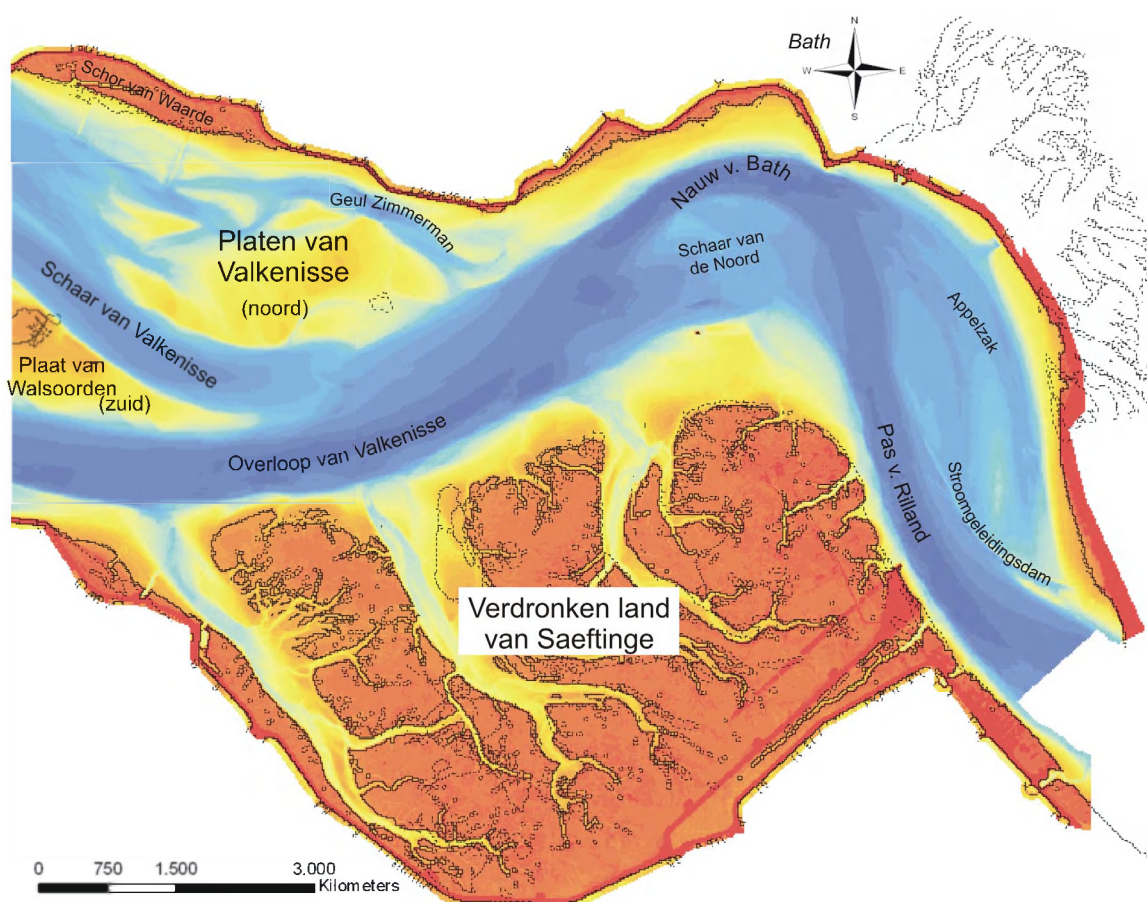
Het areaal ondiepwater is netto afgenomen in de periode van 1959 tot 2004. Macrocel 5 is de enige macrocel waar het areaal geul is afgenomen ten koste van het areaal plaat. Het aantal platen in macrocel 5 is na een toename van 10 tot 20 in de periode 1959 tot 1965 afgenomen tot een minimum van 7 in 2000.

Bijlage 5: Macrocellen 6 en 7: Het Nauw van Bath, de Pas van Rilland en het Verdronken land van Saeftinge

5.1 Inleiding

De bochtgroepen van het Nauw van Bath en de Pas van Rilland zijn de kleinste macrocellen van de Westerschelde. De macrocel 6 ligt ten noorden van het Land van Saeftinge en macrocel 7 grenst aan de Zeeschelde tegen de Vlaams-Nederlandse grens. Aan de westzijde grenst macrocel aan macrocel 5. Het Land of Verdronken land van Saeftinge is een beeldbepalend element in dit deel van de Westerschelde. Het Land van Saeftinge is het grootste aaneengesloten schorreengebied van de Westerschelde.

Het Nauw van Bath vormt de hoofdgeul van macrocel 6 en de Schaar van de Noord is de vloed-schaar die de nevengeul vormt. De Pas van Rilland is de hoofdgeul in macrocel 7, waarbij de Appelzak het restant van de nevengeul vormt. De Appelzak is een restant van de nevengeul omdat in de jaren zestig een stroomgeleidingsdam is aangelegd langs de Pas van Rilland, die het stroomvoerende karakter van de Appelzak heeft beperkt.

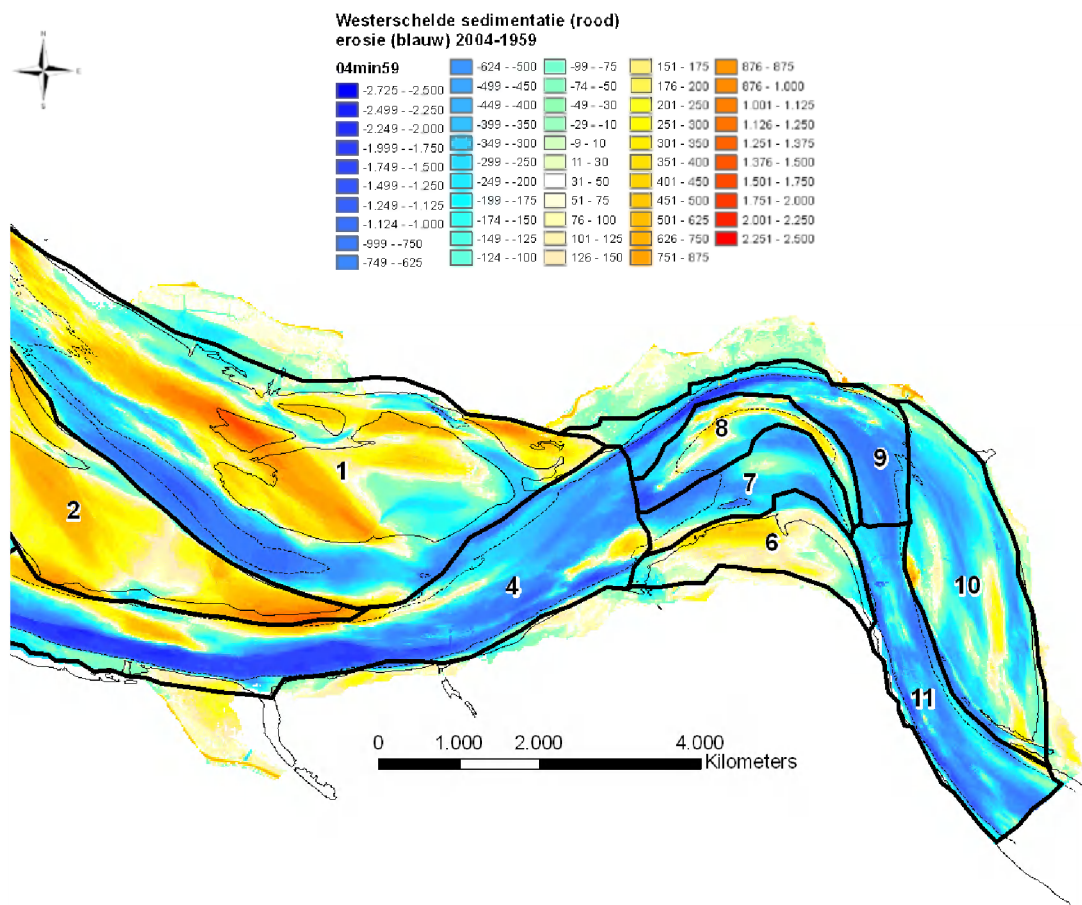


Figuur B5.1: Kaart met morfologische eenheden en namen bij macrocellen 6 en 7.

Het Nauw van Bath (macrocel 6) en de Pas van Rilland (macrocel 7) worden los van elkaar beschreven. Het Land van Saeftinge wordt beschreven bij macrocel 6.

5.2 Sedimentvolume en arealen

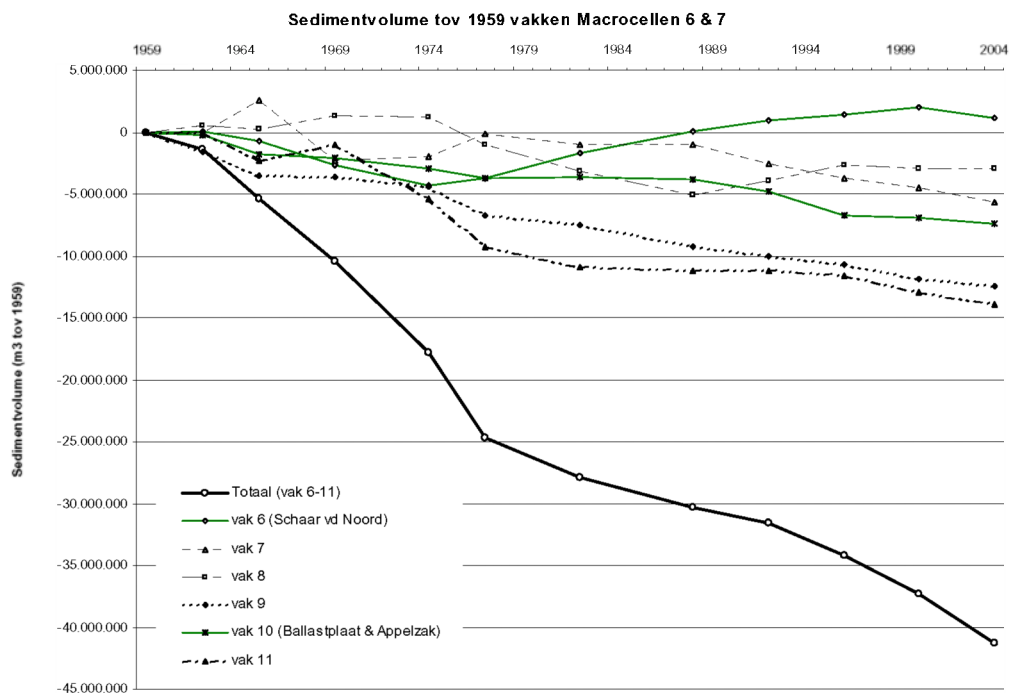
De vakindeling die is gebruikt voor het bepalen van de ontwikkeling van de sedimentvolumes in macrocel 5, 6 en 7 is weergegeven in figuur B5.2. Voor macrocel 5 zijn alleen de kubeervakken 6 tot en met 11 beschouwd.



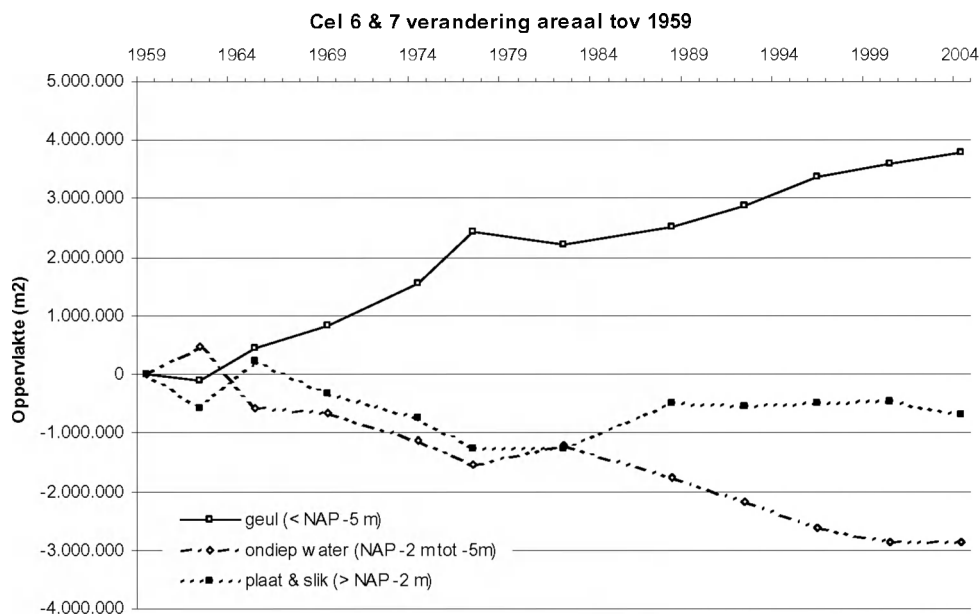
Figuur B5.2: Sedimentatie (rood) en erosie (blauw) in de periode 1959 tot 2004. Op de kaart zijn de kubeervakken aangegeven.

Opvallend in figuur B5.2 is dat de overheersende kleur in de oostelijke vakken blauw is. De blauwe kleur betekent dat het gebied in 2004 dieper is dan in 1959. De belangrijkste uitzondering hierop is de zuidelijke helft van de Schaar van de Noord (vak 6). Ook in figuur B5.3, waarin de ontwikkeling van de sedimentvolumes sinds 1959 is weergegeven, is zichtbaar dat het sedimentvolume in alle vakken is afgenomen, met uitzondering van de Schaar van de Noord (vak 6).

De totale afname van het sedimentvolume bedraagt ruim $40 \times 10^6 \text{ m}^3$. De grootste afname vindt plaats in de hoofdgeul. Ook het sedimentvolume van de Appelzak is afgenomen met $7.5 \times 10^6 \text{ m}^3$. Van het Land van Saeftinge zijn slechts uit twee jaren bodems beschikbaar. De ontwikkeling van het sedimentvolume van het Land van Saeftinge is daarom niet bepaald.



Figuur B5.3: De ontwikkeling van de sedimentinhoud (- is erosie, + is sedimentatie) van macrocel 6 en 7 en de verschillende kubeervakken (aangegeven in figuur 5.2) ten opzichte van het referentiejaar 1959.



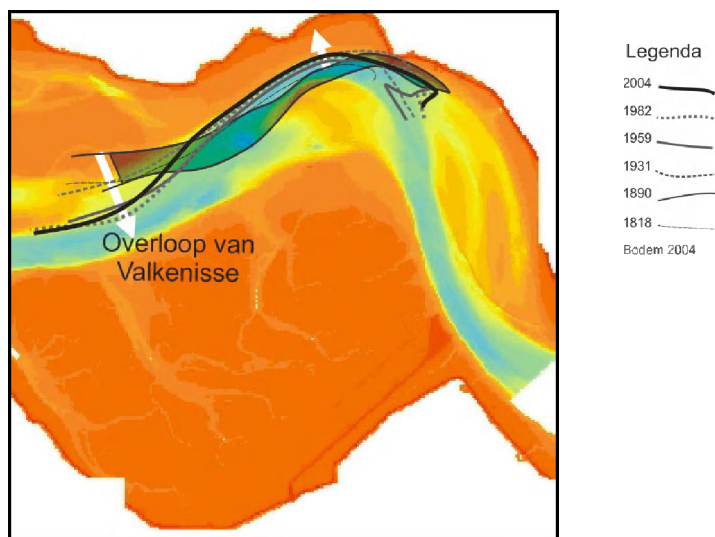
Figuur B5.4: De ontwikkeling van de arealen (gedefinieerd ten opzichte van een vaste referentiehoogte) geul, ondiepwater en plaat in alle kubeervakken samen van macrocel 6 en 7 ten opzichte van het referentiejaar 1959.

In figuur B5.4 is de ontwikkeling van de arealen geul, ondiepwater en plaat en slikken (gedefinieerd ten opzichte van een vaste referentiehoogte) weergegeven. In macrocellen 6 en 7 is sinds 1961 sprake van een doorgaande en vrijwel continue toename van het areaal geul. Tot begin jaren tachtig ging de toename van het areaal geul in gelijke mate ten koste van het areaal plaat en het areaal ondiepwater. Na begin jaren tachtig stabiliseerde het plaatareaal, maar bleef het areaal ondiepwater afnemen.

5.3 De Overloop van Valkenisse en het Nauw van Bath

In macrocel 6 wordt de hoofdgeul gevormd door het Nauw van Bath, die naar het westen overgaat in de Overloop van Valkenisse en naar het oosten in de Pas van Rilland. In de binnenbocht van het Nauw van Bath ligt een ondiepte met daarin een vloedschaar, de Schaar van de Noord. De hoofdgeul en de Schaar van de Noord vormen de noordelijke begrenzing van het Land van Saeftinge. Het land van Saeftinge is een schorregebied, dat wordt doorsneden door vertakkend patroon van steeds kleiner wordende krekken. Drie grote krekken vormen de toe- en afvoergeulen voor de drainage van het schor. Deze grote krekken hebben een noordnoordwest-zuidzuidoost oriëntatie. Direct ten zuiden van de Schaar van de Noord is het Land van Saeftinge een onbegroeide slik.

