

Opdrachtgever:

Rijksinstituut voor Kust en Zee

Het meergeulenstelsel van de Westerschelde en de relatie met de functies van de Langetermijnvisie

Een kritische analyse van het beleidsuitgangspunt 'Instandhouding van
het meergeulenstelsel van de Westerschelde'

April 2006

Opdrachtgever:

Rijksinstituut voor Kust en Zee

Het meergeulenstelsel van de Westerschelde en de relatie met de functies van de Langetermijnvisie

Een kritische analyse van het beleidsuitgangspunt 'Instandhouding van
het meergeulenstelsel van de Westerschelde'

O.V. Voorsmit

Afstudeercommissie:

Prof.dr.ir. A.Y. Hoekstra

dr. H.S. Otter

dr. M.C.J.L. Jeuken

April 2006

Voorwoord

In dit rapport is het onderzoek beschreven dat ik uit heb gevoerd bij WL | Delft Hydraulics naar het meergeulenstelsel van de Westerschelde en de relatie met de beleidsdoelstellingen. Het rapport vormt voor mijzelf het sluitstuk van mijn studie Civiele Technologie & Management bij de Afdeling Waterbeheer aan de Universiteit Twente. Hoewel het leeuwendeel van het werk door mijzelf is verzet, had ik het rapport dat er nu ligt niet op kunnen leveren zonder de hulp van verschillende mensen die ik graag wil bedanken.

De persoon die ik verreweg de meeste dank verschuldigd ben bij de totstandkoming van dit rapport is Henriëtte Otter. Henriëtte, niet alleen heb jij mij aan een opdracht geholpen bij het WL, ook kon ik gedurende het hele onderzoek op jouw steun en jouw hulp rekenen en dat heb ik altijd ontzettend gewaardeerd. De andere commissieleden, Professor Hoekstra en Claire Jeuken, wil ik ook bedanken. Ik bedank WL | Delft Hydraulics dat ze mij de mogelijkheid hebben geboden mijn afstudeeropdracht bij hen uit te voeren.

De heer Tom Pieters, de heer Dick de Jong, de heer Harm Verbeek, de heer Marcel Stive, de heer Peter Herman en de heer Stanislas Wartel dank ik voor het delen van hun kennis over het meergeulenstelsel met mij. De heer Jaap Graveland dank ik voor zijn steun en begeleiding vanuit het Rijksinstituut voor Kust en Zee. Ook dank ik alle personen die mijn rapport of delen daarvan door hebben gelezen en commentaar hebben geleverd. De personen die zonder meer een plek verdienen in mijn Voorwoord zijn mijn collega-afstudeerders bij het WL. Bedankt dat jullie me regelmatig van mijn werk hebben gehouden en bedankt voor al jullie hulp.

Pap & Mam, bedankt voor de onvoorwaardelijke steun, het grenzeloos vertrouwen dat ik altijd van jullie heb genoten en de vrijheid die jullie mij geboden hebben om alles, maar dan ook werkelijk alles te halen wat er uit het studentenleven te halen viel.

Oskar Voorsmit

Delft - april 2006

Samenvatting

De Westerschelde is gelegen in het zuidwesten van Nederland en is het Nederlandse deel van het Schelde-estuarium. Een centrale doelstelling in het beleid omtrent de Westerschelde is de instandhouding van het meergeulenstelsel. De aanleiding voor dit onderzoek is dat instandhouding van het meergeulenstelsel gemotiveerd wordt vanuit het belang van het meergeulenstelsel voor de functies veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid, zoals geformuleerd in de Langetermijnvisie Schelde-estuarium. Het is echter niet duidelijk hoe belangrijk het meergeulenstelsel nu werkelijk voor die functies is. Het doel van het onderzoek is een beter inzicht te krijgen in de relatie tussen het meergeulenstelsel en de functies om op deze manier de relatie te versterken tussen de fysische karakteristieken van het systeem en de beleidsdoelen voor de Westerschelde.

Het meergeulenstelsel is de fysische karakterisering van de Westerschelde. Het meergeulenstelsel bestaat uit de systeemtributen ebgeulen, vloedgeulen, platen, slikken, ondiepwatergebied, kortsluitgeulen en drempels. Deze systeemtributen beïnvloeden elkaar via fysische (hydraulische en morfologische) processen. Deze wederzijdse invloed leidt op verschillende tijd- en ruimteschalen tot een mate van morfologische dynamiek. Algemeen wordt aangenomen dat het huidige meergeulenstelsel zichzelf handhaaft in een dynamisch evenwicht. Dat wil zeggen dat het systeem zich constant aanpast aan de heersende omstandigheden en veranderingen binnen het systeem mogelijk zijn, maar dat het systeem in grote lijnen hetzelfde uiterlijk behoudt.

Om de relatie tussen het meergeulenstelsel en de veiligheid te leggen is gekeken naar de invloed van het meergeulenstelsel op de kans van het optreden van hoogwaterstanden. Om de relatie met toegankelijkheid te leggen is gekeken naar de invloed van het meergeulenstelsel op de afmetingen van de hoofdvaargeul en het optreden van zijstroming. Om de relatie met natuurlijkheid te leggen is natuurlijkheid gedefinieerd als de mate waarin natuurlijke processen ongestoord plaats kunnen vinden, waarbij het menselijk handelen evident is en de randvoorwaarden oplegt voor het plaatsvinden van deze processen. Binnen natuurlijkheid wordt voor de natuurlijke processen onderscheid gemaakt in fysische en ecologische processen. De fysische processen leiden tot een toestand van het systeem met verschillende ecologisch interessante ecotopen die de potentie bepalen van de ecologische processen. De fysische processen worden daarom voor een belangrijk deel als bepalend beschouwd voor de ecologische processen. De mate waarin natuurlijke fysische processen plaats kunnen vinden wordt bepaald door de mate van morfologische dynamiek. Voor iedere functie zijn aspecten binnen het systeem aan te wijzen die van belang zijn voor die functie. Onder aspecten wordt verstaan het voorkomen van systeemtributen en de mate van morfologische dynamiek. Belang hebben bij een aspect betekent dat wanneer dit aspect toeneemt, dat de functie die er belang bij heeft beter door het meergeulenstelsel wordt ondersteund en vice versa wanneer het aspect afneemt.

De conclusie is dat het meergeulenstelsel in beperkte mate de veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid ondersteunt. Ondanks dat van het huidige meergeulenstelsel aspecten aan te wijzen die van belang zijn voor het waarborgen van de functies, is instandhouding van het meergeulenstelsel op zichzelf niet voldoende. Voor het waarborgen van de functies zijn aanvullende maatregelen nodig. Tevens kan uit het onderzoek geconcludeerd worden dat de aspecten van het meergeulenstelsel waar de functies belang bij hebben niet altijd

overeen komen of zelfs tegengesteld zijn. Wanneer er wordt ingegrepen in het systeem ten behoeve van een van de functies kan dit er toe leiden dat aspecten worden geschaad die van belang zijn voor een andere functie. Dit kan er toe leiden dat de functies onderling in conflict komen. Dit vormt een bedreiging voor het basisuitgangspunt van de Langetermijnvisie dat de Westerschelde én veilig én toegankelijk én natuurlijk moet zijn.

Het voornaamste conflict tussen functies en daarmee een belangrijk punt van (politieke) discussie is de vereniging van zowel de functie toegankelijkheid als de functie natuurlijkheid in één systeem. Het discussiepunt in de beleidsvorming, is de mogelijke schade die maatregelen ten behoeve van de toegankelijkheid toebrengen aan de natuurlijkheid, en daarmee aan het meergeulenstelsel. Het is onbekend hoe groot die schade zal zijn omdat de fysische proceskennis van het meergeulenstelsel en de kennis over de relatie tussen morfologische dynamiek en ecologie niet toereikend is. Daarbij ontbreekt het aan een duidelijke beleidsuitspraak over welke karakteristieken van het meergeulenstelsel men behouden wil voor de toekomst.

Beleidsmakers dienen zich uit te spreken welke karakteristieken van het meergeulenstelsel men wil behouden. Het is vervolgens de taak van de wetenschap om instandhoudinggrenzen te definiëren voor het gewenste meergeulenstelsel die niet overschreden mogen worden bij ingrepen in het systeem. Wanneer blijkt dat verdere ingrepen in het systeem niet mogelijk zijn zonder het meergeulenstelsel te schaden, impliceert dit de onverenigbaarheid van politieke doelen, bijvoorbeeld van een verdere verruiming van de vaargeul én behoud van de natuurlijkheid. Hier zal dan een keuze moeten worden gemaakt aan welke functie de politiek de voorkeur geeft.

Summary

The Western Scheldt is located in the southwest of the Netherlands and is the Dutch part of the Scheldt-estuary. A key issue in the long-term management strategy of the Western Scheldt is the preservation of the multi-channel system. Preservation of the multi-channel system is considered necessary to support the user functions safety, accessibility and naturalness, as formulated in the 'Long Term Vision' policy document. However, the exact relation between the multi-channel system and the user functions of the Long Term Vision is unclear. The goal of the study is to increase the insights into this relation, thereby strengthening the link between the physical system characteristics and policy goals.

The multi-channel system is the physical characterization of the Western Scheldt and consists of ebb-channels, flood-channels, intertidal areas, shallow water areas and connecting channels. These system elements influence each other by means of (hydraulic and morphological) physical processes. These reciprocal influences lead to dynamic morphological conditions on varying time and spatial scales. It is commonly accepted that the current multi-channel system maintains itself in a dynamic equilibrium. This means that although the system adapts itself constantly to the existing conditions and changes within the systems boundaries are possible, the system roughly preserves its same characteristics.

To study the relation between the multi-channel system and safety, the influence of the multi-channel system on the chance of reaching critical water levels is analysed. To study the relation with accessibility, the influence of the multi-channel system on the dimensions of the main fairway and the occurrence of side currents is analysed. To study the relation with naturalness, naturalness is defined as the degree to which natural physical and ecological processes can take place undisturbed. The physical processes lead to a state of the system which, for a large part, determines the potential for the ecological processes to take place. The extent of the physical processes is measured by the degree of morphodynamics. For each function certain 'aspects' within the system are present which are important for that particular function. 'Aspects' refers to the presence of specific systems elements and the degree of morphodynamics. When an aspect is important for a function it means that when this aspect increases, so does the degree to which the multi-channel system supports the function that has interest by that aspect, and vice-versa when an aspect decreases.

The conclusion is that the multi-channel system supports safety, accessibility and naturalness, up to a certain degree. The current multi-channel system contains aspects that are important for the support of the functions. However, the preservation of the multi-channel system alone is not enough. Additional measures are necessary to guarantee the functions. It is also concluded that aspects of the multi-channel system that are of interest for the functions are not always the same, and in some cases are even contrary to each other. When human interventions take place within the system with the goal of increasing one function, these interventions can damage an aspect of the system that is of interest for another function. This may lead to a situation in which functions conflict. This is a threat to the basis of the Long Term Vision that the Western Scheldt shall be safe as well as accessible as well as natural.

The main conflict between functions, which has also resulted in an extensive (political) discussion, is the combination of both the functions accessibility and naturalness in one

system. The discussion point in the policy making is the possible damage of measures for accessibility on naturalness, and with that to the multi-channel system. It is uncertain how large this damage to naturalness is, because the physical process knowledge concerning the multi-channel system is not sufficient. Also the knowledge concerning the relation between morphodynamics and ecology is not sufficient. Furthermore a clear policy statement concerning which specific characteristics of the multi-channel system need to be preserved is lacking.

Policy makers must more clearly state which characteristics of the multi-channel system should be preserved. It is then the task of science to define borders for preserving this desired multi-channel system. When it becomes evident that further interventions in the system are not possible without damaging the multi-channel system, this means the incompatibility of political aims, for example a further enlargement of the main fairway and preservation of the naturalness. A choice must then be made which function is politically preferred.

Inhoud

1	Inleiding	1—1
1.1	Achtergrond van het onderzoek en doelstelling.....	1—1
1.2	Aanpak van het onderzoek.....	1—4
1.3	Leeswijzer.....	1—5
2	Systeembeschrijving	2—1
2.1	Het Schelde-estuarium.....	2—1
2.2	De Westerschelde.....	2—2
2.3	Morfologische dynamiek in de Westerschelde	2—5
3	Het meergeulenstelsel van de Westerschelde.....	3—1
3.1	Het meergeulenstelsel in de beleidscontext	3—1
3.2	Geulen in estuaria - Allersma.....	3—3
3.3	Beschrijving morfologische karakteristieken - Van Veen	3—6
3.4	Beschrijving van het meergeulenstelsel.....	3—8
3.5	Onderzoek naar de stabiliteit van de eb- en vloedgeulen: het Cellenconcept	3—12
3.6	Onderzoek naar de aanwezigheid van de kortsluitgeulen.....	3—16
3.7	Deelconclusies	3—18
4	De functies van de Langetermijnvisie gedefinieerd vanuit de beleidscontext	4—1
4.1	Inleiding.....	4—1
4.2	Veiligheid.....	4—2
4.3	Toegankelijkheid.....	4—5
4.4	Natuurlijkheid	4—9
4.5	Deelconclusies	4—17
5	De relatie tussen het meergeulenstelsel en de functies van de Langetermijnvisie	5—1

5.1	Inleiding	5—1
5.2	Veiligheid en het meergeulenstelsel	5—1
5.3	Toegankelijkheid en het meergeulenstelsel	5—5
5.4	Natuurlijkheid en het meergeulenstelsel	5—8
5.5	Deelconclusies.....	5—13
6	Verhoudingen tussen de functies.....	6—1
6.1	Inleiding	6—1
6.2	Verhouding tussen veiligheid en toegankelijkheid.....	6—1
6.3	Verhouding tussen veiligheid en natuurlijkheid	6—2
6.4	Verhouding tussen toegankelijkheid en natuurlijkheid.....	6—3
6.5	Deelconclusies.....	6—7
7	Conclusies en aanbevelingen	7—1
7.1	Conclusies	7—1
7.2	Aanbevelingen.....	7—3
8	Discussie	8—1
8.1	Inleiding	8—1
8.2	Het ééngenulstelsel.....	8—1