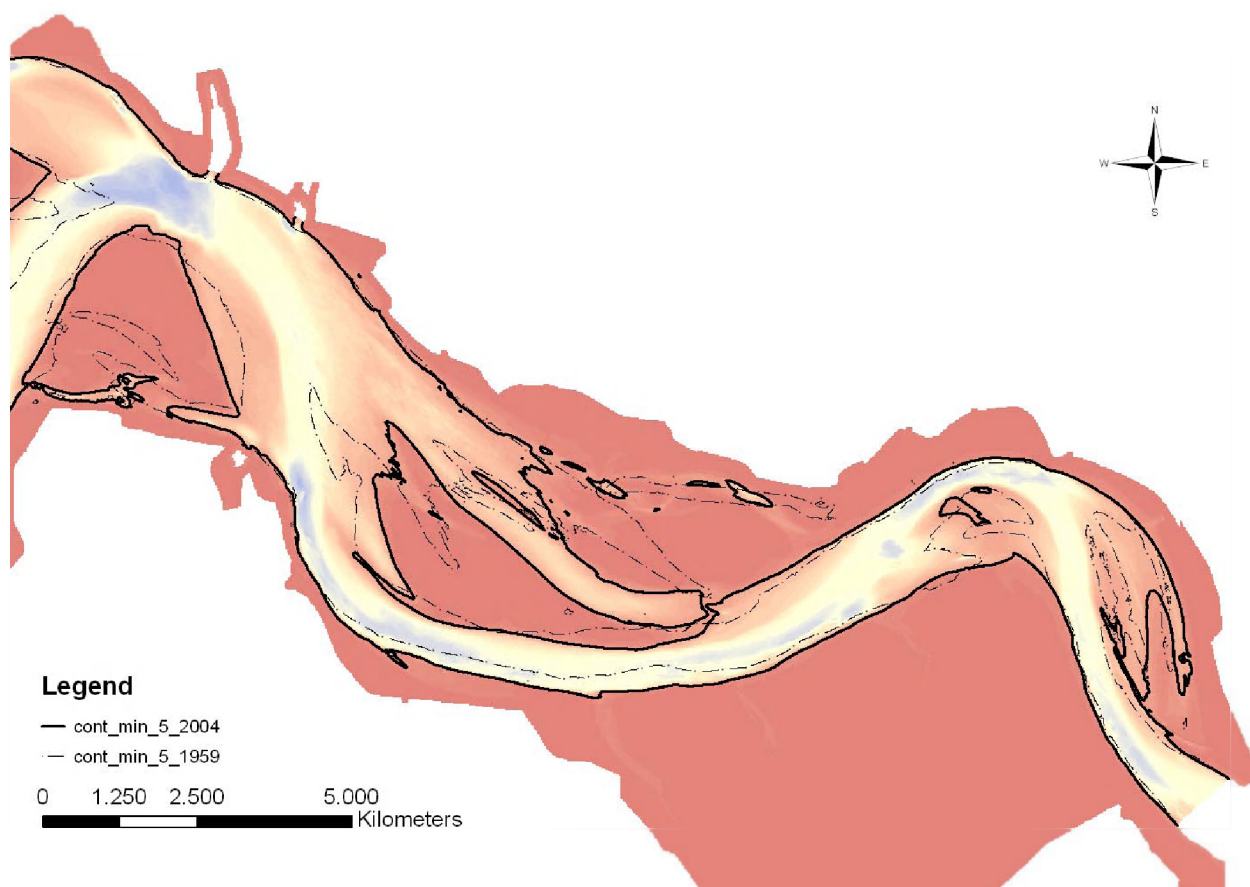
De ligging van de hoofdgeul is voor een belangrijk deel tot stand gekomen in de loop van de 19^e en 20^e eeuw, door het uitbochten van de hoofdgeul. Het Nauw van Bath is steeds verder naar het noorden komen te liggen en de Overloop van Valkenisse is verder naar het zuiden verschoven (figuur B5.5). De verplaatsing van de buitenbochten is vertraagd door de aanwezigheid van veenlagen en mogelijk door onderliggende moeilijk erodeerbare lagen. De verplaatsing van de buitenbochten is tot stilstand gebracht door het aanbrengen van steenbestortingen op de geulwanden.



Figuur B5.5: Kaart met de contouren van de noordoever van de hoofdgeul bij macrocel 5 en 6 in de periode 1818 tot 2004 (op de bodemligging 2004).

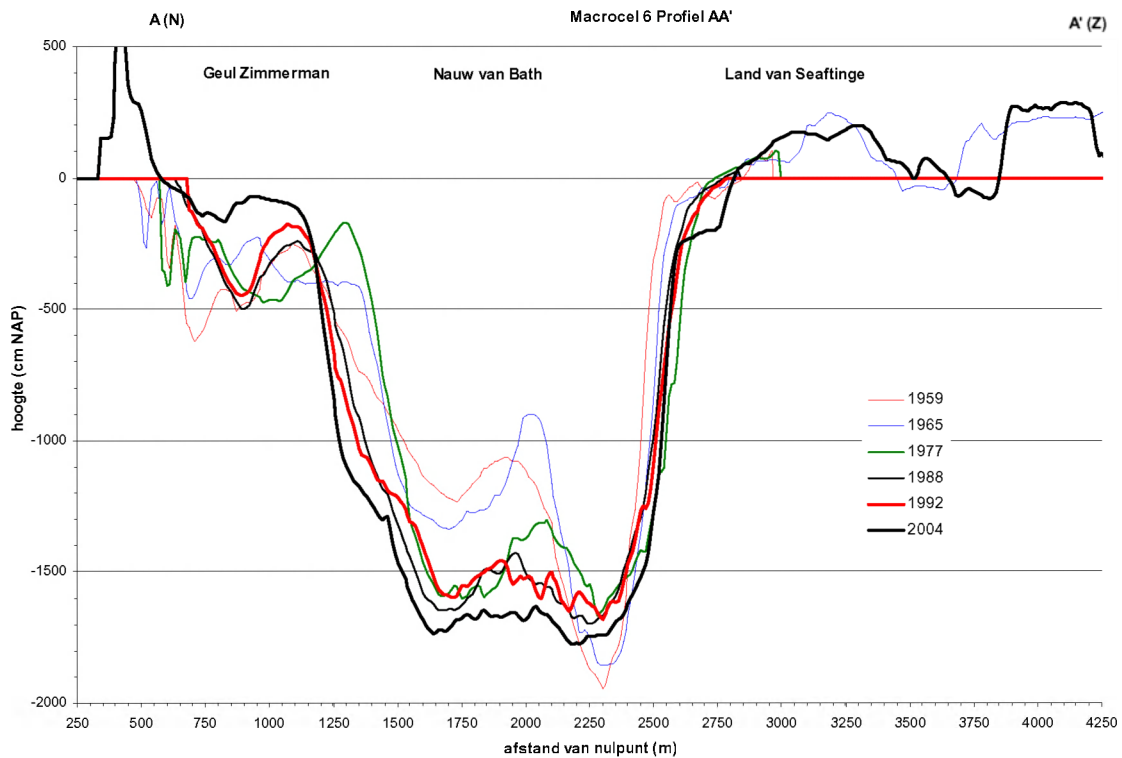
Ontwikkeling

De kaart van de contouren van het GLMWS in de periode 1959 tot 2005 (figuur B4.6) laat weinig variatie zien in macrocel 6. Alleen rond de Schaar van Noord is de contour van het GLMWS in de loop van de jaren verschoven. De droogvallende plaat ten noorden van de vloed-schaar is geheel verdwenen. Ook de contour van de NAP –10 meter lijn (figuur B4.15) laat weinig ontwikkelingen zien in het gebied. In figuur B5.6 is de ligging van de NAP –5 meter dieptelijn weergegeven, waarin te zien is dat de smalle delen van de geul breder zijn geworden, dat aan de noordwestzijde van het Land van Saeftinge enige erosie heeft plaatsgevonden. Ook blijkt uit de ligging van de NAP –5 meter dieptelijn dat de Schaar van de Noord dieper is geworden.

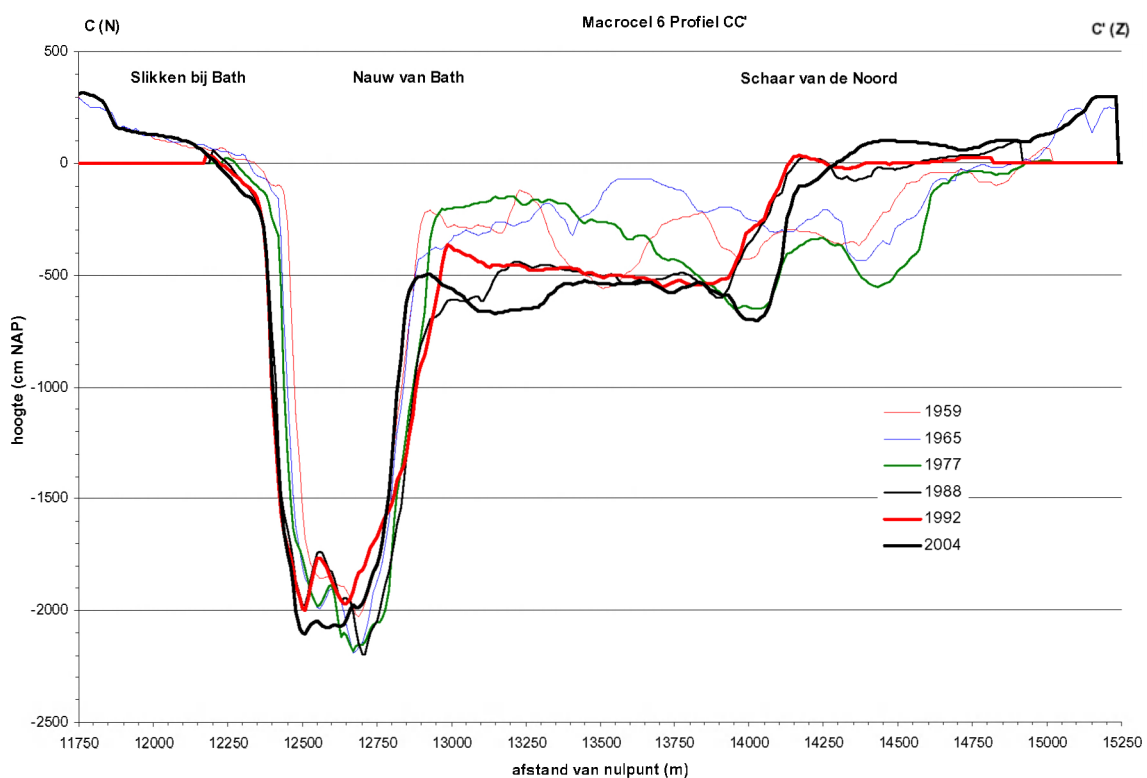


Figuur B5.6: Kaart met de contouren van het NAP –5 meter in het Nauw van Bath, de Pas van Rilland en het Verdrongen land van Saeftinge en de aangrenzende macrocel 5 in de jaren 1959 en 2004.

Deze ontwikkelingen zijn ook zichtbaar in de dwarsdoorsneden door de hoofdgeul en de Schaar van de Noord (figuren B5.7 en B5.8). In figuur B5.7 is in dwarsdoorsnede AA' zichtbaar dat de hoofdgeul breder is geworden doordat aan de zuidzijde de geulwand naar het zuiden is verplaatst en aan de noordzijde de geulwand naar het noorden is verplaatst. De ontwikkeling aan de noordzijde is stapsgewijs verlopen, waarschijnlijk omdat deze verplaatsing samenhangt met de veranderingen in de ligging van geulen en platen op de Platen van Valkenisse rond Geul Zimmerman. De geleidelijke uitbochtiging aan de zuidzijde is in de jaren negentig tot stilstand gekomen, doordat de geulwand is gefixeerd met bestortingen.



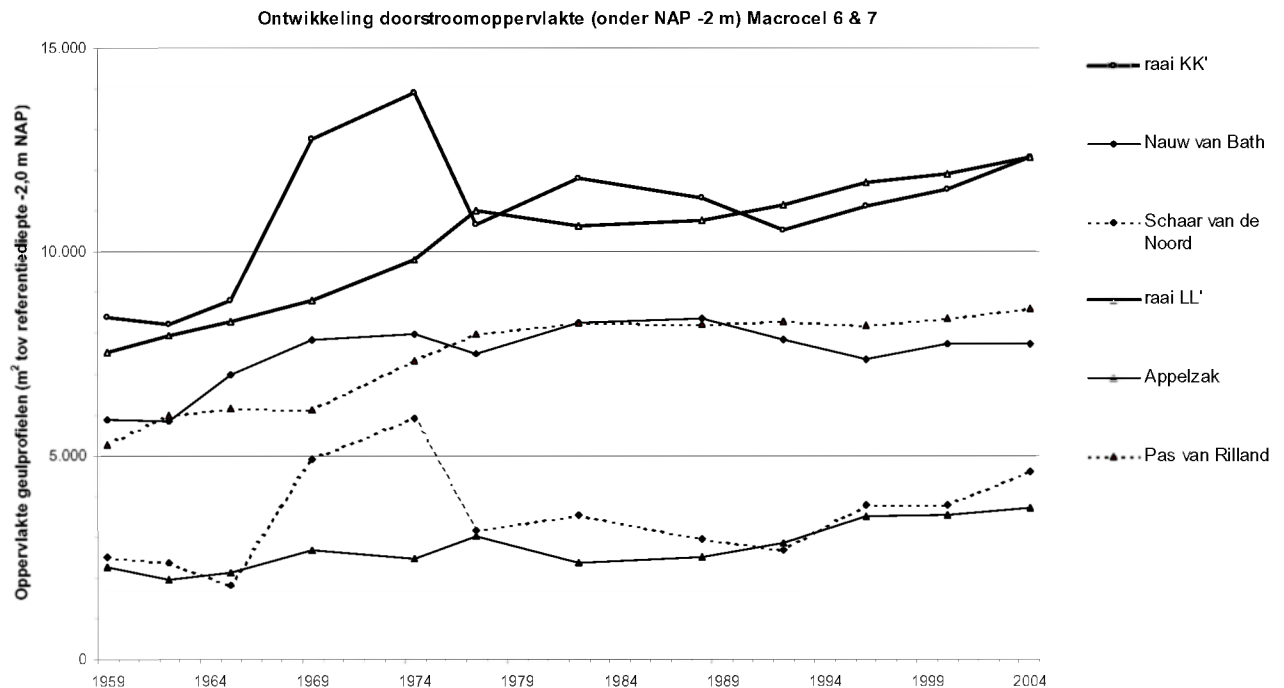
Figuur B5.7a: Dwarsdoorsnede van de Overloop van Valkenisse – Nauw van Bath (dwarsdoorsnede AA' van macrocel 6 en 7) in verschillende jaren (locatie in figuur 4.5).



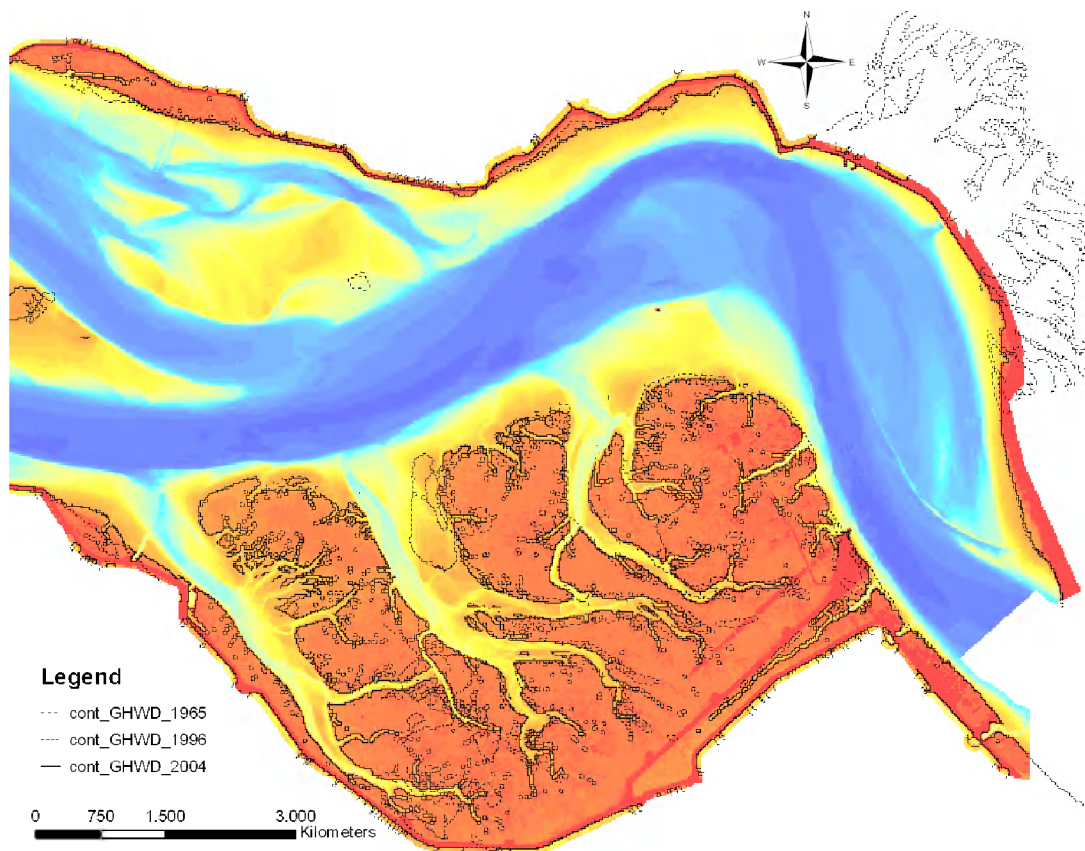
Figuur B5.7b: Dwarsdoorsnede van het Nauw van Bath en de Schaar van de Noord (dwarsdoorsnede CC' van macrocel 6 en 7) in verschillende jaren (locatie in figuur 4.5).

In figuur B5.7b is in dwarsdoorsnede CC' zichtbaar dat het Nauw van Bath op deze locatie niet breder is geworden, omdat de noord- en zuidzijde van de geul in gelijke mate naar het noorden zijn verschoven. Heel duidelijk is te zien dat voor de jaren negentig de Schaar van de Noord over de volle breedte bestond uit een afwisseling van ondiepe en diepe delen, waarvan de locatie in de tijd veranderde. Na de jaren negentig bestaat de noordelijke helft van de Schaar van de Noord uit een diepe noordelijke helft (diepte rond de NAP -5 meter) en een ondiepe zuidelijke helft (diepte rond de NAP -0 meter). Het doorstroomoppervlakte (onder NAP -2 m) van de geulen in macrocellen 6 en 7 is weergegeven in figuur B5.8. De toename van de grootte hoofdgeulen is duidelijk zichtbaar in deze grafiek.

De kaart van de contouren van het GHMWD (figuur B5.9) geeft een beeld van de ontwikkelingen in het Land van Saeftinge. De contour van het hoogwater valt samen met de overgang van de kreken naar de schorren. De schorren liggen dus boven hoogwater en overstromen alleen bij zeer hoge waterstanden. Deze waterstanden treden op bij springtij en door opstuwing van het water onder stormcondities. De ligging van de contour van het GHMWD is tussen 1965 en 2004 nauwelijks veranderd. De locatie van de kreken in het Land van Saeftinge ligt min of meer vast. Deze plaatsvastheid is ook zichtbaar in de een dwarsdoorsnede door het Land van Saeftinge (figuur B5.11). Wat in deze dwarsdoorsnede ook opvalt is de toename van de hoogte van de schorren en de kreken. Het hele Land van Saeftinge is in de periode 1965 tot 2004 ruwweg een halve meter hoger geworden.

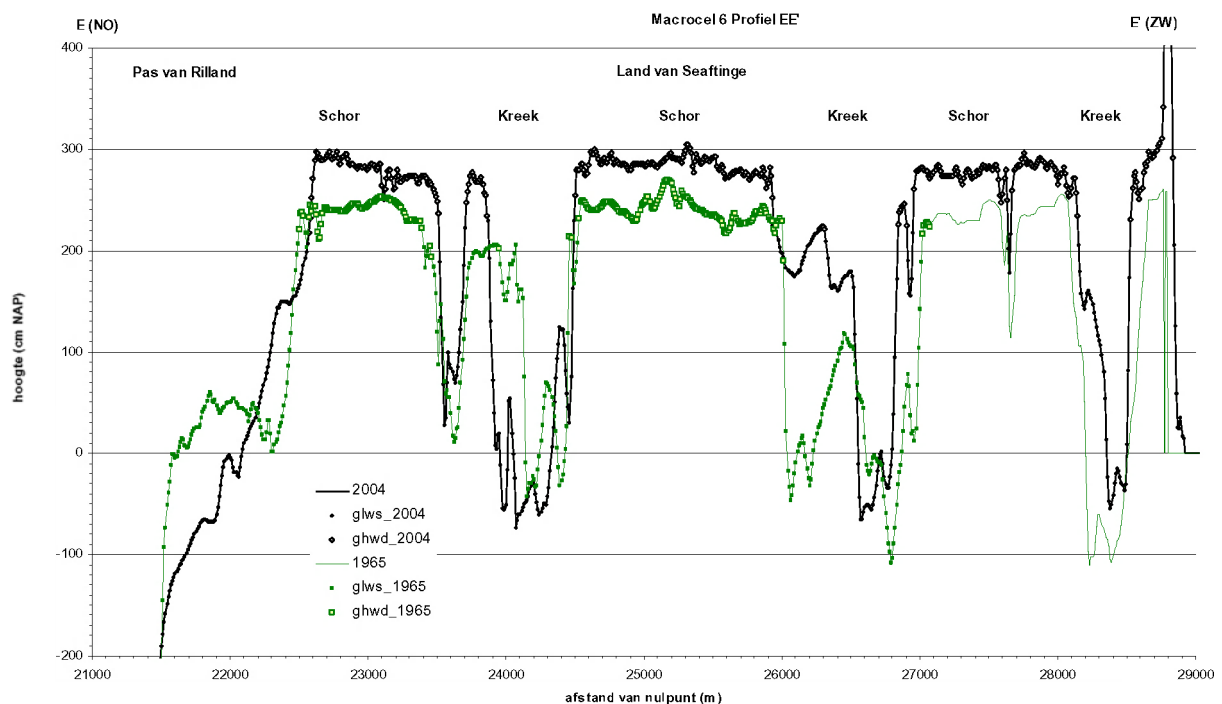


Figuur B5.8: Grafiek met de ontwikkeling van het oppervlakte (in m²) van de dwarsdoorsneden van macrocellen 6 en 7. De locatie van de raaien is gegeven in 4.4

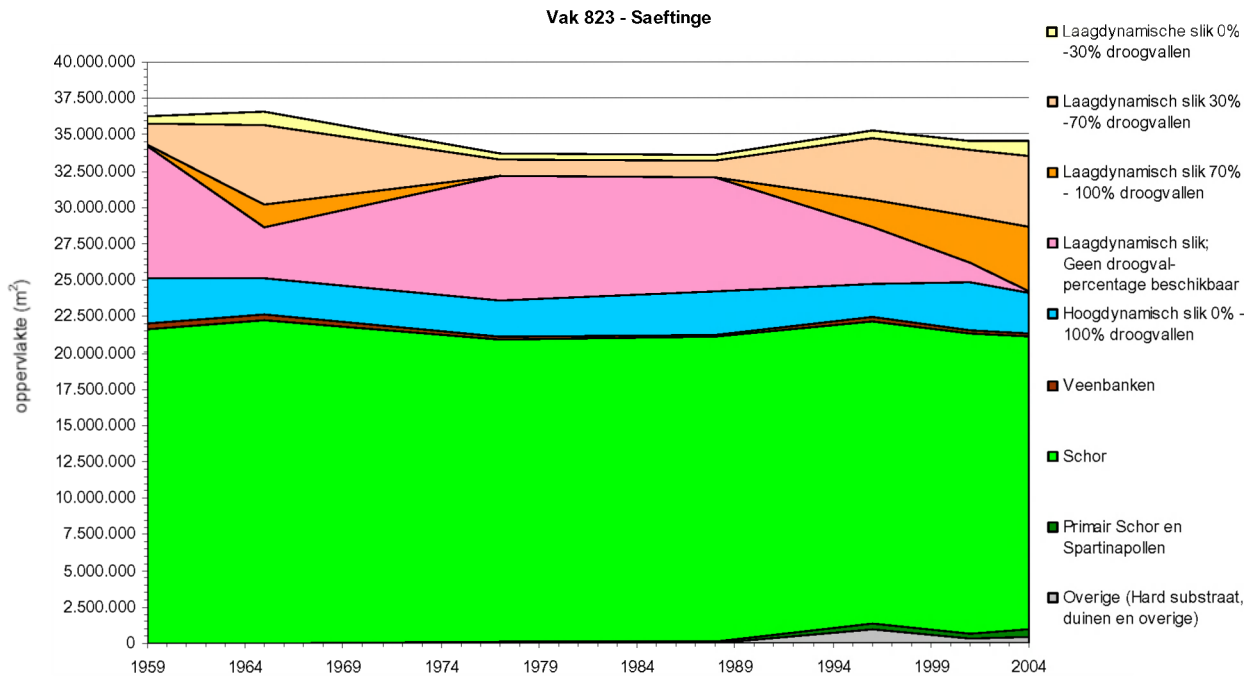


Figuur B5.9: Kaart met de contouren van de GHMWD niveaus in het Nauw van Bath, de Pas van Rilland en het Verdronken land van Saeftinghe en de aangrenzende macrocel 5 in de periode 1965, 1996 en 2004 (voor andere jaren is geen hoogte-informatie van het Land van Saeftinghe beschikbaar).

De ontwikkeling van het areaal in de verschillende ecotopen klassen (figuur 5.11) laat weinig fluctuaties en veranderingen zien. De afname van het totale areaal na 1965 is het gevolg van inpolderingen. De inpoldering van een deel van het schor werd in de jaren negentig ongedaan gemaakt en dit leidt tot een toename van het areaal. Het primaire schor met de schorkreken van het Land van Saeftinge maakt het grootste deel uit van het droogvallende areaal. De verhouding tussen het areaal hoog- en laagdynamische slikken varieert in de tijd, maar verschuift niet in bepaalde richting. Harde uitspraken over deze ontwikkelingen zijn niet mogelijk door het relatief grote aandeel waarvan de droogvalpercentages ontbreken. Langs de randen van het Land van Saeftinge liggen al tenminste vanaf de jaren vijftig veenranden bloot, die een natuurlijke geulwandbescherming vormen.



Figuur B5.10: Dwarsdoorsnede door het Land van Saeftinge (dwarsdoorsnede EE' van macrocel 6 en 7) in verschillende jaren (locatie in figuur 4.5).

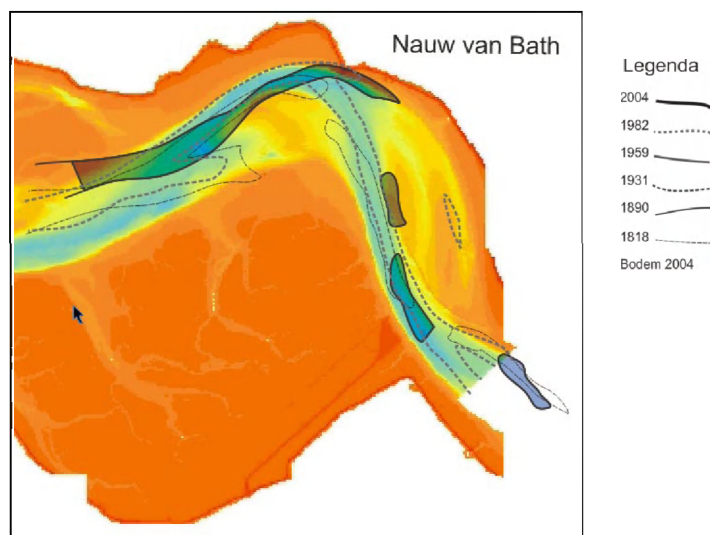


Figuur B5.11: Ontwikkeling van het areaal per ecotopenklasse voor het Land van Saeftinge (vak 823, locatie van het vak in figuur 4.2).

5.4 De Pas van Rilland en de Appelzak

In de meest oostelijke bochtgroep van de Westerschelde wordt de hoofdgeul gevormd door de Pas van Rilland. Door de aanleg van de stroomgeleidingsdam is de nevengeul Appelzak veranderd in een kleine vloodschaar. Voor de jaren zestig was de Appelzak de nevengeul in deze macrocel.

De vorm van deze macrocel is in de loop van de 19^e eeuw tot stand gekomen (figuur B5.12). Voor 1931 was nog sprake van een eb- en vloodschaar die werden gescheiden door een ondiepe drempel. Nadat de verbinding tussen de twee scharen tot stand is gekomen is het belang van de nevengeul afgenomen.

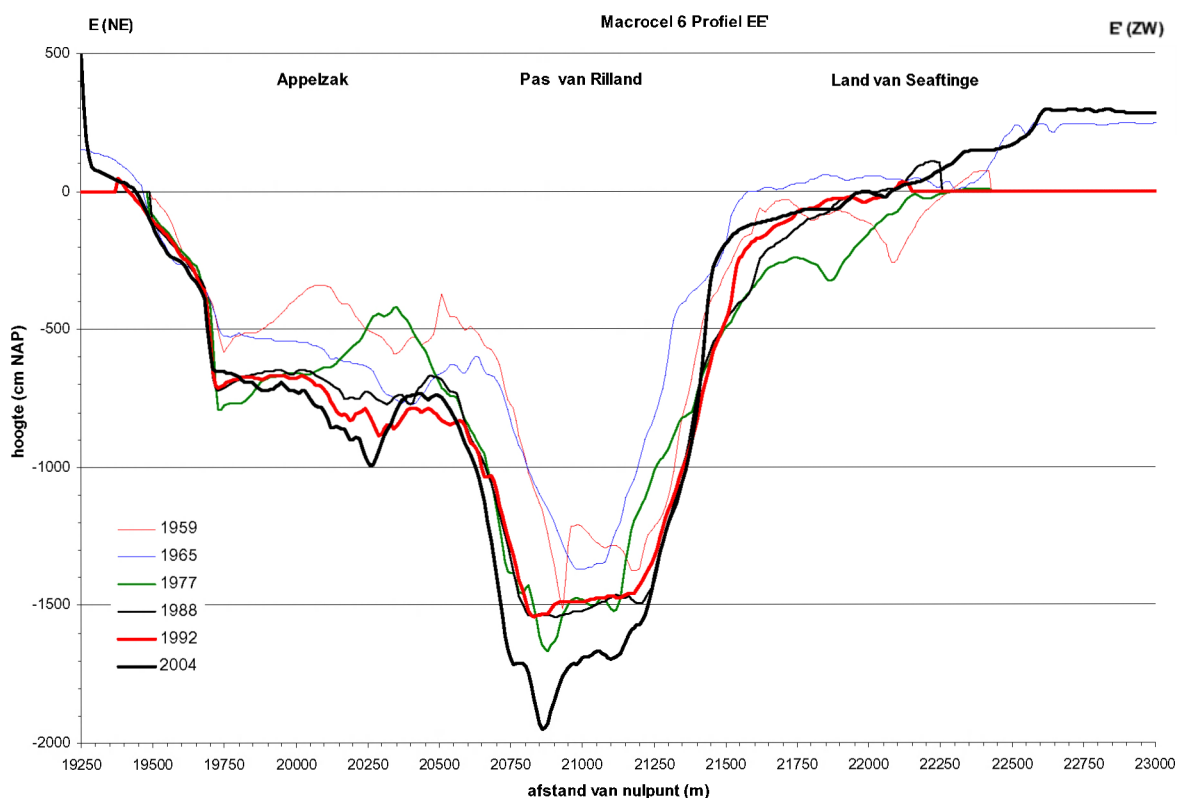


Figuur B5.12: Kaart met de contouren van het nauw van Bath en de Pas van Rilland bij macrocel 5 en 6 in de periode 1818 tot 2004 (op de bodemligging 2004).

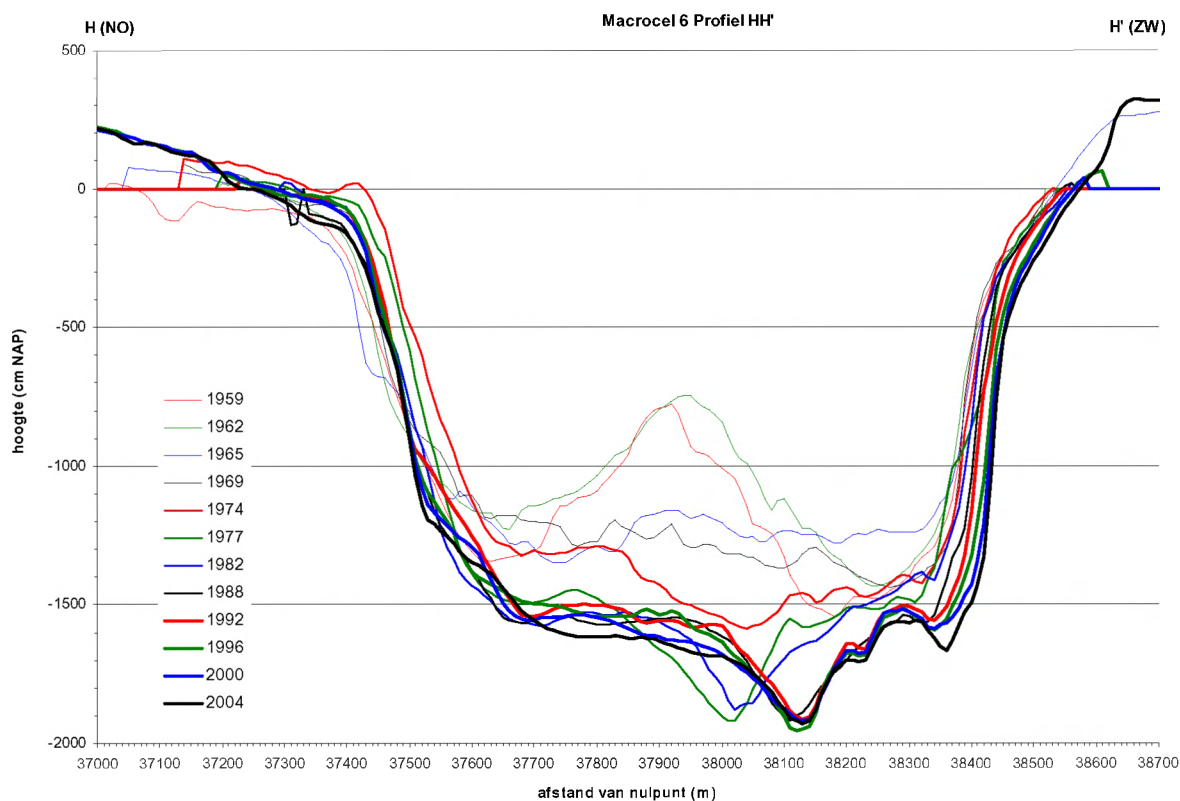
Ontwikkeling

De Pas van Rilland is zeer plaatsvast, zoals zichtbaar is op de kaarten met de verschillende contouren (figuren B4.6, B4.15, B4.16 en B5.6). De geul is op sommige locaties enigszins breder geworden. De contour van de NAP –15 meter laat het effect van de verdieping zien, deze contour omsloot in 1959 nog enkele diepere delen van de geul en loopt in 2004 ononderbroken langs beide oevers.

Het effect van de verruimingswerkzaamheden is ook zichtbaar in de dwarsdoorsneden van de geul. In dwarsdoorsnede EE' in figuur B5.13 is zichtbaar dat de Pas van Rilland op deze locatie zowel dieper als breder is geworden in de periode 1959 tot 2004. In dwarsdoorsnede HH in figuur B5.14 is zichtbaar dat de geul in dezelfde periode iets breder is geworden en dat de drempel is opgeruimd, zodat de gehele geulbodem nu onder de NAP –15 meter ligt.