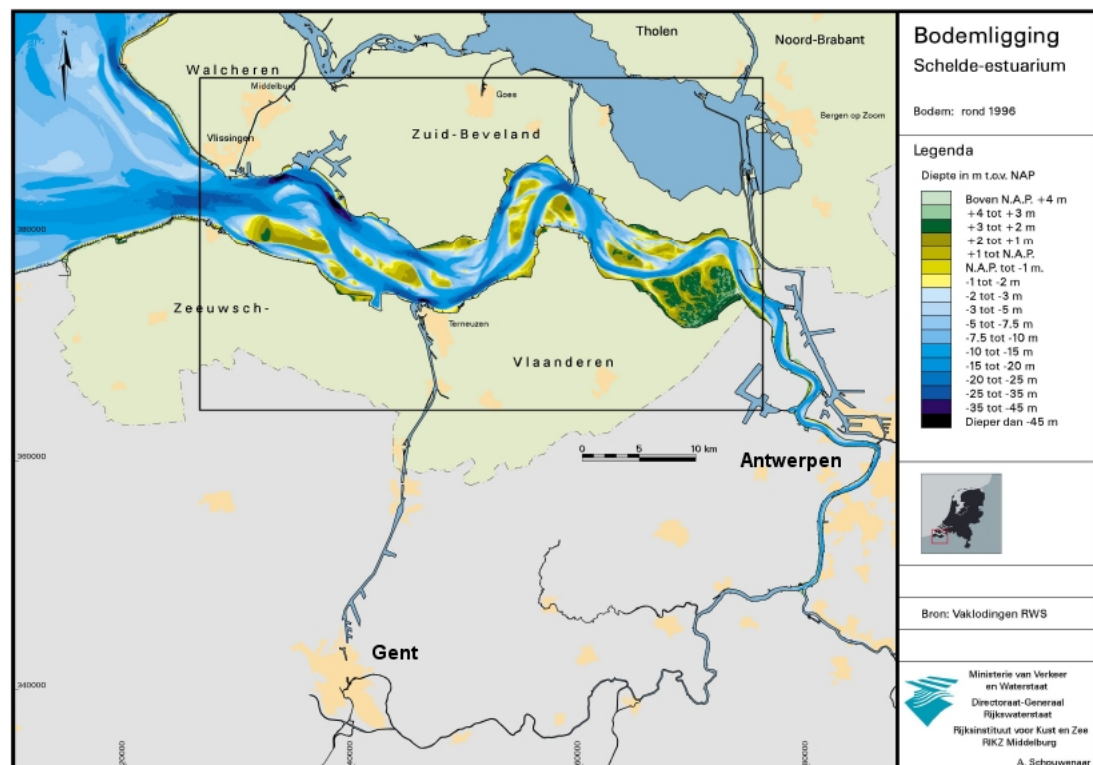
I Inleiding

I.1 Achtergrond van het onderzoek en doelstelling

Het Schelde-estuarium

Een estuarium is een door land ingesloten, in vrije verbinding met de zee staand kustwater dat onder invloed van het getij staat. Het Schelde-estuarium [Figuur 1] is gelegen in Nederland en Vlaanderen. Dit estuarium wordt van landzijde gevoed door de rivier de Schelde en van de zeezijde staat het onder invloed van het getij van de Noordzee. Het estuarium loopt van het mondingsgebied, de denkbeeldige lijn Vlissingen - Breskens, tot aan de sluizen in Gent. De totale lengte van het estuarium bedraagt 170 kilometer. Het Nederlandse deel van het estuarium draagt de naam ‘Westerschelde’.

Het Schelde-estuarium wordt beschouwd als één van de laatste natuurlijke estuaria in noordwest Europa en is tegelijkertijd van vitaal belang voor de Vlaamse economie als scheepvaartroute van de Noordzee naar de haven van Antwerpen. Deze kenmerken hebben het op Nederlands gelegen deel van het Schelde-estuarium, de Westerschelde, tot inzet gemaakt van menig politieke discussie tussen Nederland en Vlaanderen.



Figuur 1: Het Schelde-estuarium met in het kader de Westerschelde, het Nederlandse deel van het Schelde-estuarium [RIKZ]

Situering van het onderzoek

In januari 1995 wordt het zogenaamde Verruimingsverdrag tussen Nederland en Vlaanderen ondertekend. In de periode 1997-1998 wordt het 48'/43'/38'-voet verruimingsprogramma gerealiseerd in de Westerschelde en de Beneden Zeeschelde, op zowel Nederlands als Vlaams grondgebied. Na de verruimingen in de periode 1970-1975 zijn het de tweede grootschalige verruimingswerkzaamheden die uit worden gevoerd in het Schelde-estuarium met als voornaamste doel de toegankelijkheid van de haven van Antwerpen te verhogen. Gedurende de verruiming vraagt Vlaanderen om een derde verdere verruiming, gericht op een nog betere toegang tot de haven van Antwerpen. Dit is voor Nederland de aanleiding om het initiatief te nemen tot het voorbereiden van een Nederlands-Vlaamse langetermijnvisie voor het gehele Schelde-estuarium. Deze Langetermijnvisie zal richtinggevend moeten zijn voor beleidsmaatregelen in Nederland en Vlaanderen.

De Technische Schelde Commissie, een gezamenlijk ambtelijk overlegorgaan tussen Nederland en Vlaanderen over de technische aspecten van de Schelde, stelt in maart 1998 een Nederlands-Vlaamse stuurgroep en projectteam samen, om vanuit een integrale benadering een langetermijnvisie voor het Schelde-estuarium te ontwikkelen. In januari 2001 wordt de 'Langetermijnvisie Schelde-estuarium' uitgebracht [Projectbureau Langetermijnvisie, 2001]. Het vertrekpunt van deze Langetermijnvisie is:

Het ontwikkelen van een gezond en multifunctioneel estuarien watersysteem dat op duurzame wijze gebruikt wordt voor menselijke behoeften.

In de Langetermijnvisie is een integrale visie geschetst die betrekking heeft op de drie functies die zijn geformuleerd voor het Schelde-estuarium:

- *Veiligheid* tegen overstromen
- *Toegankelijkheid* van de Scheldehavens
- *Natuurlijkheid* van het fysieke en ecologische systeem

De Langetermijnvisie biedt de basis voor de ontwikkeling van een bilateraal, integraal Scheldebeleid. In de volgende fase van de realisatie van de Langetermijnvisie wordt het Memorandum van Vlissingen getekend. In dit memorandum wordt onder andere bepaald dat de 'Ontwikkelingsschets 2010 Schelde-estuarium' opgesteld moet worden. De Technische Schelde Commissie richt daartoe de Projectdirectie ontwikkelingsschets Schelde-estuarium (ProSes) op, een Vlaams- Nederlandse projectorganisatie. Deze projectorganisatie krijgt de opdracht de Ontwikkelingsschets 2010 op te stellen op basis van een strategische milieueffectenrapportage (S-MER) [Consortium Arcadis Technum, 2004] en een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA).

In maart 2005 wordt de 'Ontwikkelingsschets 2010 Schelde-estuarium' [ProSes, 2005] uitgebracht. In de Ontwikkelingsschets zijn concrete projecten en maatregelen voor de korte en middellange termijn geformuleerd, voor de realisatie van het Streefbeeld 2030, zoals dat beschreven is in de Langetermijnvisie.

Aanleiding van het onderzoek

Aan de hand van vijf kenmerken is in de Langetermijnvisie de essentie van het Streefbeeld voor het jaar 2030 voor het Schelde-estuarium verwoord. Deze kenmerken hebben betrekking op (1) de morfologie, (2) de veiligheid, (3) de toegankelijkheid, (4) de natuurlijkheid en (5) bestuurlijke samenwerking tussen Nederland en Vlaanderen. Aan de hand van deze kenmerken worden de hoofdlijnen van de gewenste situatie in 2030 geschetst. Het eerste kenmerk is van belang voor de aanleiding van dit onderzoek. Dit kenmerk luidt: *‘De instandhouding van de fysieke systeemkenmerken van het estuarium is uitgangspunt van beheer en beleid.’* [pag. 19 Langetermijnvisie] Voor de Westerschelde, een deel van het Schelde-estuarium waar dit onderzoek zich op toespitst, zijn deze fysieke systeemkenmerken als volgt gedefinieerd: *‘Het meergeulenstelsel in de Westerschelde met zijn kenmerkende geleidelijke overgangen tussen platen, slikken, geulen en ondiep water.’* [pag. 23 Langetermijnvisie] Men spreekt van ‘instandhouding’ omdat onderzoek uitwijst dat het huidige meergeulenstelsel door bagger- en stortactiviteiten kan evolueren naar een ééngenueelsysteem [Wang & Winterwerp, 2001].

In de Ontwikkelingsschets 2030 staat het volgende geschreven: *‘Bij het maken van keuzes voor de Ontwikkelingsschets geldt de handhaving van de fysieke systeemkenmerken van het estuarium als randvoorwaarde. Deze kenmerken zijn namelijk cruciaal voor het bereiken van de doelstellingen voor de thema’s veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid.’* [pag. 21 Ontwikkelingsschets] Onder de fysieke systeemkenmerken van de Westerschelde wordt het meergeulenstelsel verstaan. Het meergeulenstelsel zou dus van cruciaal belang zijn voor de functies van de Langetermijnvisie. Uit interviews met deskundigen blijkt dat het meergeulenstelsel bedoeld is als concept van datgene wat in essentie de Westerschelde karakteriseert, aangezien hier behoefte aan was bij het opstellen van de Langetermijnvisie eind jaren ’90. De relatie met de functies werd toen nog niet gelegd. Deze relatie is later pas naar voren gekomen in de beleidsdocumenten.