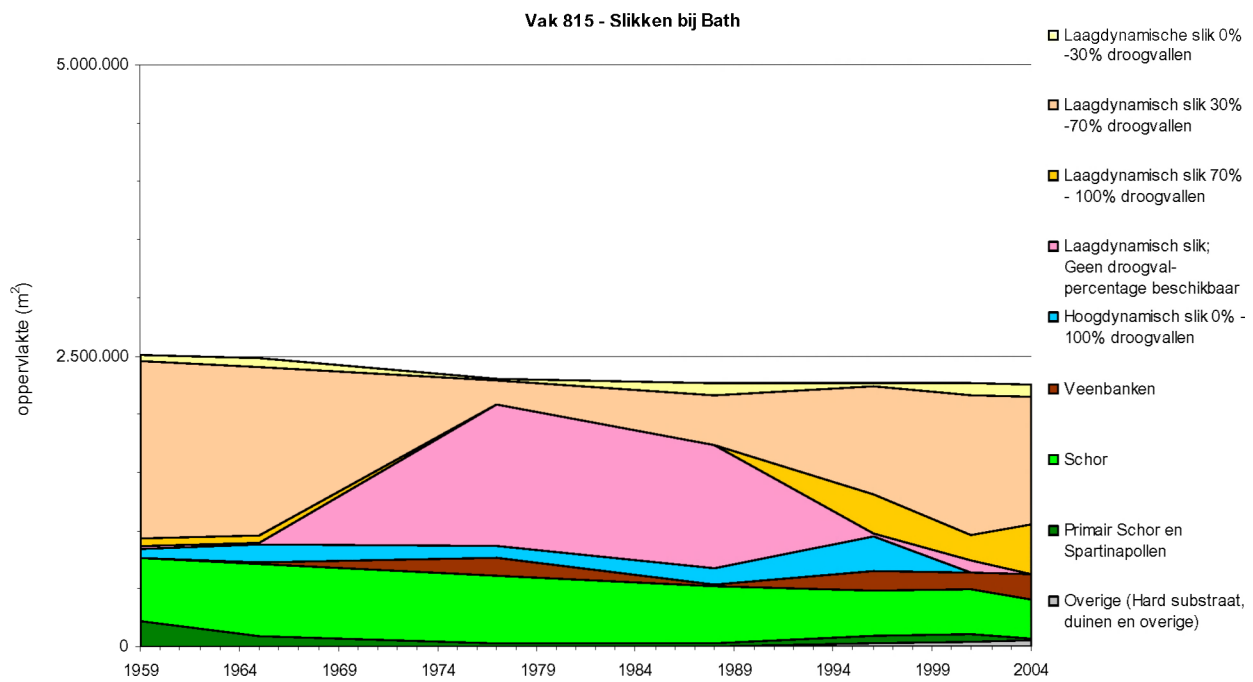
Figuur B5.13 Dwarsdoorsnede van de Pas van Rilland en de Appelzak (dwarsdoorsnede EE' van macrocel 6 en 7) in verschillende jaren (locatie in figuur 4.5).



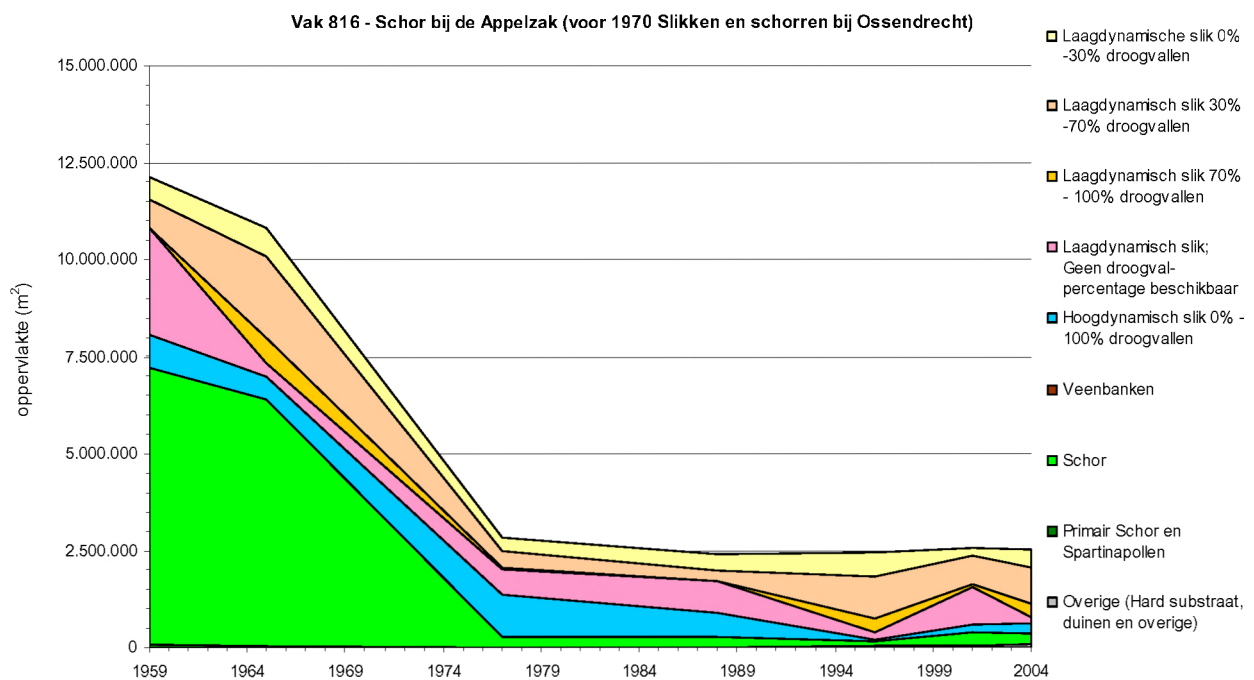
Figuur B5.14: Dwarsdoorsnede van de Pas van Rilland (dwarsdoorsnede HH' van macrocel 6 en 7) in verschillende jaren (locatie in figuur 4.5).

Het gebied ten noordwesten van de geleidingsdam is in de loop der tijd steeds dieper komen te liggen. In 1959 was nog sprake van twee ondiepe geultjes met tussenliggende ondieptes, zoals zichtbaar is in dwarsdoorsnede EE' (figuur B5.13). Na 1982 ligt het gehele gebied in deze dwarsdoorsnede beneden de NAP – 5 meter. In de contour van de NAP – 5 meter in figuur B5.6 is zichtbaar dat het patroon van de twee vloedschaartjes die het gebied insteken naar het zuiden is opgeschoven. De plaat boven GLMWS (in figuur B4.6) is mee opgeschoven naar het zuiden en beduidend kleiner geworden. Dat het gebied van de Appelzak gemiddeld dieper is geworden is ook te herleiden uit de afname van het sedimentvolume in het gebied (figuur B5.3).

De ontwikkeling van het areaal in de verschillende ecotopenklassen in het gebied aan de noordoever van macrocellen 6 en 7 is weergegeven in figuur B5.15a en b. De ontwikkeling ten oosten van de Appelzak wordt gedomineerd door de grote afname van het areaal na 1965 (figuur B5.15b). Het droogvallende areaal aan de noordzijde van de Pas van Rilland en de Appelzak is in de jaren zestig meer dan gehalveerd door de inpoldering van het schor in deze hoek. Hiermee is een areaal schor van ruim $8 \times 10^6 \text{ m}^2$ verdwenen. Na deze afname blijft het totale droogvallende areaal in het gebied min of meer gelijk. De verhouding hoog- en laagdynamisch is verschoven naar meer laagdynamische slikken. De omvang van de slikken bij Bath is vrijwel constant in de onderzochte periode (figuur B5.15a).

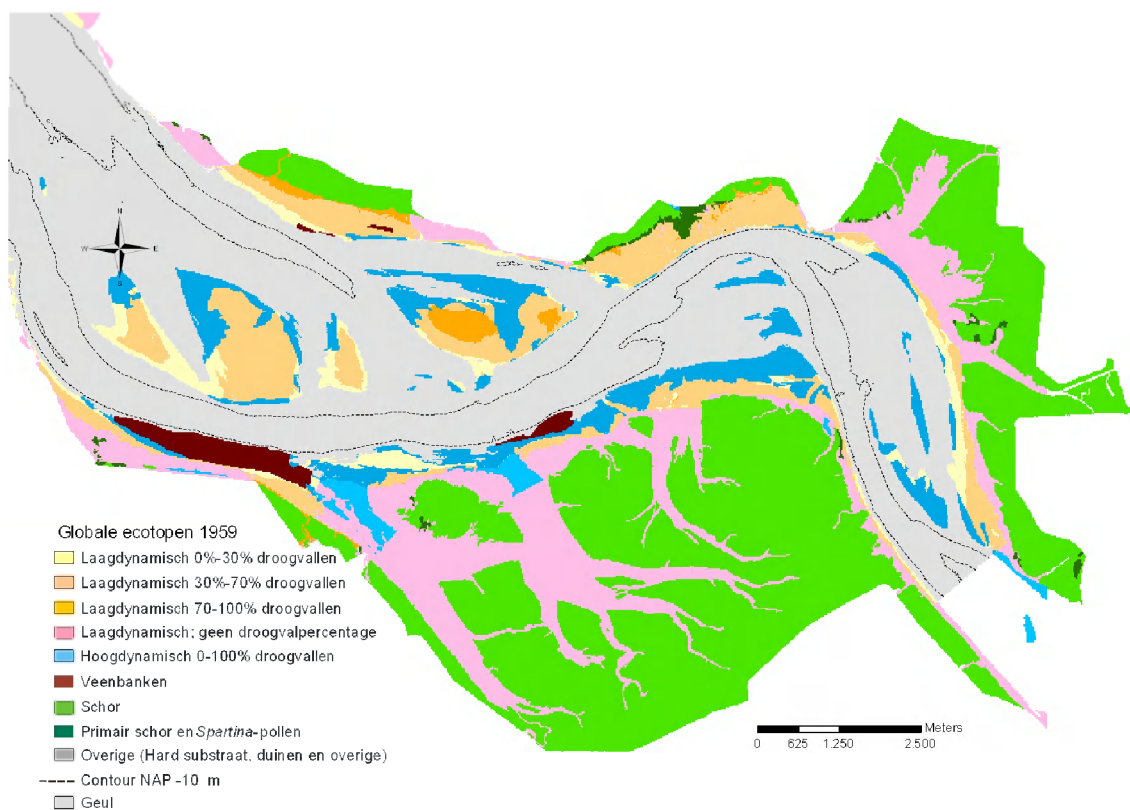


Figuur B5.15a: Ontwikkeling van het areaal per ecotopenklasse voor de noordelijke oever bij macrocel 6 en 7, waaronder slikken en schorren bij Bath en (vak 815, locatie van het vak in figuur 4.2).

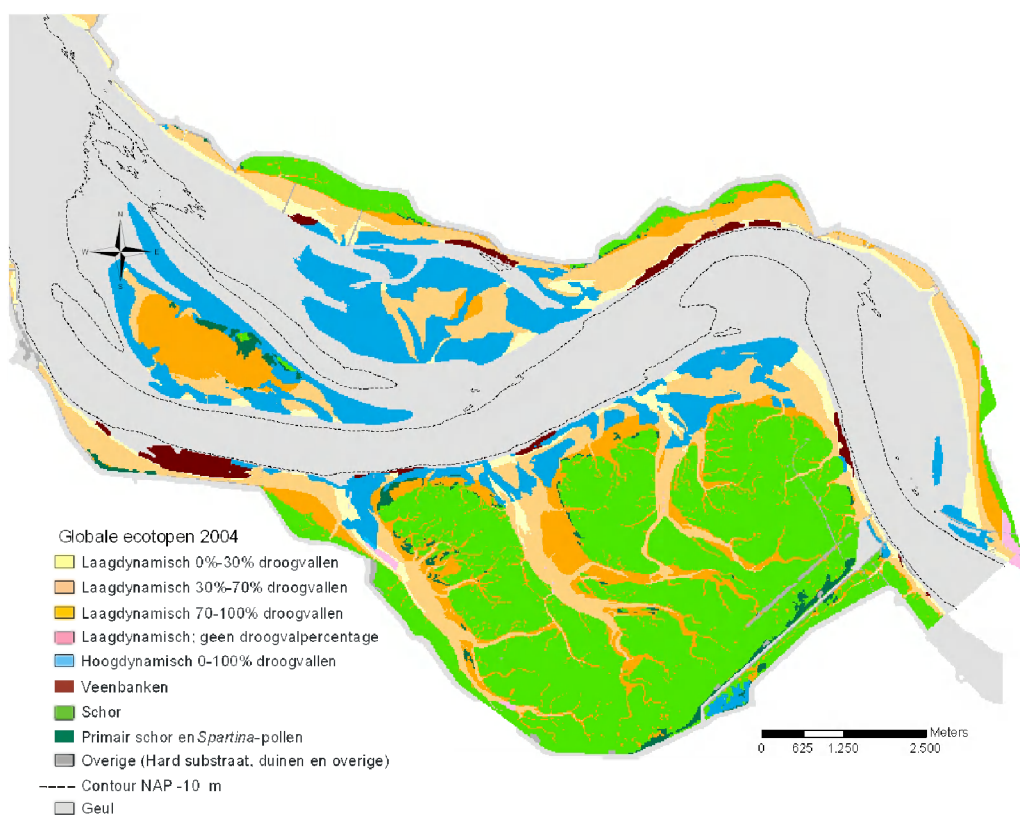


Figuur B5.15b: Ontwikkeling van het areaal per ecotopenklasse voor de noordelijke oever bij macrocel 6 en 7, de slikken en schorren bij de Appelzak (vak 816, locatie van het vak in figuur 4.2).

In de figuren B5.16 en B5.17 zijn de ecotopenkaarten van respectievelijk 1959 en 2004 weergegeven. Het aantal platen is in 1959 groter dan het aantal platen in 2004. In 2004 liggen op de Schaar van de Noord in het geheel geen platen en in de Appelzak ligt nog een kleine plaat.



Figuur B5.16: De ecotopencarta van de macrocellen 5, 6 en 7 in 1959.



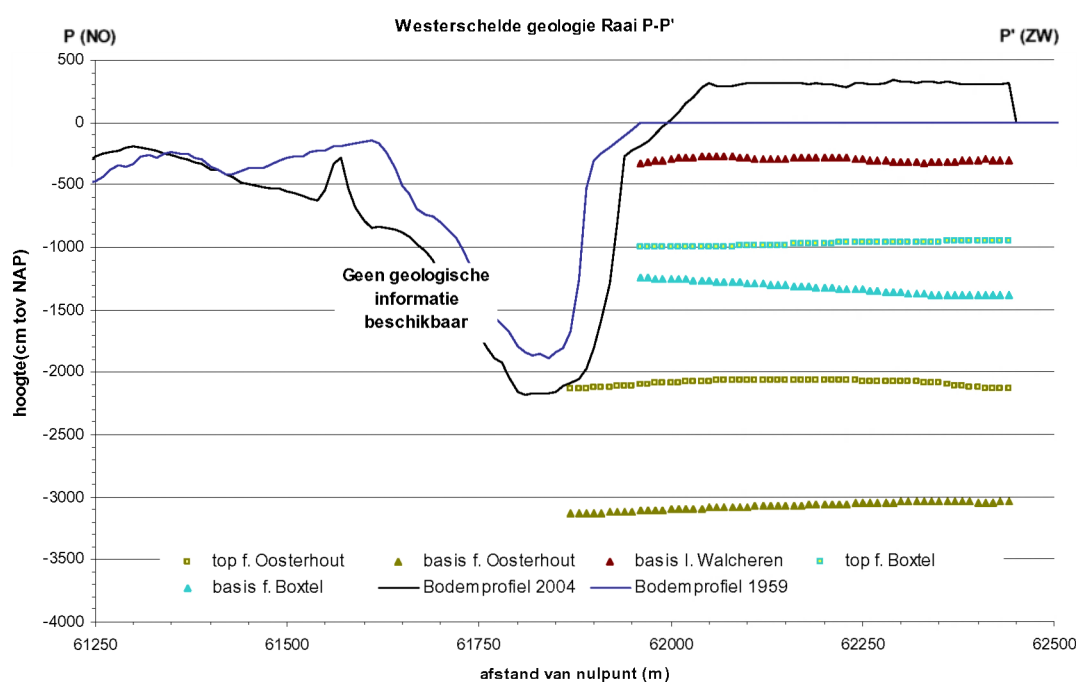
Figuur B5.17: De ecotopencarta van de macrocellen 5, 6 en 7 in 2004.

Het areaal hoogdynamische platen en slikken ligt voornamelijk langs overgang van geul naar plaat en van geul naar slik. Bij het platencomplex van Valkenisse lag het hoogdynamische areaal in 1959 nog voornamelijk aan de noordwestzijde van de verschillende platen. In 2004 ligt het hoogdynamische areaal aan alle zijden van de platen op de overgangen van geul naar plaat.

5.5 Analyse van de ontwikkelingen

Moeilijk erodeerbare lagen

Langs de oevers van de Westerschelde komen in deze bochtgroepen op verschillende plaatsen veenbanken aan de oppervlakte. Deze banken dragen vaak de sporen van menselijke activiteiten uit de Middeleeuwen, in de vorm van ontginningspatronen in het veen en restanten van bewoning. Deze veenbanken en de onderliggende oudere harde lagen hebben de migratie van de geulbochten waarschijnlijk vertraagd. Onder een belangrijk deel van het Land van Saeftinge liggen moeilijk erodeerbare lagen, met uitzondering van de plekken waar in het verleden geulen zijn ingesneden in de ondergrond.



Figuur B5.18: Dwarsdoorsnede PP' van de Pas van Rilland en het Land van Saeftinge, met de uit boringen geïnterpoleerde aanwezigheid van moeilijk erodeerbare lagen. Alleen de lagen die niet zijn geërodeerd door geulen zijn aangegeven). De locatie van het dwarsdoorsnede is weergegeven in figuur 4.3).

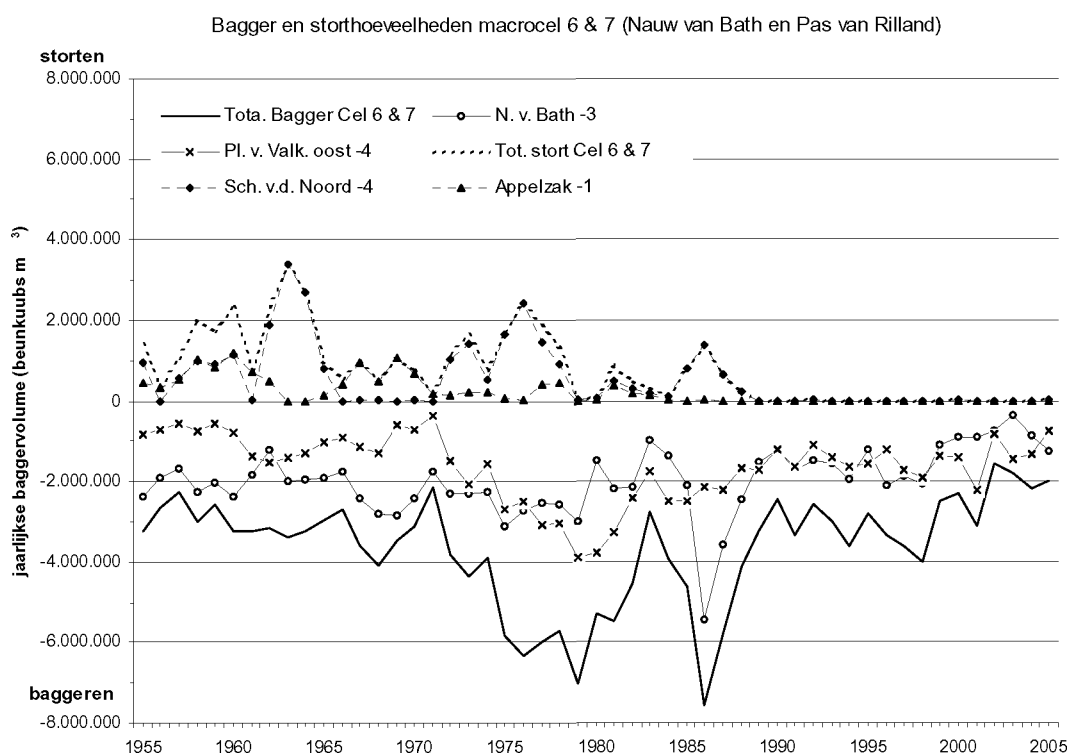
Op de schaal van de gehele Westerschelde duiken de oudere geologische formaties van zuidoost naar noordwest weg. In de omgeving van macrocel 7 bevinden de oude formaties zich daarom relatief dicht onder het oppervlak. Dit is bijvoorbeeld zichtbaar in de dwarsdoorsnede PP' (figuur B5.18), waar de Formatie van Oosterhout zich op een diepte van – 20 meter bevindt.

Meer naar het zuidwesten, in België, bevindt deze laag zich enkele meters onder het maaiveld, zoals zichtbaar bij de ontgraving van de dokken bij Doel (bijvoorbeeld in Meersschaert et al, 2006).

De moeilijk erodeerbare lagen hebben hier mogelijk een belemmering gevormd voor de geul om te verdiepen. Ook kunnen deze lagen ervoor hebben gezorgd dat de diepste insnijding van de geul min of meer werden vastgelegd. Dat de diepste delen van de geul tegenwoordig tot in de moeilijk erodeerbare lagen van de Formatie van Oosterhout snijden is het gevolg van de verdiepingswerkzaamheden.

Menselijke ingrepen

Menselijke ingrepen bepalen in deze bochtgroepen voor een belangrijk deel de morfologische ontwikkelingen. De hoofdgeul wordt door baggeren op de vereiste nautische breedte en diepte gehouden. Tijdens de verschillende verdiepingen en verruimingen is hierdoor de geul gemiddeld dieper en breder geworden. Het totale baggervolume bedraagt in de periode 1959 tot 2004 ruim $173 \times 10^6 \text{ m}^3$ op de verschillende locaties.

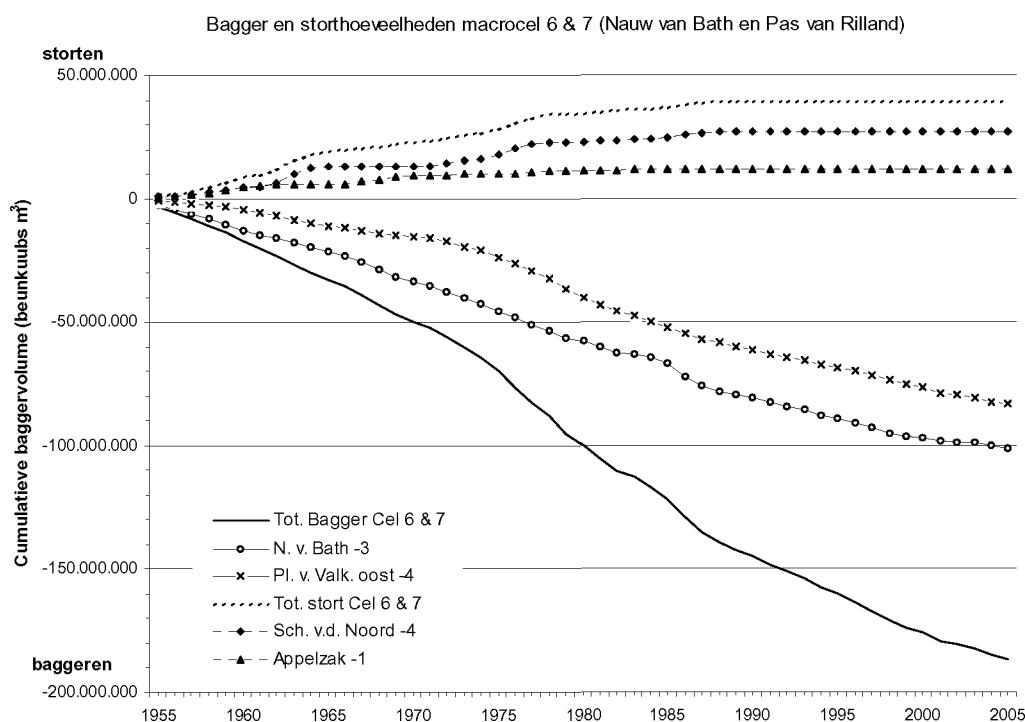


Figuur B5.19: Grafiek met de jaarlijkse stortvolumes (positief) en baggervolumes (negatief) in macrocel 5 en in de verschillende bagger- en stortgebieden in de periode 1955 tot 2005.

In het gebied ligt verschillende stortlocaties in de buurt van het Land van Saeftinge. Op de stortlocatie die bekend staat als het Konijneschor ten noordwesten van het Land van Saeftinge is in de periode 1959 tot 1998 ruim $37 \times 10^6 \text{ m}^3$ gestort en direct ten westen daarvan nog eens ruim $58 \times 10^6 \text{ m}^3$ (beide locatie liggen in macrocel 5, de baggervolumes zijn weergegeven in figuur B4.24 en B4.25). Ten noorden van het Land van Saeftinge is bij de Schaar van de Noord in de periode van 1959 tot 1988 ruim $24 \times 10^6 \text{ m}^3$ sediment gestort.

Na 1988 is op deze locatie geen sediment meer gestort en na 1997 is op de locaties ten westen van het Land van Saeftinge geen sediment meer gestort. Het storten van in totaal ruim $120 \times 10^6 \text{ m}^3$ sediment heeft mogelijk mede bijgedragen aan de toename van het sedimentvolume van het land van Saeftinge.

De aanleg van de stroomgeleidingsdam bij de Appelzak heeft de aan- en afstroming in het gebied gewijzigd. Waarschijnlijk is de afname van het sedimentvolume in het gebied in de hand gewerkt door de aanleg van de dam. De aanleg van bestortingen op verschillende locaties heeft de ligging van de geul in verschillende buitenbochten gefixeerd.



Figuur B5.20: Grafiek met de cumulatieve stortvolumes (positief) en baggervolumes (negatief) in macrocellen 6 en 7 en in de verschillende bagger- en stortgebieden in de periode 1955 tot 2005.

Sedimentaansvoer naar het Land van Saeftinge

Het Land van Saeftinge is in de periode 1965 tot 2004 ruwweg een halve meter hoger geworden. Deze toename van de hoogte betreft zowel het oppervlakte van de schorren als de bodem van de grote en kleine kreek (figuur B5.10). In de loop van de jaren is veel sediment aangevoerd naar het Land van Saeftinge en daar afgezet. Deze aanvoer is mogelijk geholpen door het storten van baggerspecie bij het Konijnschor. Ook na het beëindigen van deze stortingen is de sedimentatie doorgegaan. De schorren en de kreek van het Land van Saeftinge fungeren blijkbaar als een 'sediment trap' die het aangevoerde sediment vasthoudt.

5.6 Samenvatting van de ontwikkelingen

Tegenwoordig bevatten macrocel 6 en 7 geen platen meer. In het verleden hebben bij de Schaar van Noord en de Appelzak kleine platen gelegen. Het areaal platen en slikken is in de periode van 1959 tot 1977 afgenomen met meer dan $1 \times 10^6 \text{ m}^2$ en is daarna toegenomen in de periode tot 1988. Het areaal ondiepwater is afgenomen met bijna $3 \times 10^6 \text{ m}^2$ en het areaal geulen is toegenomen met bijna $4 \times 10^6 \text{ m}^2$.

Bijlage 6: Geomorfologische kaarten

Standaardlegenda geomorfologie ten behoeve van geomorfologische karteringen op basis van luchtfoto's

D.J. de Jong; 27 februari 2006

Inleiding/aanleiding

Om inzicht te krijgen in de ontwikkelingen in intergetijdengebieden vormen geomorfologische kaarten een belangrijk hulpmiddel. Deze geven een beeld van de vormen aan het oppervlak van de droogvallende gebieden, en deze vormen geven belangrijke informatie over de hydrodynamiek ter plaatse. Deze hydrodynamiek is weer van belang voor de leefmogelijkheden van bodemdieren en via deze voor de fourageermogelijkheden van vissen en vogels. Omdat hydrodynamische modellen voor de droogvallende delen in getijdenwateren (nog steeds) onvoldoende betrouwbaar zijn, kunnen geomorfologische kaarten een belangrijk alternatief hiervoor zijn. Geomorfologische kaarten van droogvallende gebieden worden gemaakt met behulp van luchtfoto's.

Voor de geomorfologische karteringen is een standaardlegenda ontwikkeld. Deze is hiërarchisch opgebouwd op basis van begroeiing, hydrodynamiek en substraat. In de tabel is het volledige overzicht opgenomen. De meeste legenda-eenheden komen in alle getijden wateren voor, maar enkele onderdelen komen alleen in enkele getijdenwateren voor of alleen in een bepaalde periode. Bijvoorbeeld: litorale mosselbanken zijn nu nog alleen aanwezig in de Waddenzee, waren in de Oosterschelde alleen in het verleden aanwezig en zijn in de Westerschelde nooit op luchtfoto's aangetroffen; kwelderwerken zijn nu nog alleen in de Waddenzee en Dollard te vinden, maar waren in het verleden ook in de Westerschelde aanwezig.

In dit document wordt de standaardlegenda nader toegelicht. Eerst wordt de globale hiërarchie van de legenda beschreven. Daarna wordt kort beschreven wat er onder de verschillende legenda-eenheden wordt verstaan en wordt een karakteristiek gegeven van de hydrodynamische condities en de ligging in het veld.

Toelichting legenda

De standaardlegenda is primair verdeeld op basis van begroeiing en globale ligging, schorren (S), platen en slikken (P) en grote krekens in schorren (K) met daarnaast hardsubstraat (H) en overig (O). Binnen de schorren wordt verder verdeeld op basis van de mate van begroeiing; binnen de platen/slikken en grote krekens wordt verder verdeeld op basis van de hydrodynamiek (mate van hydrodynamische energie). Hard substraat wordt verder verdeeld op basis van de aard van het substraat, natuurlijk of cultureel.

De termen hoog- en laagenergetisch of ook wel hoog- en laagdynamisch voor een plaat/slik vraagt een korte toelichting. Deze term heeft hier betrekking op de mate van bodembeweging als gevolg van de dagelijkse getij-invloeden en golven, inclusief golven tijdens zware stormen. Het komt tot uiting in de mate waarin de bodem van dag tot dag in beweging is, mate van beweging en diepte. Een plaatdeel wordt hoogdynamisch genoemd indien de bodem zodanig in beweging is dat er voor bodemdieren weinig leefmogelijkheden zijn. De belangrijkste voorbeelden zijn megaribbels en hoogdynamische vlakke delen langs plaatranden.

Een andere vorm van dynamiek is die waarbij wordt gekeken naar de mate waarin een plaat/slik zich verplaatst of in hoogte verandert. Deze vorm van dynamiek wordt hier niet bedoeld.

Eenzijds omdat deze niet in de luchtfoto's of direct in het veld is waar te nemen en anderzijds omdat deze vorm van dynamiek door bodemdieren heel anders wordt ervaren. Bijvoorbeeld als een plaat geleidelijk in een jaar 100 meter opschuift door erosie en sedimentatie aan respectievelijk de voor- en achterzijde kan dat morfologisch als hoogdynamisch worden gezien. Maar als de bodem op die plaat nauwelijks in beweging komt ervaart een bodemdier deze plaat toch als laagenergetisch, laagdynamisch en zijn er geen of weinig serieuze hydrodynamische beperkingen voor een bodemdier. Hetzelfde geldt als een plaat ieder jaar 5 centimeter verhoogt of juist verlaagt, zonder dat de bodem voortdurend in beweging is. Ook dan ervaart een bodemdier dat veelal als laagdynamisch en zijn er geen of weinig beperkingen om er te leven.

S, SCHORREN

Hier is altijd sprake van (enige) vegetatie; onbegroeide vakken in kweldervakken vallen onder P. Open plekken worden alleen uitgekarteerd als deze substantieel van omvang zijn.

S1: schor, gesloten vegetatie

Hieronder vallen de schorren met een bedekking >50 procent. In principe worden de kreken ook bij de schorren gerekend, tenzij het hele grote kreken betreft, die qua omvang eerder functioneren als een slik dan als een schorkreek. Deze grote kreken worden apart onderscheiden als K, zie aldaar. Een voorbeeld van dergelijke grote kreken zijn de grote schorkreken in Saeftinge.

Onderscheid wordt gemaakt in natuurlijke schorren (S1a) en kwelderwerken (S1b). De laatste worden gekenmerkt door de aanwezigheid van rijshouten dammen, enzovoort en komen tegenwoordig alleen nog voor in het Waddengebied. In het verleden kwamen ze echter ook voor in de Westerschelde (Zuid Sloe).

Wanneer zich grote open plekken voordoen in een schor, worden deze apart gekarteerd als S1c.

S2: schor, open vegetatie

Hieronder vallen twee subcategorieën: S2a, het primair schor met een vegetatiebedekking tussen 10 procent en 50 procent, en S2b, de gebieden met een ijle vegetatie die gekarakteriseerd wordt door een open pollenstructuur, bedekking <10 procent en meer dan 10 pollen per hectare. Gebieden met minder dan 10 pollen per hectare vallen onder P1 of K1.

S3: indifferente kreken

Dit betreft alle kreken die groot genoeg zijn om apart uit te karteren, maar kleiner zijn dan de categorie die onder K valt (zie daar verder). Een globale grens tussen S3 en de groep onder K is een kreekbreedte van 500 meter.

Een simpele schorindeling is: schor = S1 + S3 en primair schor = S2a. S2b kan als aparte eenheid 'pollen' worden meegenomen of worden samengevoegd met bijvoorbeeld P1b of K1b (slibrijke zandige slikken). De categorie K kan afhankelijk van de vraag worden gezien als onderdeel van schor of als aparte eenheid worden beschouwd (parallel aan P).

K: GROTE SCHORKREKEN

Deze categorie heeft betrekking op de grote kreken zoals deze bijvoorbeeld in Saeftinge voorkomen. Deze kreken zijn qua omvang en functie meer te vergelijken met een slik dan met een kleinere schorkreek (S3) in de kleinere schorren in bijvoorbeeld de Westerschelde of Oosterschelde.

Omdat het voor sommige opties handig is om deze kreken als schorkreek te bestempelen en voor andere als slik, hebben ze een aparte aanduiding op het eerste niveau gekregen. Op de volgende niveaus is de indeling identiek aan die van P, platen en slikken, behalve enkele eenheden die niet in K voorkomen. Zie verder bij P.

P: PLATEN EN SLIKKEN

Dit betreft de onbegroeide platen en slikken. De bodem kan variëren van zand tot zeer slibrijk, afhankelijk van enerzijds de hydrodynamiek en anderzijds het slibaanbod via het water. De hoofdindeling is in laag- en hoogdynamische delen.