Probleemstelling

De essentie van het probleem is dat ‘instandhouding van het meergeulenstelsel’ een centrale doelstelling is in het beleid. Dit wordt gemotiveerd vanuit het belang van het meergeulenstelsel voor de functies van de Langetermijnvisie; veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid. Het is echter niet duidelijk hoe belangrijk het meergeulenstelsel nu werkelijk voor de functies is. Het probleem dat ten grondslag ligt aan de discussies is dat de termen veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid niet eenduidig gedefinieerd en op verschillende manieren interpreteerbaar zijn. Daarbij ontbreekt het aan een concrete definitie van het meergeulenstelsel. Zonder die definitie is de relatie tussen het meergeulenstelsel en de functies moeilijk te leggen.

De probleemstelling van het onderzoek is als volgt gedefinieerd:

Er bestaat geen duidelijkheid over de relatie tussen de in beleid gebruikte termen veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid enerzijds en meergeulenstelsel anderzijds.

Doelstelling

De onduidelijkheid over de relatie tussen het meergeulenstelsel en de functies rechtvaardigt nader onderzoek. De probleemstelling leidt tot de volgende doelstelling:

Het verkrijgen van een beter inzicht in de relatie tussen het meergeulenstelsel van de Westerschelde en de functies van de Langetermijnvisie: veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid.

Vraagstelling

De volgende vraagstelling wordt geformuleerd:

Welke onderbouwing is er voor het beleidsuitgangspunt, dat stelt dat de instandhouding van het meergeulenstelsel van de Westerschelde cruciaal is voor het waarborgen van de veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid van het systeem?

Deze vraagstelling is op te splitsen in twee hoofdvragen:

- 1. Wat wordt verstaan onder de termen meergeulenstelsel, veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid?*
- 2. Welke relatie is er te leggen tussen de functies van de Langetermijnvisie en het meergeulenstelsel van de Westerschelde?*

1.2 Aanpak van het onderzoek

Het doel van het onderzoek is helderheid te scheppen in de veronderstelling dat het meergeulenstelsel van belang is voor de functies van de Langetermijnvisie. Om de doelstelling te bereiken worden de termen meergeulenstelsel, veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid geconcretiseerd. Dit gebeurt in een eerste fase en hiermee wordt antwoord gegeven op vraag 1. In een tweede fase wordt bekeken welke relaties te leggen zijn tussen het meergeulenstelsel en de functies. Hiermee wordt antwoord gegeven op vraag 2.

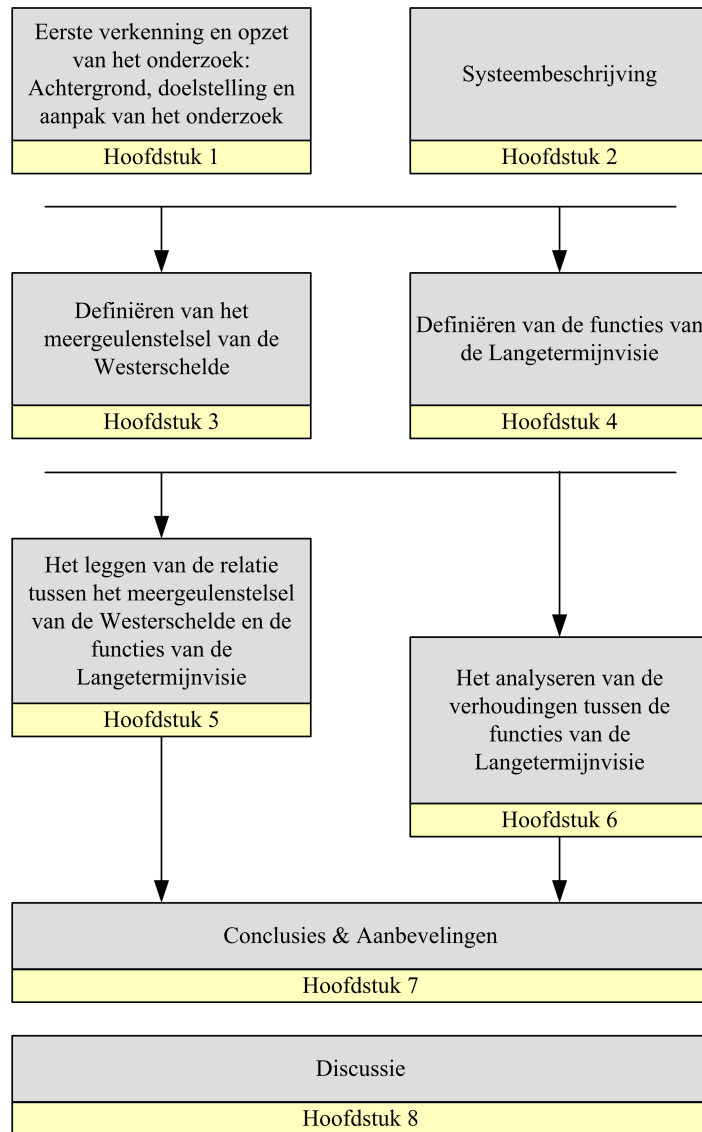
Voor het onderzoek wordt een literatuurstudie uitgevoerd. De geraadpleegde literatuur bestaat enerzijds uit beleidsdocumenten en anderzijds uit wetenschappelijke literatuur. De beleidsdocumenten worden bestudeerd omdat het onderzoek voortkomt uit beleidsvorming omtrent de Westerschelde. De belangrijkste beleidsrapporten zijn de Langetermijnvisie Schelde-estuarium, de Ontwikkelingsschets 2010 en verschillende Europese richtlijnen. Daarbij worden verschillende, aan de functies verwante, documenten bestudeerd. Wetenschappelijke literatuur wordt bestudeerd om te achterhalen welke onderzoeken uit zijn gevoerd om inzicht te krijgen in het fysische systeem van de Westerschelde.

Verdere kennis over het fysische systeem van de Westerschelde is verkregen door het houden van interviews met deskundigen op het gebied van de Westerschelde. Met behulp

van deze interviews is kennis vergaard over het meergeulensysteem en over de probleemstelling in het algemeen. De resultaten van de interviews komen dan ook niet specifiek terug op een plek in dit rapport, maar de informatie is geïntegreerd verwerkt in het onderzoek. Een lijst van deskundigen die geïnterviewd zijn is opgenomen als Appendix A.

1.3 Leeswijzer

De leeswijzer is in onderstaande figuur grafisch weergegeven.



Figuur 2: Leeswijzer

2 Systeembeschrijving

De Langetermijnvisie beslaat het gehele Schelde-estuarium. De Westerschelde, het Nederlandse deel van het Schelde-estuarium, is het studiegebied van dit onderzoek. Als achtergrond van dit onderzoek worden het Schelde-estuarium, de Westerschelde en de morfologische dynamiek van de Westerschelde in dit hoofdstuk beschreven.

2.1 Het Schelde-estuarium

De definitie van een estuarium is de volgende [Dyer, 1997]: *'An estuary is a semi-enclosed coastal body of water which has free connection to the open sea, extending into the river as far as the limit of tidal influence, and within which sea water is measurably diluted with fresh water derived from land drainage.'*