P1: platen en slikken, laagdynamisch

Dit zijn de laagdynamische slikken en platen. Laagdynamisch wil zeggen laagdynamisch qua mate van bodembeweging van de bovenste bodemlaag. Als regel loopt deze parallel met een lage hydrodynamiek (stroomsnelheden en/of golven). In de Westerschelde zijn er echter voorbeelden van een combinatie van hoge stroomsnelheid met lage bodemdynamiek (voorbeeld: slik bij Zuidgors). Daar is door een nog onbekende reden de bodem 'opgeladen' met een hoog slibgehalte, waardoor de cohesie van de bodem zo groot is geworden, dat ondanks de hoge stroomsnelheid de bodem toch niet in beweging komt. Mogelijk spelen neren hierbij een rol, samen met het hoge slibgehalte van het water.

Binnen P1 wordt onderscheid gemaakt in 4 categorieën: vlak, P1a, laag golvend reliëf, P1b, mosselbanken, P1c en kale kwelderwerkvakken, P1d.

P1a betreft de vlakke delen binnen de platen en slikken. Er kan enig reliëf zijn door kleine golfribbels of hoopjes van wadpieren. Indien de hydrodynamiek erg laag is kunnen die wadpierhoopjes samen met de instroomopeningen van de wadpier leiden tot een vrij sterk reliëf van bulten en laagten waarin veel water blijft staan. Dit komt bijvoorbeeld voor in diverse hydrodynamisch heel rustige delen in de Oosterschelde.

P1a wordt naar de bodemsamenstelling van de bovenste 10 centimeter onderscheiden in zandige delen, P1a1, en slibrijke delen, P1a2. Het verschil ligt ruwweg bij een slibgehalte van 10 procent delen <56 millimeter.

P1b is laagdynamisch intergetijdengebied met een laag golvend reliëf. Het betreft laagenergetische gebieden waar door een bepaalde langdurige golfinvloed een reliëf ontstaat van lage brede ruggen waartussen vochtige 'valleien'. De bodem wordt per getij slechts gering geroerd zodat hiervan geen beperkingen uitgaan voor bodemdieren; schelpen kunnen begroeid raken met groenwieren.

Op de luchtfoto lijkt het om lage megaribbels te gaan, maar dan gelegen op plaatsen waar geen megaribbels zouden worden verwacht, bijvoorbeeld op grote afstand van de geul, tegen de dijk. Het type is in het veld herkenbaar aan de golvingen, waar een normale bodemdierfauna aanwezig is en waar vaak ook groenwieren op schelpen groeien.

Voorbeelden: Oosterschelde: Rattekaai-west., Slikken van de Dortsman zuidoost van Stavenisse.

Zie ook artikel L.M.J.U. van Straten, Megaripples in the Dutch Wadden Sea and the Basin of Arcachon (France); *Geologie en mijnbouw*, 1953, nummer 1 p 1-11.

Een tweede categorie is mogelijk de lage ruggen die op sommige slikken zijn te vinden en die zich langzaam verplaatsen, met snelheden van tientallen meters per jaar. Van deze groep is echter weinig bekend over oorzaak van deze beweging en gevolgen voor bodemdieren. Deze komt onder andere voor op het slik bij Zuidgors in de Westerschelde.

P1c betreft mosselbanken, zowel natuurlijke banken als percelen. Bij percelen kan dit worden aangeduid met de letter a (antropogeen).

P1d betreft de kale (delen van) vakken in de kwelderwerken. Als regel zijn dit slibrijke delen.

P2: platen en slikken, hoogdynamisch

Dit zijn de hoogdynamische delen van de platen en slikken. Door de sterke waterbeweging (golven en/of stroomsnelheid) is de bovenlaag van de bodem sterk in beweging waardoor het voor bodemdieren erg moeilijk is hier te leven. Er worden primair vier categorieën onderscheiden, gegolfd reliëf, P2a, megaribbels, P2b, vlakke delen, P2c en ruggen, P2d.

P2a, Hoogdynamisch intergetijdengebied met een laag golvend reliëf

Het betreft hier lage zandgolven met een grote golflengte. Ze kunnen in principe op twee manieren ontstaan:

a) op plaatsen (veelal langs een geul of in een priel) waar kortdurend hogere stroomsnelheden voorkomen, waardoor slechts kort megaribbelvorming optreedt en deze ribbels niet hoog worden; de diepte waarop de bodem wordt geroerd blijft hierdoor beperkt zodat dieper levende soorten zoals Wadpieren nog wel kunnen overleven, maar ondiep levende soorten niet. Voorbeeld: zuidwestrand slik zuid van St. Philipsland / Oosterschelde. Op de foto en in het veld is dit type te herkennen aan de hele lage (<25 centimeter hoog), vrij ver uit elkaar gelegen 'megaribbels'.

b) op plaatsen waar normaal weinig hydrodynamiek is, maar in het stormseizoen tijdens storm veel golfslag en stroming optreedt, waarvan de 'sporen' niet worden geëgaliseerd tijdens de rustige periode in de zomer (een soort fossiele grote golfribbels); de bodembeweging is tijdelijk (met name winter), zodat er in de zomer een soort pioniergemeenschap kan leven van kortlevende, goed migrerende soorten zoals *Corophium*. Voorbeeld: westpunt Hooge Platen Westerschelde. Dit type is op de foto herkenbaar aan een soort hersenstructuur. In het veld betreft het lage ruggen met daartussen vaak wat slibrijkere vochtige 'valleien' waarin 'pionier'-bodemdiersoorten zijn te vinden.

P2b, megaribbels

Dit type wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van grote ribbelstructuren van zand. Deze ontstaan door hoge stroomsnelheden (globaal >0,8m/s). Deze ribbels zijn bij ieder getij in beweging en verplaatsen zich in principe met de stroom mee. Door de sterke bodembeweging is hierin amper ruimte voor organismen om te leven.

Er wordt onderscheid gemaakt in 2-dimensionale ribbels (P2b1) en 3-dimensionale ribbels (P2b2). De 2-d ribbels vormen in principe een vrij regelmatig patroon van min of meer rechte ribbels, terwijl de 3-d ribbels veel onregelmatiger zijn, gebogen en vaak ook gebroken. Het verschil is de stroomsnelheid die bij 3-d ribbels groter is dan bij 2-d ribbels. Naast duidelijk te onderscheiden 2-d of 3-d vormen zijn er ook overgangen tussen beide mogelijk. De vorm van de ribbels geeft informatie over de stroomrichting: de steile kant van een ribbel is tegen de stroomrichting in gericht en de vlakke kant met de stroomrichting mee. Soms komt er op de bovenkant van de megaribbels een mini-megaribbel de andere kant op voor, een 'teruggeslagen' deel van de ribbel doordat tijdens de eb-fase kortstondig nog een hoge stroomsnelheid optreedt. Dit kan de pure vlak/steile vorm van een ribbel vertroebelen.

P2c, hoogenergetisch, vlak

Dit betreft voornamelijk gebieden langs plaatranden waar hoge stroomsnelheden kunnen optreden evenwijdig aan de plaat. Ook komt het voor op de hoogste delen van koppen van platen. Het zijn zandgebieden. Langs de plaatranden zijn ze op foto's herkenbaar aan de ligging en de vaak steile overgang van plaat naar geul. Op de koppen van de platen zijn ze herkenbaar aan de ligging direct langs of aan het eind van een megaribbelveld. De bodem ziet er altijd droog uit omdat het water goed kan wegzakken in de bodem.

P2d, ruggen

Dit zijn min of meer geïsoleerd gelegen ruggen op met name platen, maar soms ook wel op slikken. Ze liggen als een verhoging op het oppervlak. Vaak zijn ze te vinden meer naar de buitenzijde van de plaat. Ze zijn het resultaat van een samenstroming van 2 stroombanen. Er worden 2 typen onderscheiden.

P2d1, zandruggen

Incidentele fenomenen. Vermoedelijk het resultaat van zandophoppingen door samenkomen van stroombanen.

P2d2, schelpenruggen

Dit zijn schelpenophoppingen, vaak op plaatsen waar 2 stroombanen elkaar ontmoeten of als resultaat van een 'reststroom' over de plaat. Ze kunnen tot 0,5 meter en hoger worden (op de Roggenplaat, Oosterschelde, was een rug tot circa 3 meter boven NAP).

P2d3, schelpenruggen tegen dijk

Dit is een wat andere vorm van schelpenrug, namelijk gelegen tegen/op de dijkglooiing. Het betreft ophoppingen van schelpen met meer of minder zand gemengd in hoeken van dijken. Omdat deze van belang zijn als (potentieel) broedgebied voor bijvoorbeeld plevieren worden ze apart gekarteerd.

P3, water op slik

Hier is sprake van een waterlaag op de plaat- of slikbodem, waardoor de onderliggende bodemstructuur niet zichtbaar is. Indien mogelijk worden deze zoveel mogelijk ondergebracht in een van de wel karteerbare eenheden (namelijk als deze eenheid (vrijwel) geheel in een andere gedefinieerde eenheid ligt; incidenteel is dit echter niet mogelijk).

H, HARD SUBSTRAAT

Hardsubstraat betreft zowel de natuurlijke als de antropogene harde substraten. Onder de natuurlijke harde substraten, H1, vallen de veen- en kleibanken en onder de kunstmatige harde substraten, H2, vallen de stenen glooiingen langs dijken, kribben, geulwandverdedigingen, enzovoort.

H1, natuurlijk hard substraat

Dit betreft meestal veenbanken, maar soms ook kleibanken, die dagzomen in het litoraal. Als regel ontstaan ze als door hoge stroomsnelheid (en een gebrek aan zandaanvoer) het zachte sediment wordt weggespoeld, zodat het veenpakket boven komt. Een dergelijk veenpakket is als regel erg hard en daardoor immuun tegen erosie door stroming en golfslag. Ze liggen langs de geul en veelal is de geulhelling aansluitend aan het veenpakket dan ook erg steil.

In sommige gebieden zijn in het veen duidelijke antropogene sporen terug te vinden, hetzij als echte bewoningssporen (clusters bakstenen, greppels, dijkjes, enzovoort) hetzij als uitgegraven putten vanwege moertering (veenwinning voor zout of voor brandstof). In dergelijke gevallen kan dat worden aangegeven met een a (antropogeen).

Incidenteel komen ook kleibanken voor. Dit betreft veelal oude schorresten. Deze komen zowel langs de geul voor (bijvoorbeeld Schor bij Kats in de Oosterschelde) als meer naar de dijk of ertegenaan. Zowel bij veenbanken als bij kleibanken is de begroeiing/ingroeiing door organismen erg beperkt in verband met de hardheid van de ondergrond. Er wordt geen onderscheid gemaakt in veen- of kleibank omdat dit niet mogelijk is op basis van de foto en omdat dit morfologisch en ecologisch minder relevant wordt geacht.

Onderscheid wordt gemaakt in veen- en kleibanken met weinig of veel zand erover heen: H1a (<25 procent zandbedekking) en H1b (>25 procent zandbedekking).

H2, kunstmatig hard substraat

Dit betreft door de mens gemaakte constructies van steen. Daarbij kan gedacht worden aan kribben, dijkglooiingen, geulwandverdedigingen, enzovoort. In principe wordt hier geen verder onderscheid gemaakt, omdat de ligging veelal al aangeeft welke categorie het betreft. Desgewenst kan dat echter op het volgende (derde) niveau wel gedaan worden.

D, DUINEN

Duinen komen met name voor in de meer naar zee gelegen delen. Ze worden onderscheiden in natuurlijke duinen, D1, en cultuurlijke duinen, D2. De laatste zijn door de mens aangelegd, bijvoorbeeld met een recreatieve functie.

O: OVERIG

Hieronder vallen allerlei niet natuurlijke fenomenen die in een bekken kunnen voorkomen. In eerste instantie zijn categorieën onderscheiden, O1 zanddam, O2 plateau, O3 weg, O4 kleine getijdenhaven en O5 waterberging. Grote havens worden niet als zodanig aangegeven. Er kunnen echter nog meer cijfers voorkomen dan de hiergenoemde 5. Deze kunnen indien gewenst per kaart worden toegevoegd.

VERDERE CODERINGEN

Naast de hierboven aangegeven vlakelementen kunnen ook diverse lijnelementen en puntelementen worden aangegeven op de kaart. Bij lijnelementen betreft dit:

Klif: met name schorkliffen.

Hellingknik: een relatief abrupte overgang van de hellingshoek; deze kan bijvoorbeeld voorkomen tussen P2c en P1a

Geul: grote geulen en krekken (minimale lengte tenminste 250 meter) in P en S.

Bij de puntelementen zijn dat:

->: de stroomrichting in een megaribbelpatroon.

k: kleiput op het schor.

st: steenstort; herkenbaar door zwarte vlekken en chaotische structuur.

Schema standaardlegenda geomorfologie

1	2	3	4
S	Schor/kwelder	1 Gesloten vegetatie (≥50 procent bedekking)	a Natuurlijke schorren
			b Kwelderwerken
			c Open plekken (B <25 procent binnen S1a/b)
		2 Open vegetatie (<50 procent bedekking)	a Primair schor (10 procent < B < 50 procent)
b Pollen (B < 10 procent, > 10 pollen)			
	3 Indifferente kreek		
P	Plaat/slik	1 Laagenergetisch	a Vlak
			b Laag golvend reliëf (H < 0,25 meter, L > 10 meter)
			c Mosselbank
			d Kwelderwerk, kaal
		2 Hoogenergetisch	a Gegolfd reliëf (H < 0,25 meter, L > 10 meter)
			b Megaribbels (H > 0,25 meter)
			c Vlak
			d Ruggen
		3 Water (bodem onzichtbaar)	
		K	Grote krekens in schor (bijvoorbeeld Saeftinge)
b Laag golvend reliëf (H < 0,25 meter, L > 10 meter)			

1		2		3		4	
		2	Hoogenergetisch	a	Gegolfd (H<0,25 meter, L>10 meter)		
				b	Megaribbels (H>0,25 meter)	1	2-dimensionaal
						2	3-dimensionaal
				c	Vlak		
		d	Ruggen	1	Zandrug		
				2	Schelpenrug		
				3	Schelpenrug tegen dijk		
		3	Water (bodem onzichtbaar)				
H	Hard substraat	1	Natuurlijk (veen/kleibank)	a	<25 procent zandbedekking	*	Antropogene sporen
				b	>25 procent zandbedekking	*	Antropogene sporen
		2	Cultuurlijk (glooiing/krib)				
D	Duinen	1	Natuurlijk				
		2	Cultuurlijk				
O	Overig	1	Zanddam				
		2	Plateau				
		3	Wegen/plateau				
		4	Getijdenhaven				
		5	Waterberging				

Bijlage 7: Moeilijk erodeerbare lagen

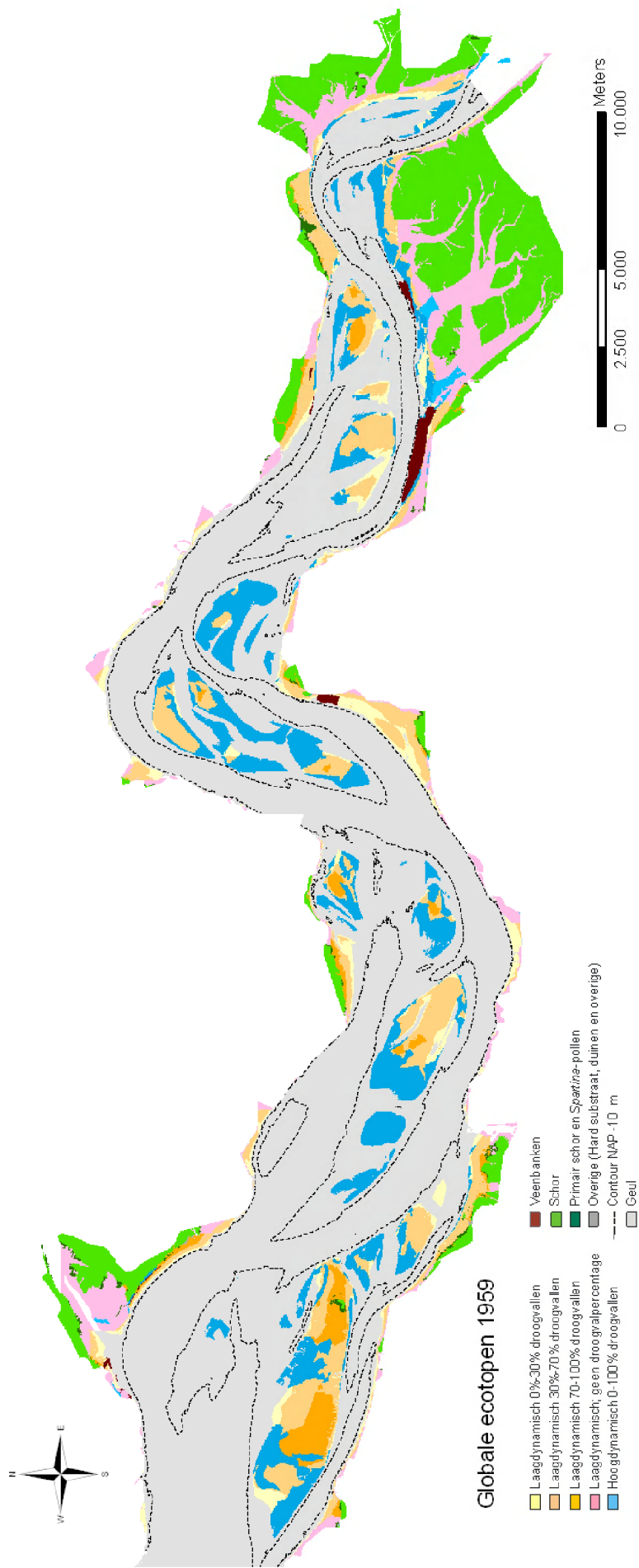
Formatie of Laagpakket	Aantal moeilijk erodeerbare lagen	Beschrijving moeilijk erodeerbare element(en)	Erodeerbare laag ook wel bekend als	Ouderdom
Laagpakket van Walcheren; Formatie van Naaldwijk	Zeer veel moeilijk erodeerbare lagen	Klei met zandlaagjes, zwak zandige tot zwak ziltige klei (met name aan de top van het laagpakket)		Holoceen
Hollandveen laagpakket; Formatie van Nieuwkoop	Eén moeilijk erodeerbare laag = laagpakket	Veen (figuur 6.5) met dikte tot enkele meters	Hollandveen	Holoceen
Laagpakket van Wormer; Formatie van Naaldwijk	Eén moeilijk erodeerbare laag	Ziltige, soms humeuze klei		Holoceen
Basisveen laagpakket; Formatie van Nieuwkoop	Eén moeilijk erodeerbare laag = laagpakket	Veen met dikte tot enkele decimeters	Basisveen	Holoceen
Formatie van Boxtel	Eén moeilijk erodeerbare laag	Decimeter dikke klei, leem en veenlagen in zand		Pleistoceen (Weichselien)
Formatie van Maassluis-Waalre	Eén moeilijk erodeerbare laag, niet overal aanwezig	Kleilagen en kleilenzen		Vroeg-Pleistoceen (Pretiglien-Tiglien)
Formatie van Oosterhout	Meerdere moeilijk erodeerbare lagen	Dikke schelpenbanken ("crag").	"crag".	Laat-Mioceen en Pliocene
Formatie van Breda	Eén moeilijk erodeerbare laag, niet overal aanwezig	Glauconiet-houdend zand		Laat-Oligoceen tot Vroeg-Pliocene.
Formaties van Rupel, Tongeren en Dongen	Allemaal compleet moeilijk erodeerbaar	Rupel: klei Tongeren: zand en klei Dongen: klei	Boomse klei (Formatie van Rupel)	Oligoceen (Fm. v. Rupel) Eocene-Oligoceen (Fm. v. Tongeren) Eocene (Fm. v. Dongen)

Tabel B7.1: Moeilijk erodeerbare lagen (naar Gruijters et al, 2004).