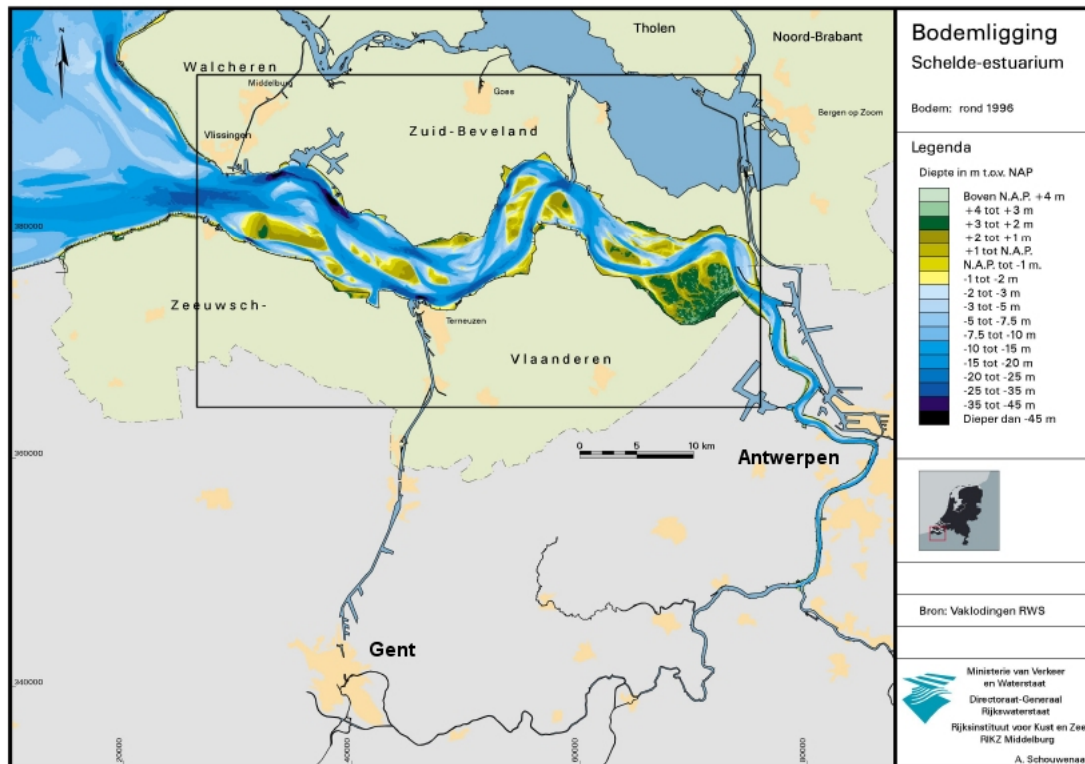
Het Schelde-estuarium vormt het mariene gedeelte van de rivier de Schelde. De rivier de Schelde ontspringt in het noorden van Frankrijk en loopt door België naar Nederland, waar het uitstroomt in de Noordzee. Het Schelde-estuarium loopt van het mondingsgebied, de denkbeeldige lijn Vlissingen - Breskens, tot aan de sluizen in Gent. De totale lengte van het estuarium bedraagt 170 kilometer.

Vanuit geologisch oogpunt bezien zijn estuaria jonge systemen. Wereldwijd komen estuaria in verschillende kenmerkende toestanden voor, afhankelijk van de omvang van het door het getij te vullen en ledigen gebied, de rivierafvoer, de relatieve zeespiegelstijging en het beschikbare sediment (zand en slib). Het ene uiterste is een situatie met één enkele geul met aangrenzend slikgebied. Estuaria van dit type bevinden zich over het algemeen in een proces van verlanding. Het andere uiterste is een situatie waarin geen platen bij laagwater droogvallen, een zogenaamd verdronken estuarium. Een tussenvorm is een systeem dat bestaat uit meerdere geulen, waarin platen droogvallen bij laagwater, een zogenaamd meergeulenstelsel. Afhankelijk van de grootte van de zeespiegelrijzing en het aanbod van sediment kan ook dit type estuarium uiteindelijk verlanden dan wel verdrinken [Winterwerp et al., 2000a].

In het Schelde-estuarium worden drie zones onderscheiden op basis van zowel de geometrie als de dominantie van de voorkomende fysische processen [Jeuken, 2000]:

- *Mondingsgebied:* Het mondingsgebied wordt ook wel beneden-estuarium of zee-estuarium genoemd. Dit deel van het estuarium staat in vrije verbinding met de zee.
- *Middendeel:* Het middendeel van het Schelde-estuarium komt overeen met de Westerschelde. Hier treedt een sterke menging van zoet- en zoutwater op. In dit deel van het Schelde-estuarium komt het meergeulenstelsel voor.
- *Riviersectie:* De riviersectie wordt ook wel het fluviatiele deel van het estuarium genoemd. Het is het bovenstroomse deel van het estuarium. Hier is het water zoet, maar er is nog wel getijwerking merkbaar. Het riviergedeelte komt overeen met de Zeeschelde.

Het Schelde-estuarium met in het kader de Westerschelde is in onderstaand figuur weergegeven.



Figuur 3: Het Schelde-estuarium met in het kader de Westerschelde [RIKZ]

2.2 De Westerschelde

Ontstaansgeschiedenis van de Westerschelde

De eerste historische data met betrekking tot de Westerschelde stammen uit de Middeleeuwen, toen het estuarium nog de naam De Honte droeg en niet veel meer was dan een getijgeul. De Honte kwam in verbinding met de rivier de Schelde en werd de nieuwe verbinding met de Noordzee: de Westerschelde. De oorspronkelijke riviermond, de Oosterschelde, verloor langzaamaan zijn betekenis en in de 14^e eeuw was de Westerschelde op natuurlijke wijze diep genoeg geworden om de nieuwe vaarroute naar Antwerpen te worden. In de 17^e eeuw was de Westerschelde inmiddels uitgegroeid tot een groot getijbekken. In de daaropvolgende eeuwen verloor de Westerschelde een groot deel van zijn oppervlakte (15.000 van de ruim 50.000 ha.) door natuurlijke processen (verlanding) en menselijke invloeden (bedijkingen en inpolderingen). Deze ontwikkelingen hebben geleid tot de huidige geometrie van het estuarium [Van der Spek, 1997]. Uit oude hydrografische kaarten sinds 1800 blijkt dat de huidige vorm van de Westerschelde waarin meerdere geulen voorkomen, gescheiden door platen, tussen 1800 en 1905 is ontstaan.

Hydrodynamica

De Westerschelde is ongeveer 60 kilometer lang en is trechtervormig. De breedte is circa vijf kilometer bij Vlissingen en neemt geleidelijk af tot zo'n twee kilometer ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens. Het systeem is getij-ge domineerd met een meso- tot macro getijde regime. Met het getijde regime wordt het verschil in hoog- en laagwaterniveau aangegeven. Voor meso-tidaal is dit > 2 meter en < 4 meter, voor macro-tidaal is dit > 4 meter en < 6 meter. Het vloedvolume, de hoeveelheid water die tussen de eb- en vloedkentering van het getij door een zekere dwarsdoorsnede stroomt, is bij Vlissingen 1,1 miljard m^3 . Gedurende een getijcyclus bedraagt de totale hoeveelheid water, die de Westerschelde vanaf zee in- en uitstroomt dus ruwweg 2,2 miljard m^3 . Dit wordt het getijvolume genoemd; de som van het vloedvolume en het ebvolume. Het ebvolume is tegengesteld aan het vloedvolume en is de totale hoeveelheid water, die tussen de vloed- en ebkentering van een getij door een zekere dwarsdoorsnede stroomt. Bij de grens is het getijvolume afgenomen tot 300 miljoen m^3 . De gemiddelde afvoer van de Schelde is circa 110 m^3/s waarbij de Schelde per getijcyclus circa 5 miljoen m^3 rivierwater afvoert. In dezelfde periode is het getijvolume bij Vlissingen dus ongeveer 240 keer groter dan de afvoer van de rivier. De invloed van de rivier in het Schelde-estuarium is hydraulisch gezien dan ook verwaarloosbaar.

De getijgolf neemt in amplitude toe naarmate de golf verder het estuarium binnendringt. Dit komt door het versmallen van het estuarium, door wrijving van de bodem en door het deels reflecteren van de getijgolf. De getijgolf heeft een gemiddeld faseverschil¹ van 2 uur tussen Vlissingen en Antwerpen. De gemiddelde getijslag, het verschil tussen hoogwater en laagwater, neemt toe van 3,8 meter bij Vlissingen tot 5,2 meter bij Antwerpen, 78 kilometer stroomopwaarts. Verder landinwaarts neemt de getijslag geleidelijk af.

Getijdoordringing

De Westerschelde is getij-ge domineerd. Het getij is de voornaamste aandrijvende kracht van de waterbeweging in de Westerschelde. Het getij en de getijdoordringing worden hier toegelicht.