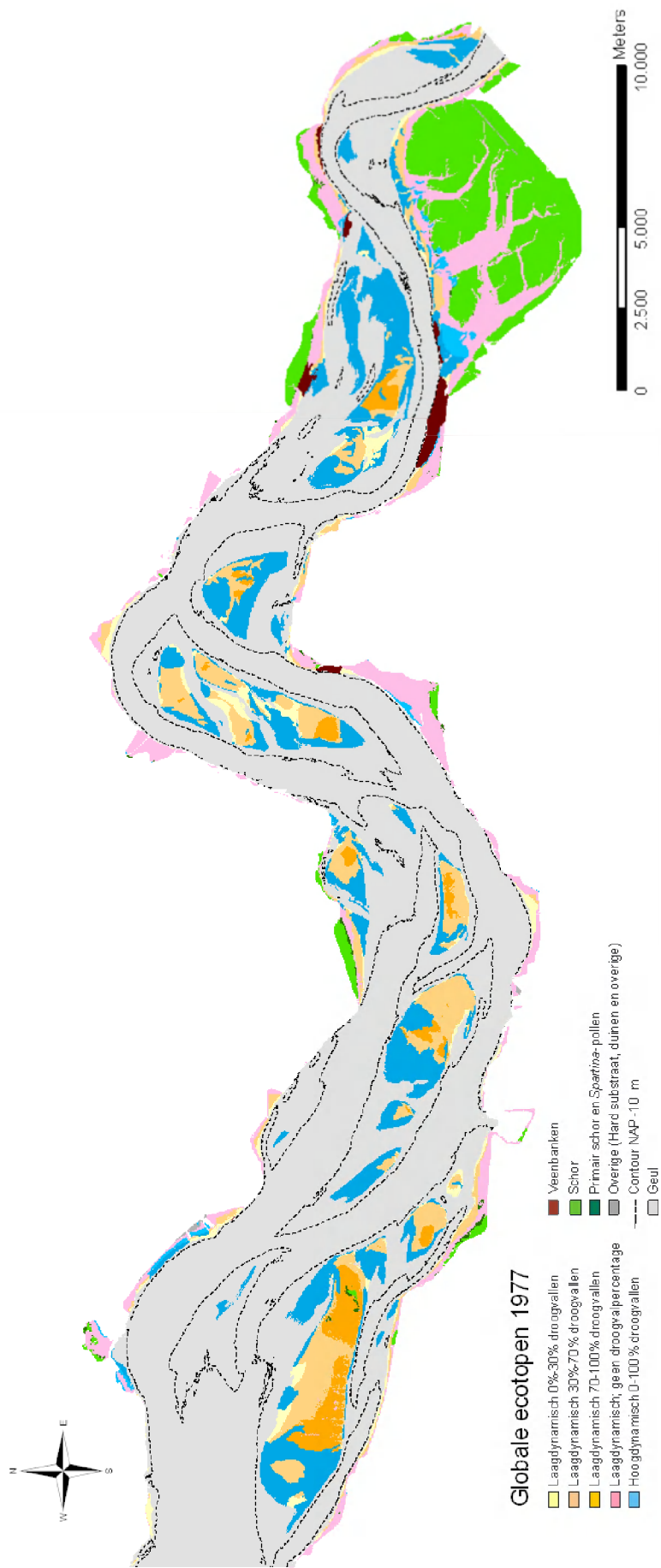
Bijlage 8: Ecotopen kaarten

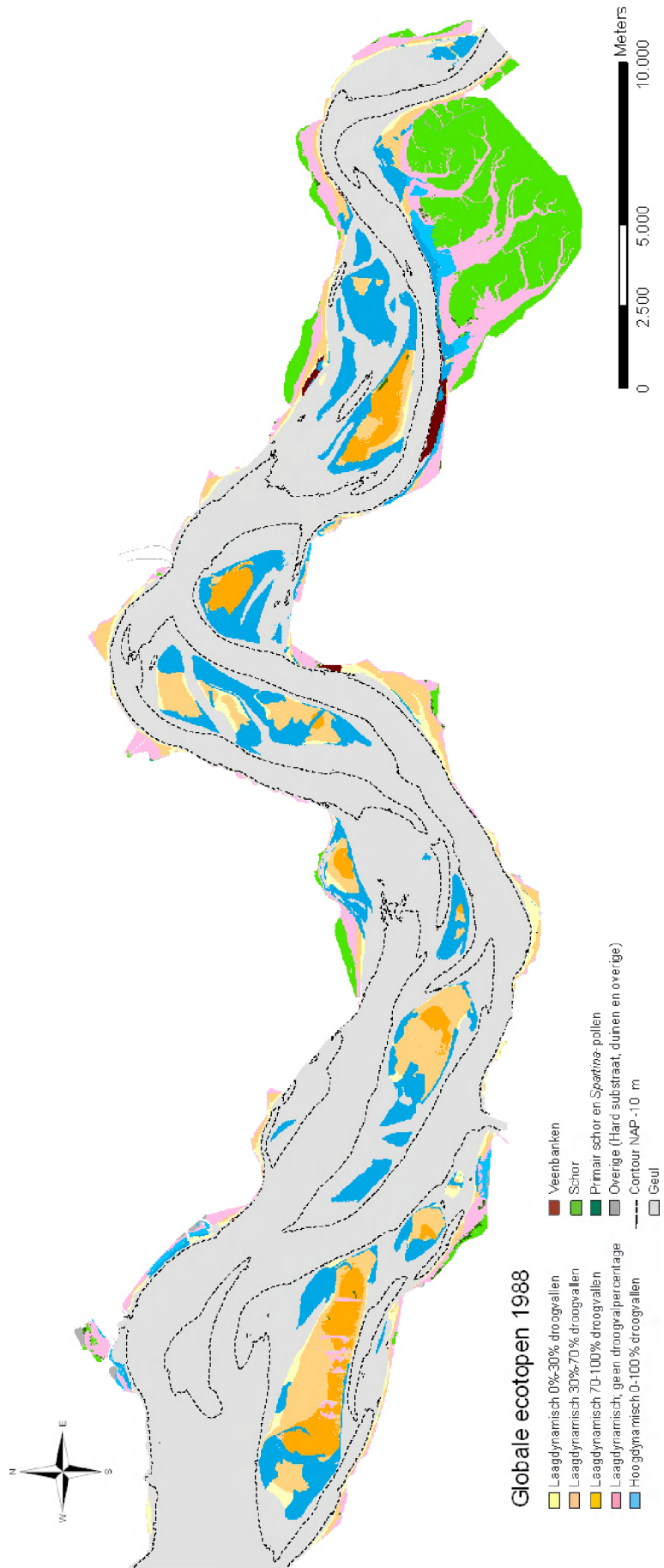
De te hanteren klassen zijn weergegeven in de onderstaande tabel:

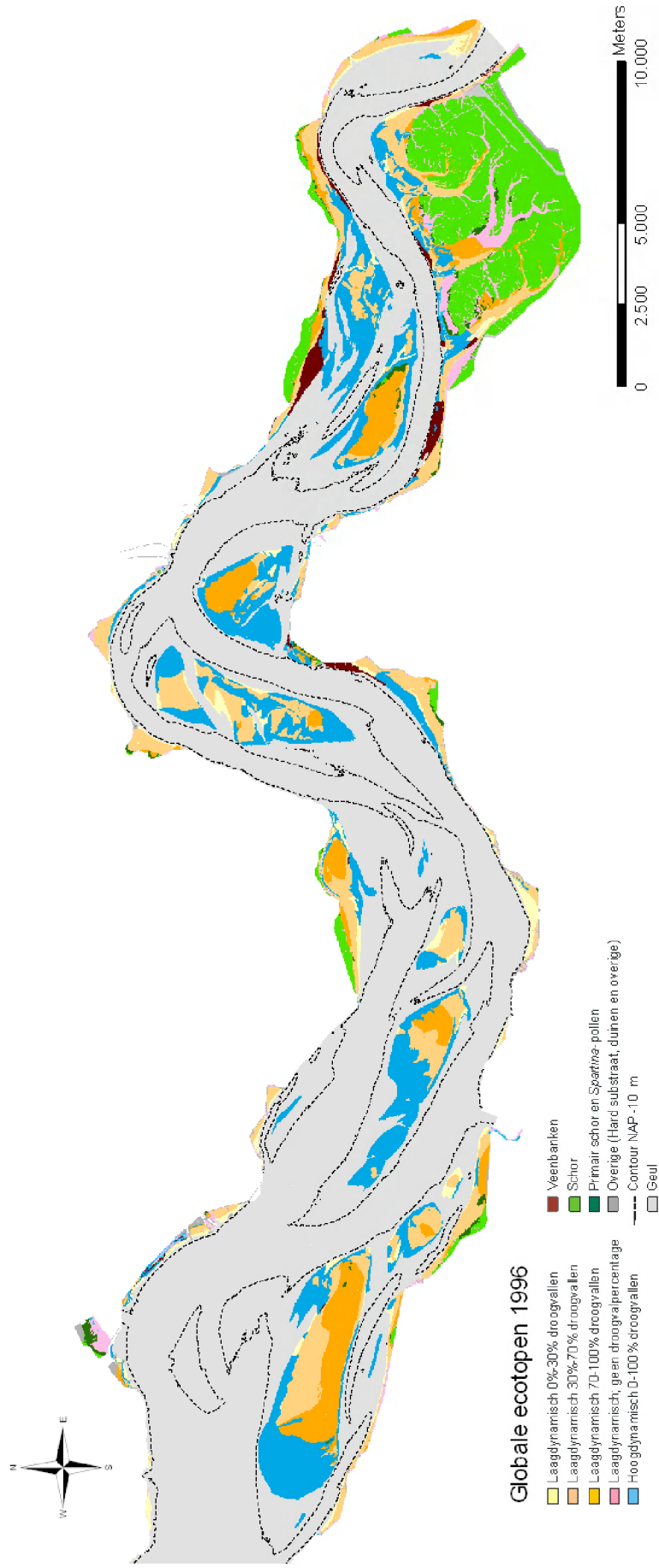
Globale ecotopen klasse		Opgebouwd uit deze klassen uit de standaardlegenda Geomorfologie
A. Veenbanken		H1a; H1b
B. Plaat en slik laag dynamisch	1. Laag: 0-30 % droogvallen 2. Middel 30-70 % droogvallen 3. Hoog: 70-100 % droogvallen 4. Geen droogvalpercentage beschikbaar	P1; P1a1; P1a2; P1b; P1c; P1d; K1a1; K1a2; K3; S3
C. Plaat en slik hoog dynamisch		P2a; P2b1; P2b2; P2c; P2d1; P2d2; P2d3; P3; K2b1
D. Schor;		S1a; S1b; S1c;
E. Primair schor en <i>Spartina</i> -pollen		S2a; S2b
F. Duinen, Hard substraat & Overige antropogeen		D1; D2; O1; O2; O3; O4; O5; H2

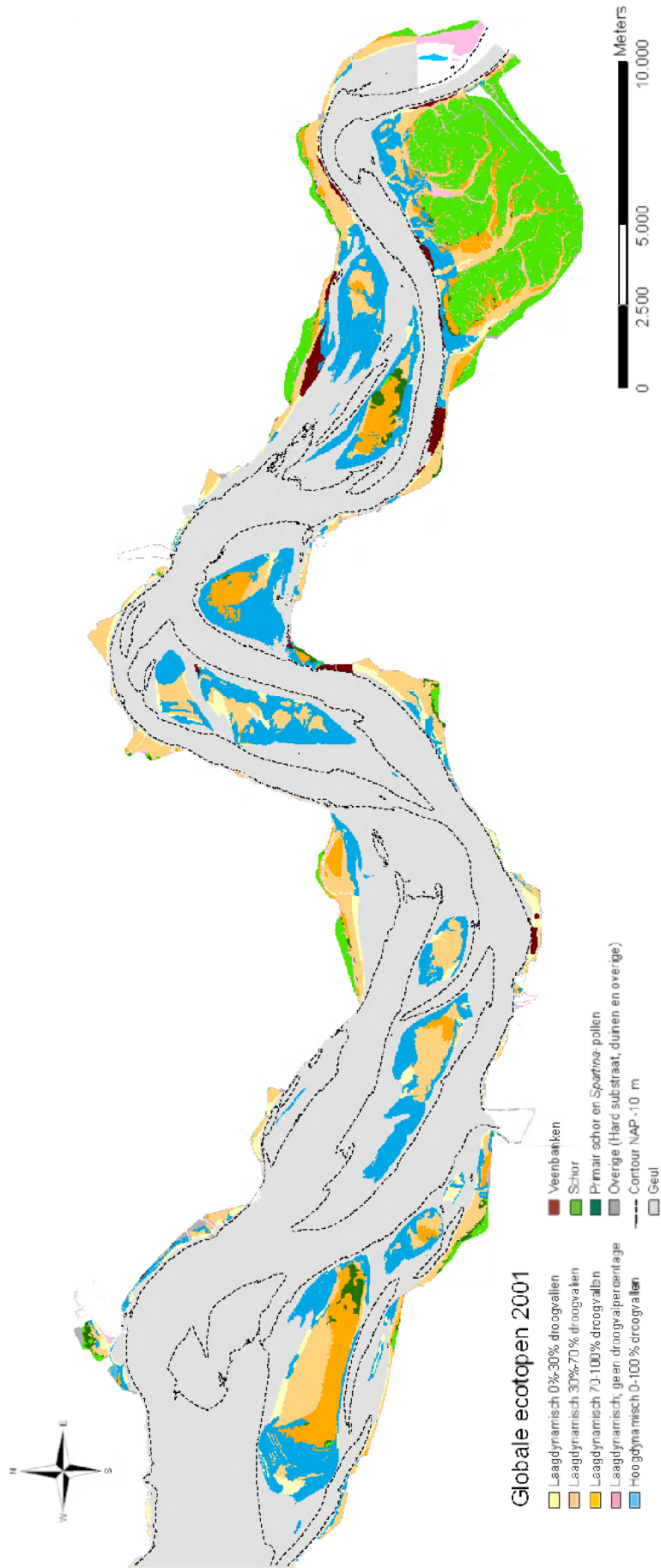


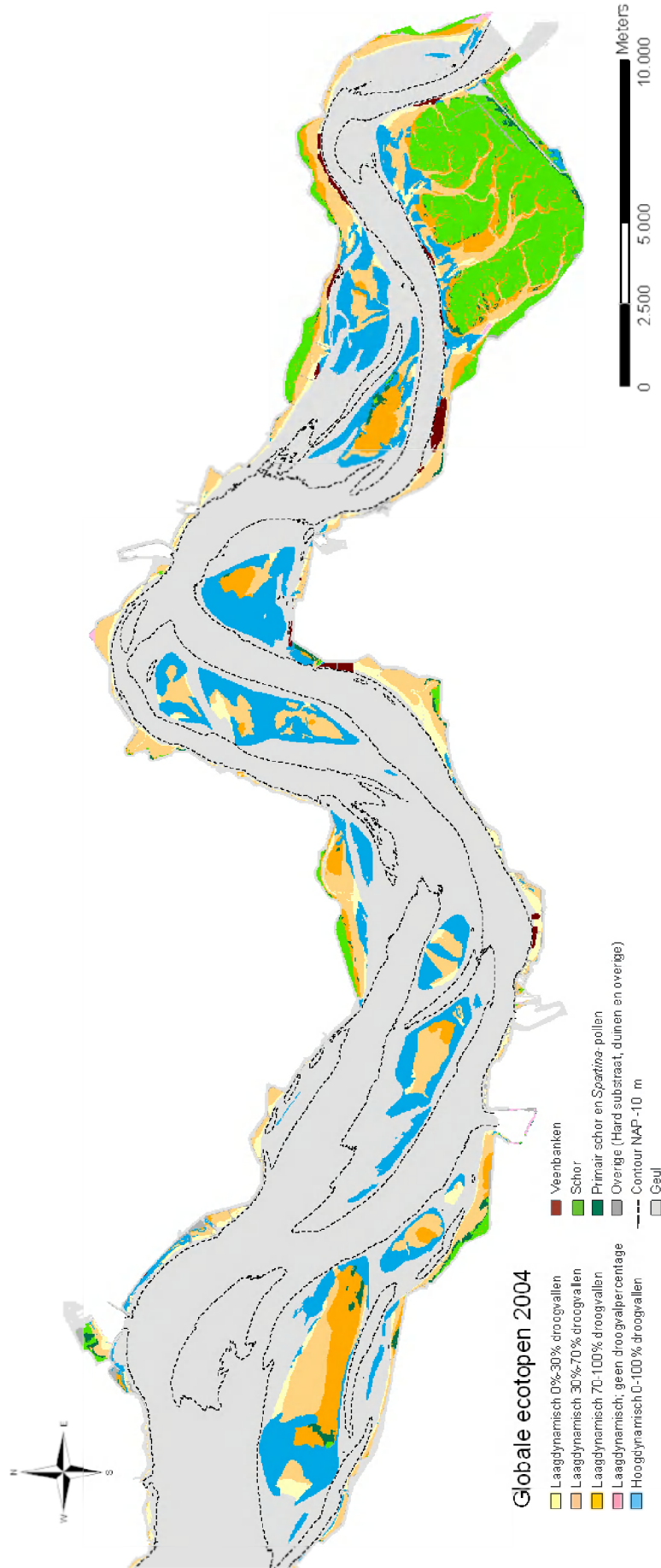












Werkwijze

A. Klassen hoog- en laagdynamische plaat en slikken met droogvalpercentages

Voor het bepalen van de arealen in de verschillende ecotopen en het maken van de ecotopenkaarten worden eerst de Geomorfologie grids per jaar omgezet volgens onderstaande tabel

Hoofdklassen	Waarde	Opgebouwd uit deze klassen uit de standaardlegenda Geomorfologie
1. Overige	999.999	H1a; H1b; S1a; S1b; S1c; S2a; S2b; D1; D2; O1; O2; O3; O4; O5; H2
2. Plaat en slik laag dynamisch	1	P1; P1a1; P1a2; P1b; P1c; P1d; K1a1; K1a2; K3; S3
3. Plaat en slik hoog dynamisch	1.000	P2a; P2b1; P2b2; P2c; P2d1; P2d2; P2d3; P3; K2b1

De waarden van de hoofdklassen uit bovenstaande tabel worden vervolgens vermenigvuldigd met de droogvalpercentages van het betreffende jaar. De kaarten die dit oplevert bevatten de waarden die in de onderstaande zijn samengevat. Deze waarden worden omgezet naar een beperkt aantal klassen, zoals weergegeven in de laatste kolom.

Hoofdklassen	Waarde in kaart	Omgezet naar klasse
1. Overige	999.999 en hoger	Overige
2. Plaat en slik laag dynamisch	1-30 30-70 70-100	a. Laag: 0-30 % droogvallen b. Middel 30-70 % droogvallen c. Hoog: 70-100 % droogvallen
3. Plaat en slik hoog dynamisch	1000-30.000 30.000-70.000 70.000-100.000	a. Laag: 0-30 % droogvallen b. Middel 30-70 % droogvallen c. Hoog: 70-100 % droogvallen
4. Plaat en slik uit de Geomorfologische kaarten zonder droogvalpercentages	0	Zeer lage (0-1 %) plaat en slik

De waarden uit de bovenstaande tabel worden teruggebracht naar één waarde per klasse. Van de acht klassen die op deze wijze ontstaan wordt het areaal per vak berekend.

B. Klassen Veenbanken, Schor, Primair schor en Spartina-pollen en Overige

De arealen voor de klassen Veenbanken, Schor, Primair schor en Spartina-pollen en Overige worden separaat berekend uit de geomorfologische kaarten.

C. Klassen Hooq- en laagdynamische plaat en slikken zonder droogvalpercentages

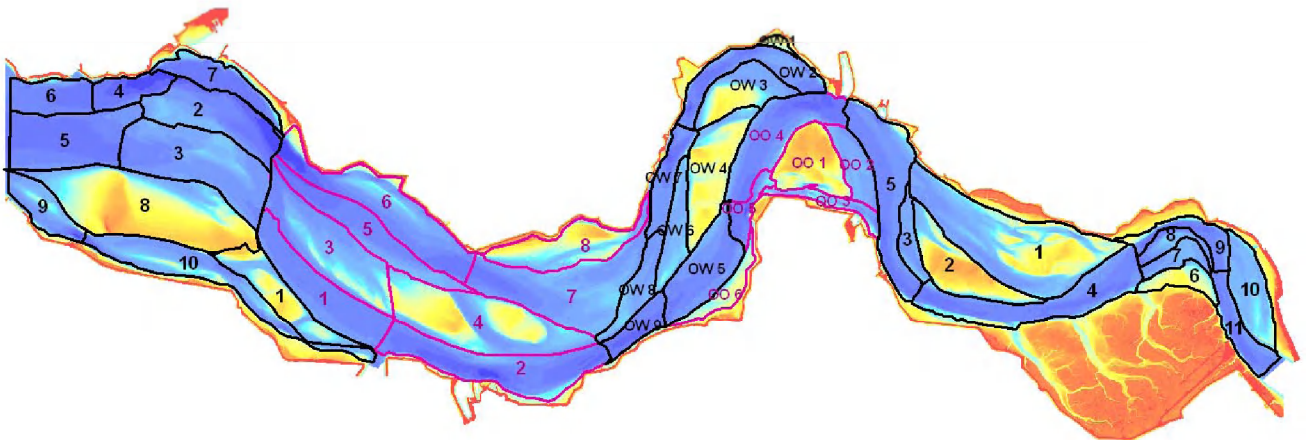
Met behulp van de 'IsNull' functie uit ArcGIS wordt een kaart gemaakt met waarde 0 voor de gebieden met droogvalpercentages en waarde 1 voor gebieden zonder droogvalpercentages. Deze kaart wordt vervolgens vermenigvuldigd met de kaarten zoals die zijn gemaakt van de bovenste tabel bij A (nadat deze zijn omgezet naar drie hoofdklassen). Dit levert een kaart op met waarden voor het hoogdynamische plaat en slikken areaal zonder droogvalpercentages, het laagdynamische areaal

plaen en slikekn zonder droogvalpercentages en het overige areaal zonder droogvalpercentages. De gebieden waarvoor geen droogvalpercentages beschikbaar zijn

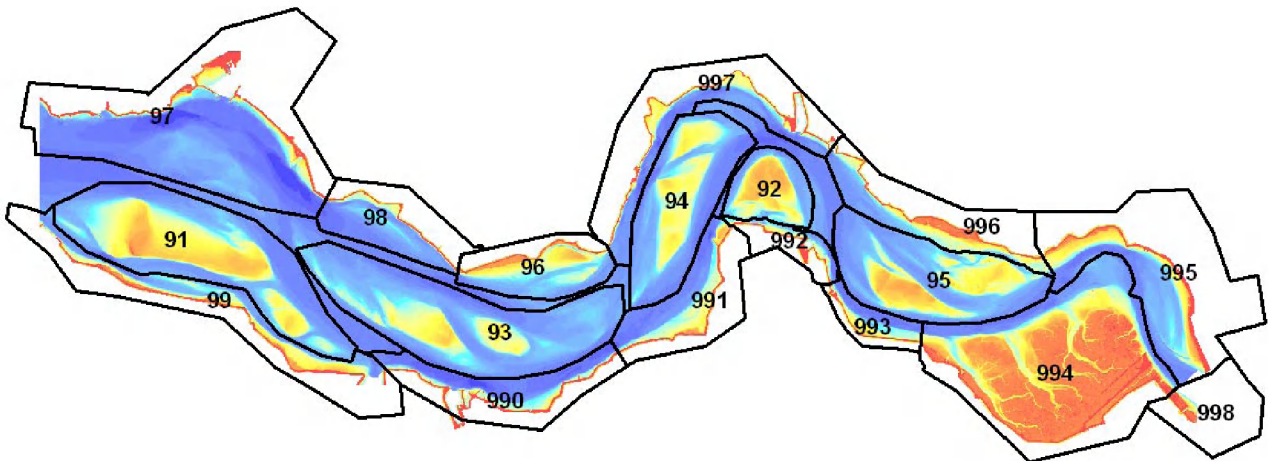
D Berekening

Voor elk van de drie lagen wordt per kubeervak (figuur 4.2b) het areaal per klasse berekend. De gegevens uit de drie kaarten wordt daarna per vak gecombineerd.

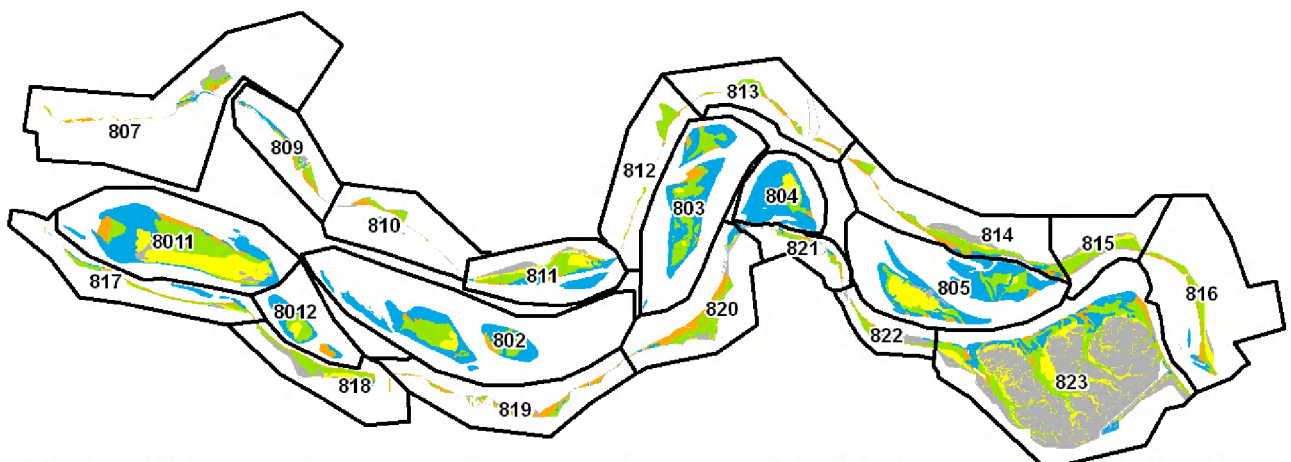
Kubeervakken



Figuur 4.1. Kubeervakken in de Westerschelde op de bodemligging 2004 – 1959. Van links naar rechts in zwart macrocel 1 en 2, in rood macrocel 3, in zwart het deel Ossenisse west van macrocel 4, in rood het deel Ossenisse oost van macrocel 4 en in zwart macrocel 5, 6 en 7.

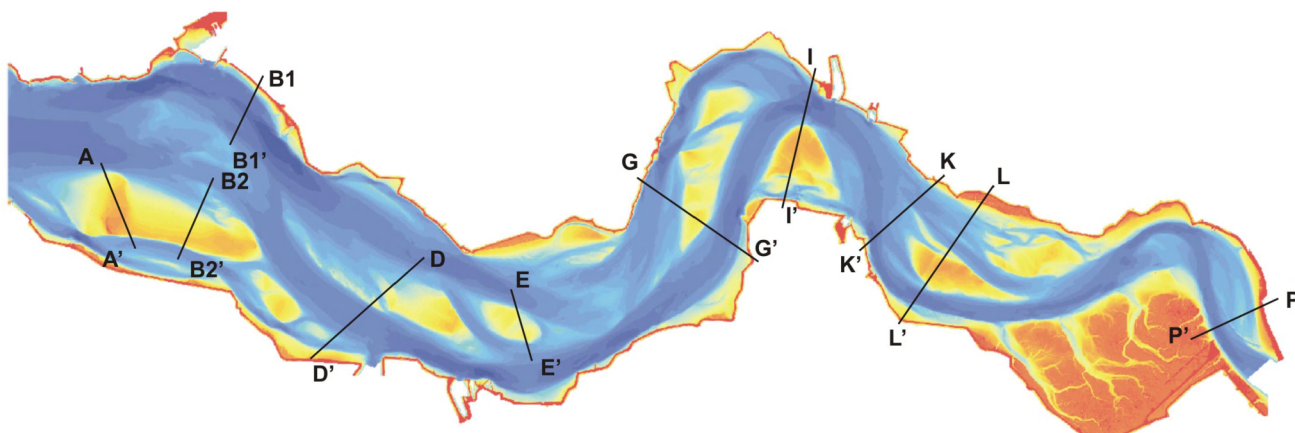


Figuur 4.2a: Vakken voor de analyse van de droogvalduur in de Westerschelde op de bodemligging van 2004.

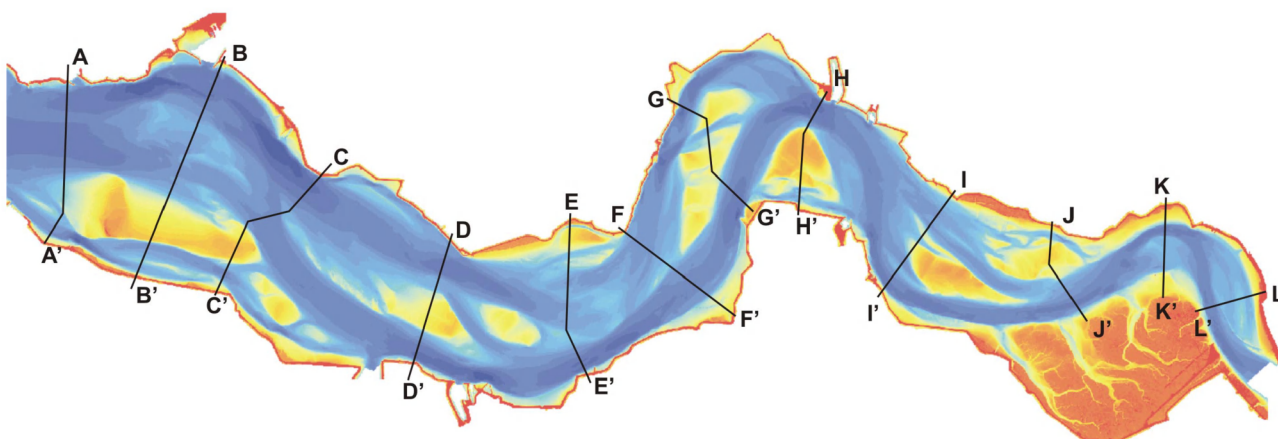


Figuur 4.2b: Vakken voor de analyse van de ecotopen in de Westerschelde op de ecotopenkaart van 2004.

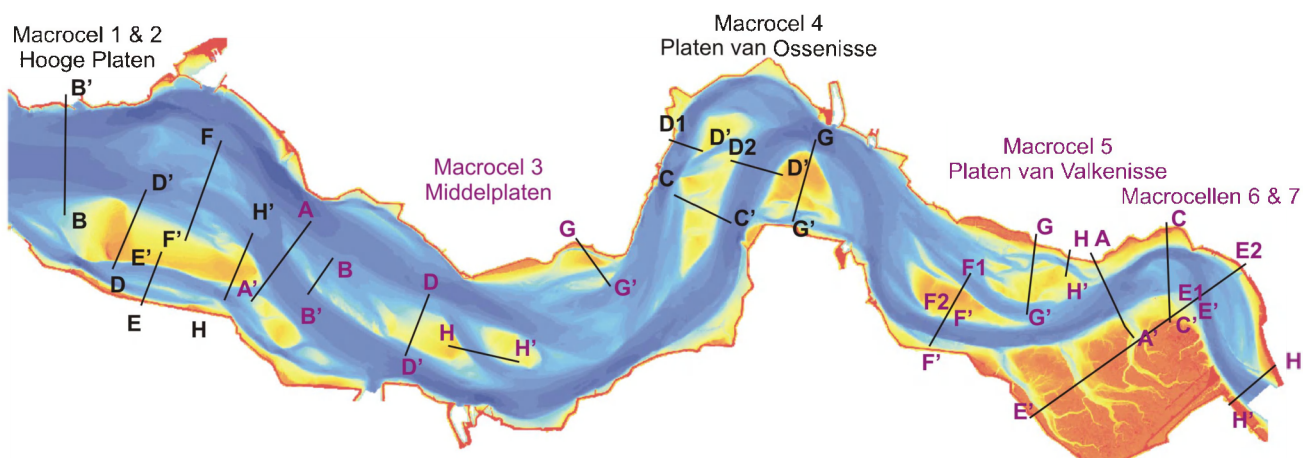
Locaties dwarsdoorsneden



Figuur 4.3 Locaties van de dwarsdoorsneden die zijn gebruikt in de bijlagen 1 tot en met 5, waarin aanwezigheid van de moeilijk erodeerbare lagen is achterhaald (op de bodemligging van 2004).



Figuur 4.4 Locaties van de dwarsdoorsneden die zijn gebruikt in de bijlagen 1 tot en met 5, voor het bepalen van de ontwikkeling van de oppervlakte van de dwarsdoorsneden (op de bodemligging van 2004).



Figuur 4.5 Locaties van de dwarsdoorsneden die zijn gebruikt in de bijlagen 1 tot en met 5, voor het bepalen van de ontwikkeling van de morfologie (op de bodemligging van 2004).