Beschrijving van getijdoordringing

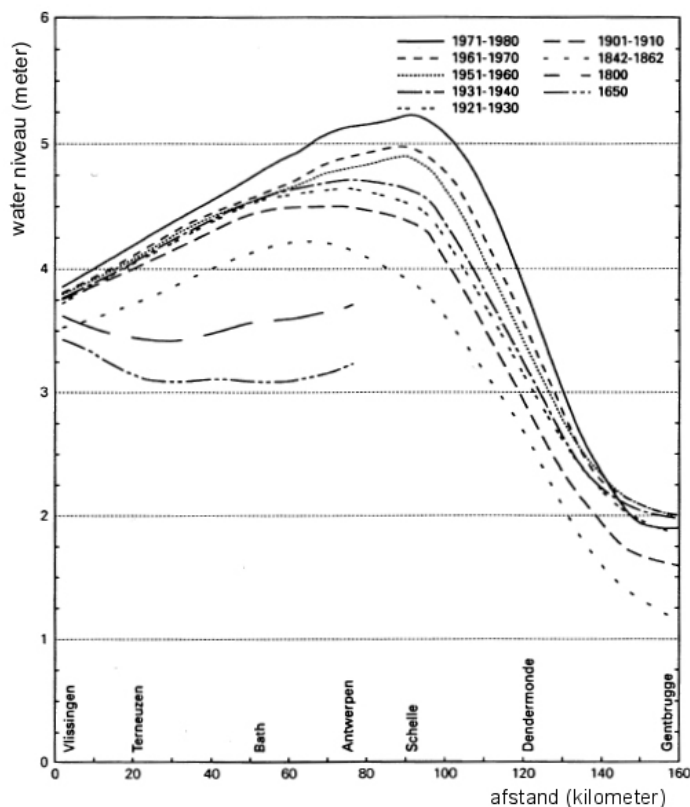
In de Westerschelde treedt een tweemaaldaags getij op dat het resultaat is van veranderingen die de opgewekte getijgolven op de Oceanen (met name de Atlantische Oceaan), op de Noordzee en in de Westerschelde hebben ondergaan. De getijdoordringing duidt, zoals het woord al aangeeft, op de mate van doordringing van het getij het estuarium in. Twee parameters die te onderscheiden zijn van getijdoordringing zijn de voortplantingssnelheid van het getij (horizontaal getij) en de getijslag (verticaal getij). De voortplantingssnelheid van het getij geeft de voortplantingssnelheid van de getijgolf weer. Dit is niet de snelheid van de waterdeeltjes. Een parameter die hiermee samenhangt, is de komberging. De komberging is het volume water dat geborgen wordt in een estuarium tussen de hoogwaterlijn en de laagwaterlijn.

¹ Het faseverschil is de tijd die de getijgolf er over doet om van een bepaald punt naar een ander punt te lopen. Een grotere voortplantingssnelheid betekent een kleiner faseverschil en andersom.

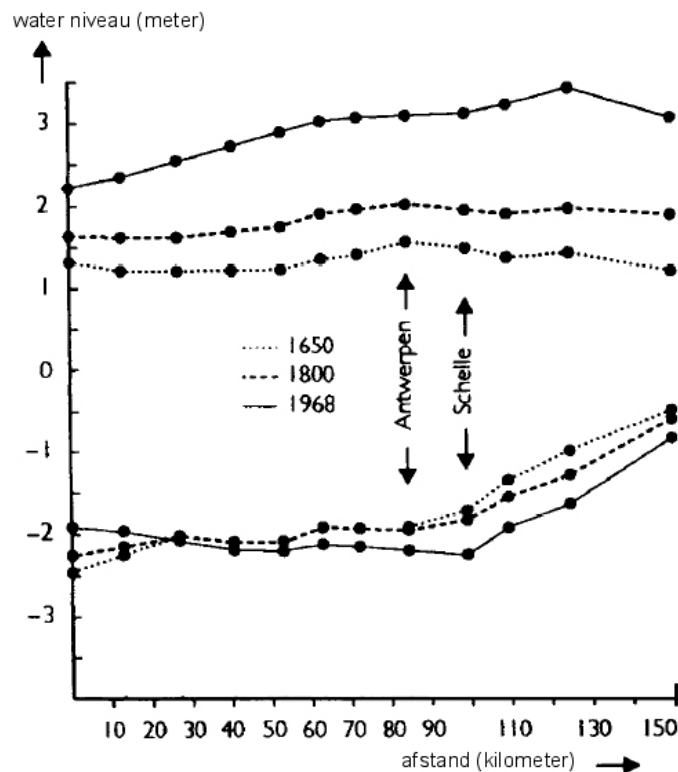
Getijdoordringing in de Westerschelde

Van den Berg et al. [1996] en Van der Spek [1997] beschrijven de historische getijdoordringing in de Westerschelde. De Westerschelde was vroeger een ondieper basin dan het nu is. Het kende een groter oppervlak intergetijdengebieden aan weerszijden van het water en uitgestrekte polders. Import van zand in het systeem leidde tot een uitbreiding van de bestaande intergetijdengebieden en de opbouw van plaatgebieden tussen de geulen. De import van zand leidde er ook toe dat polders verzandden en intergetijdengebieden langs de oevers (slikken) ophoogden en zich ontwikkelden tot schorgebied. Polders en schorgebied werden vervolgens bedijkt. De oppervlakte van de intergetijdengebieden nam daardoor sterk af. Van 295 km² in 1650, tot 196 km² in 1800, tot 104 km² in de huidige Westerschelde.

Gelijktijdig met de sterke afname van de intergetijdengebieden, verdubbelde de gemiddelde diepte van het estuarium ongeveer door die afname van oppervlakte van de intergetijdengebieden en het dieper worden van de geulen. Het dieper worden van de geulen reduceerde de energie-dissipatie van de getijgolf. De afname in energie-dissipatie van de getijgolf leidde tot een grotere amplitude van het getij en een grotere voortplantingssnelheid van de getijgolf. De gemiddelde getijgolf legde de afstand Vlissingen - Antwerpen in de 16^e eeuw in 4,5 uur af. Tegenwoordig is het tijdsverschil nog 2 uur. Tevens leidde de toename in getijslag tot hogere hoogwaters en lagere laagwaters. Sinds 1650 nam het kombergingsoppervlak af met 44%. Het vloedvolume nam slechts af met 13%. 31% werd gecompenseerd door een toename van de getijslag en een toename van de voortplantingssnelheid van de getijgolf. De toename van de getijslag is weergegeven in onderstaande figuren.



Figuur 4: Getijslag in de Westerschelde sinds 1650 [Van den Berg et al., 1996]



Figuur 5: Hoog- en laagwater niveaus voor het Schelde-estuarium in 1650, 1800 en 1968 [Van der Spek, 1997]

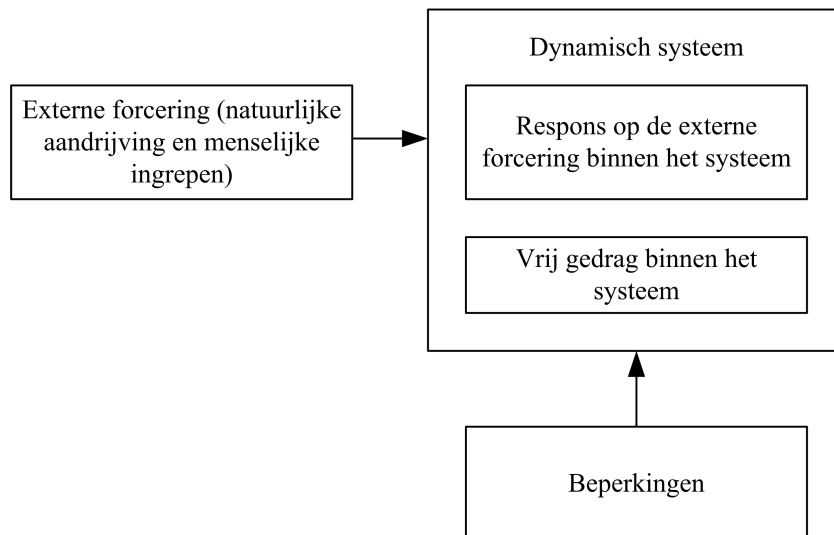
2.3 Morfologische dynamiek in de Westerschelde

Morfologische dynamiek speelt een belangrijke rol in de Westerschelde. In deze paragraaf wordt een conceptueel model geschetst voor morfologische dynamiek in de Westerschelde.

Dynamisch systeem

De Westerschelde is een dynamisch systeem. Met ‘dynamisch’ wordt bedoeld dat het systeem constant onderhevig is aan veranderingen. Het gedrag van het dynamisch systeem wordt bepaald door aan de ene zijde externe aandrijving (forcing) en aan de andere zijde de beperkingen die het systeem worden opgelegd [Stive et al., 1998]. De externe forcing bestaat uit zowel natuurlijke aandrijving (het getij, de rivierafvoer, de wind en de golven) als menselijke ingrepen (baggeren, storten, zandwinning). Met de beperkingen worden de vastgelegde grenzen door bedijkingen en inpolderingen bedoeld.

De externe forcing leidt tot een respons binnen het systeem die leiden tot morfologische veranderingen. Naast deze geforceerde respons kan het systeem vrij gedrag vertonen [Stive et al., 1998]. Dat wil zeggen dat er zich morfologische veranderingen kunnen voordoen die niet kunnen worden herleid tot variaties in de externe forcing. Dit vrije gedrag wordt veroorzaakt door de interne dynamiek van het systeem. Een voorbeeld van dit vrije gedrag is de vorming van bodemribbels. Het dynamisch systeem met externe forcing, respons en vrij gedrag is weergegeven in onderstaand figuur.



Figuur 6: Schematisatie van een dynamisch systeem met externe forcering, respons en vrij gedrag

Ruimte- en tijdschalen van estuariene morfologie

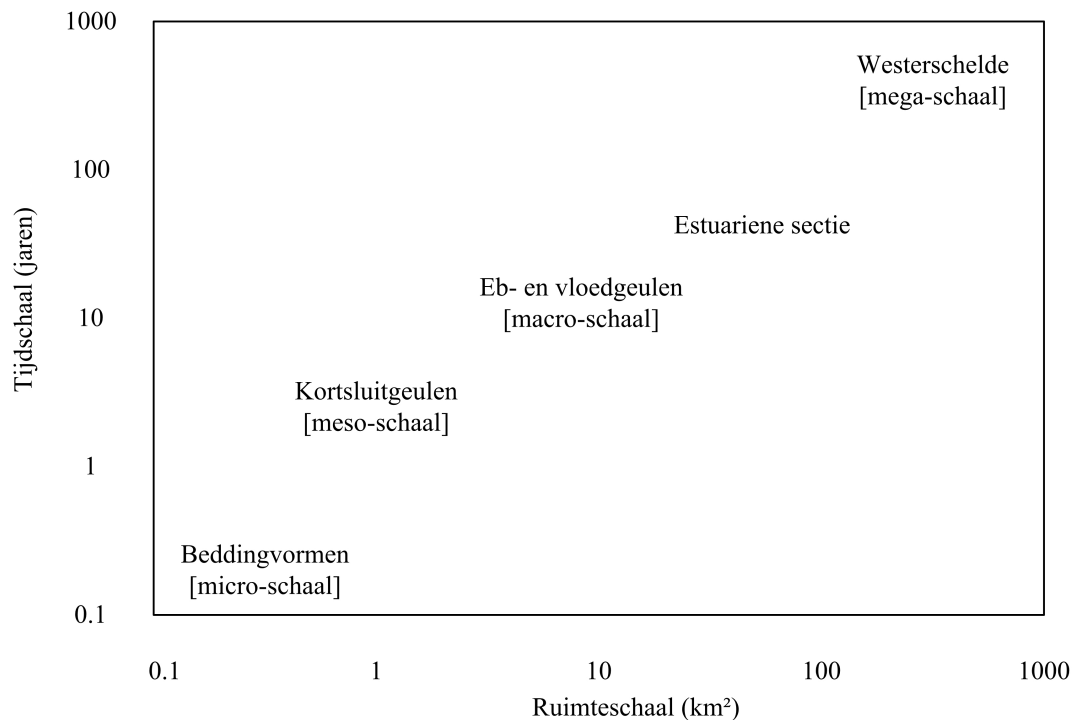
In de Westerschelde speelt de morfologie een grote rol. Morfologie is de wetenschap die de veranderingen in de bodemligging en de geometrie bestudeert (morfos [Grieks] = vorm). Het morfologische gedrag leidt tot een verschijningsvorm van het systeem. Estuariene morfologie vindt plaats op verschillende ruimte- en tijdschalen, van megaribbel formatie op een tijdschaal van minuten tot de evolutie van het hele estuarium op een tijdschaal van eeuwen [De Vriend, 1999]. Stive et al. [1998] onderscheiden vier schaalniveaus waarop veranderingen plaatsvinden; de mega-, de macro-, de meso- en de micro-schaal. Zo ontstaat binnen de Westerschelde een cascade van systemen, ieder met dynamische veranderingen op een specifieke ruimte- en tijdschaal.

- *Mega-schaal dynamiek*: veranderingen op de schaal van de hele Westerschelde. Bijbehorende tijdschalen zijn eeuwen.
- *Macro-schaal dynamiek*: veranderingen op het niveau van eb- en vloedgeulen². Bijbehorende tijdschalen zijn decennia.
- *Meso-schaal dynamiek*: veranderingen zoals het ontstaan, migreren en verdwijnen van kortsluitgeulen³, sedimenttransport over de platen en plaat-geul uitwisseling van sediment. Bijbehorende tijdschalen zijn jaren tot decennia.
- *Micro-schaal dynamiek*: veranderingen op het niveau van beddingvormen, zoals megaribbels. Bijbehorende tijdschalen zijn dagen.

Deze cascade van schalen is weergegeven in onderstaande figuur. In deze figuur is ook de estuariene sectie opgenomen. Een estuariene sectie is een samengestelde morfologische eenheid bestaande uit twee hoofdgeulen gescheiden door een plaat. De estuariene sectie wordt verder toegelicht in paragraaf 3.5.

² De eb- en vloedgeulen worden beschreven in paragraaf 3.4. Het zijn de grootste geulen in de Westerschelde, parallel aan de bedijkingen van het systeem, gescheiden door platen.

³ De kortsluitgeulen worden beschreven in paragraaf 3.4. Het zijn de kleinere geulen in het systeem en vormen de verbindingen tussen de eb- en vloedgeulen.



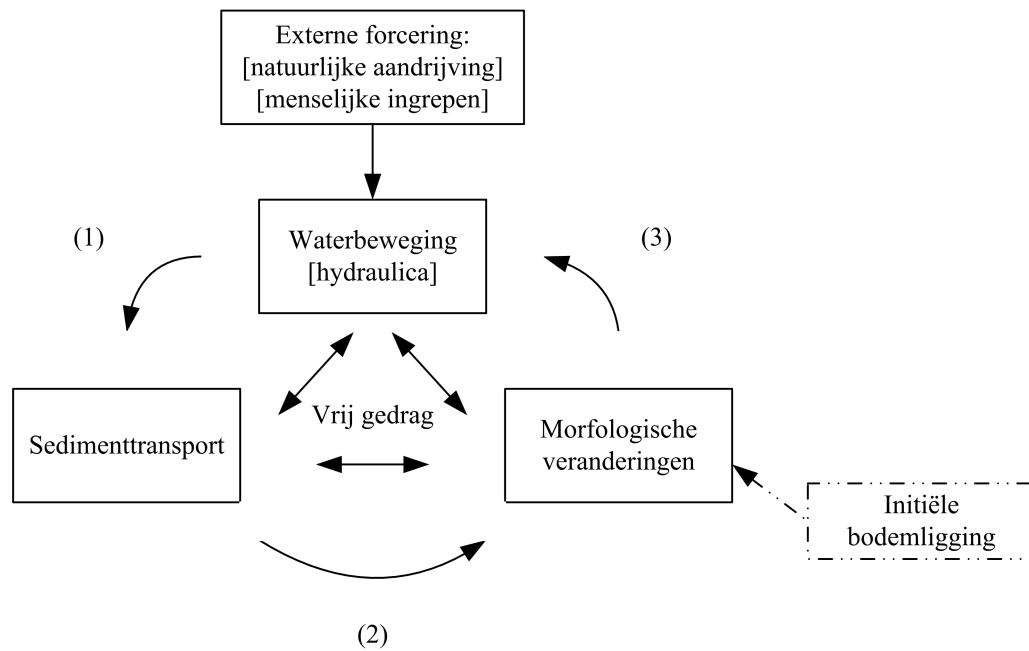
Figuur 7: Tijd- en ruimteschalen van estuariene morfologie [Jeuken, 2000]

Op iedere schaal kan forcering worden uitgeoefend. En op iedere schaal kan respons worden verwacht. Via interne wisselwerkingen, interacties tussen verschillende schaalniveaus, kan er ook respons op andere niveaus ontstaan. Zo beïnvloedt de ontwikkeling op mega-schaal de beschikbare ruimte voor ontwikkelingen op macro-schaal. Menselijke ingrepen in het verleden als bedijkingen en inpolderingen hebben geleid tot een fixatie en stroomlijning van het hele estuarium. Op de mega-schaal heeft het systeem daardoor geen vrijheidsgraden meer. Op de macro-schaal zijn de hoofdgeulen vastgelegd ten behoeve van de scheepvaart. De meso-schaal wordt als meest dynamische schaal binnen het systeem verondersteld.

Morfodynamisch systeem

De Westerschelde is een dynamisch systeem waarin de estuariene morfologie een belangrijke rol speelt; een morfodynamisch systeem. In een definitiestudie van WL | Delft Hydraulics [Stive et al., 1998] is morfologische dynamiek gedefinieerd als: *'De intensiteit en de frequentie van morfologische veranderingen en het daaraan gerelateerde sedimenttransport.'* De morfologische dynamiek is het resultaat van sedimenttransport als gevolg van de waterbeweging. Op iedere schaal vinden er niet-lineaire interacties plaats tussen waterbeweging, sedimenttransport en morfologie [Stive et al., 1998]. De waterbeweging in de Westerschelde wordt voornamelijk gedreven door de getijbeweging (natuurlijke forcering). De waterbeweging veroorzaakt het sedimenttransport wat leidt tot plaatselijke erosie (afslijting) en sedimentatie (aanzanding). De maat van de verandering in de waterbeweging is daarbij een maat voor de verandering in het sedimenttransport ($s \sim v^3$). De opgetreden morfologische veranderingen beïnvloeden weer de waterbeweging. Vervolgens zal het systeem een nieuw (morfodynamisch) evenwicht vinden of het oude evenwicht herstellen. Dit wordt de morfodynamische cyclus genoemd.

In onderstaand figuur is het morfodynamisch systeem weergegeven. In de figuur wordt de morfodynamische cyclus afgebeeld; de pijlen 1, 2 en 3. Deze cyclus wordt gedreven door externe forcering en binnen de cyclus speelt vrij gedrag, zoals eerder uitgelegd.



Figuur 8: Schematisatie Westerschelde als morfodynamisch systeem [Hibma, 2004]

3 Het meergeulenstelsel van de Westerschelde

Dit hoofdstuk geeft antwoord op de hoofdvraag: *‘Wat wordt in dit onderzoek verstaan onder het meergeulenstelsel van de Westerschelde?’* Eerst wordt beschreven wat in het beleid staat over het meergeulenstelsel. Vervolgens komen aan bod: de empirische waarnemingen van geulen in estuaria van Allersma [1992, 1994] en de beschrijving van de morfologische karakteristieken door Van Veen [1950]. De systeemattributen worden beschreven waaruit het meergeulenstelsel is opgebouwd. Enkele fysische processen worden beschreven waar het meergeulenstelsel zijn vorm aan te danken heeft.

Voor het beleidsuitgangspunt ‘instandhouding van het meergeulenstelsel’ zijn twee fysische karakteristieken vastgesteld die als essentieel worden beschouwd om het meergeulenstelsel in stand te houden. Deze karakteristieken hebben betrekking op systeemattributen en zijn de volgende:

1. De stabiliteit van de eb- en vloedgeulen
2. De aanwezigheid van kortsluitgeulen

Naar beide karakteristieken zijn onderzoeken uitgevoerd. Beide onderzoeken, naar de stabiliteit van de eb- en vloedgeulen [Winterwerp et al., 2000a] en naar de aanwezigheid van kortsluitgeulen [Swinkels 2006] worden beschreven.

3.1 Het meergeulenstelsel in de beleidscontext

Het meergeulenstelsel in de belangrijkste beleidsdocumenten

Langetermijnvisie Schelde-estuarium

De volgende citaten uit de Langetermijnvisie hebben betrekking op het meergeulenstelsel:

- *‘De Langetermijnvisie is gericht op de drie geprioriteerde functies. Daarbij wordt gesteld dat voor alle drie de functies de morfologie van het estuarium een belangrijke bepalende factor is, wat leidt tot bijzondere aandacht voor dit aspect. De visie op de ontwikkeling van de morfologie heeft in de Langetermijnvisie een centrale plaats gekregen.’* [Langetermijnvisie, pag. 1]
- *‘De morfologie van het estuarium en de mogelijke veranderingen daarin door deze ingrepen zijn van groot belang voor alle belangrijke functies in het gebied.’ ... ‘Het morfologieonderzoek geeft aanwijzingen dat het geulen -en- platenstelsel in staat is de huidige bagger- en stortinspanningen te verwerken.’ ... ‘De morfologische effecten vormen een zeer dominant gegeven voor het ontwikkelen van de Langetermijnvisie aangezien zowel de natuurlijkheid, en de toegankelijkheid alsook de veiligheid hier in belangrijke mate mee samenhangen.’* [Langetermijnvisie, pag. 7]

De essentie van bovenstaande citaten uit de Langetermijnvisie is dat de morfologie een centrale plaats heeft gekregen in het onderzoek omdat de morfologie als sturend wordt

beschouwd voor het meergeulenstelsel en daardoor van belang is voor de functies. Het meergeulenstelsel en estuariene morfologie kunnen niet los van elkaar gezien worden. Bij het opstellen van de Langetermijnvisie werden dan ook vier zogenaamde werkgroepen gevormd; één voor elk van de drie functies en één voor morfologie [Winterwerp et al., 2000a].

In de Langetermijnvisie is het meergeulenstelsel als een verzameling fysieke systeemkenmerken beschreven, in het eerste kenmerk van het geformuleerde streefbeeld: *‘De instandhouding van de fysieke systeemkenmerken van het estuarium is uitgangspunt van beheer en beleid. In 2030 zijn de fysieke systeemkenmerken: een open en natuurlijk mondingsgebied, een systeem van hoofd- en nevengeulen met tussenliggende platen en ondiepwatergebieden in de Westerschelde en een riviersysteem met meanderend karakter in de Zeeschelde. Daarnaast treft men een grote diversiteit aan van schorren, slikken en platen in zout, brak en zoet gebied, gecombineerd met natuurvriendelijke oevers.’* [Langetermijnvisie pag. 19]

In de beschrijving van de gewenste situatie in 2030 van de Westerschelde wordt het veronderstelde belang van het meergeulenstelsel voor de functies toegelicht: *‘De instandhouding van het meergeulenstelsel in de Westerschelde, met zijn kenmerkende geleidelijke overgangen tussen platen, slikken, geulen en ondiep water, is uitgangspunt van beheer. Met deze strategie worden voordelen bereikt voor veel functies van het estuarium: kleine scheepvaart maakt van de nevengeulen gebruik, de komberging blijft groot waardoor de veiligheid tegen overstromen op niveau blijft, de kenmerkende levensgemeenschappen zijn in gezonde toestand en het onderhoudsbaggerwerk blijft gelimiteerd. Een uitgekiend bagger- en stortbeleid draagt hier in belangrijke mate aan bij.’* [Langetermijnvisie pag. 23]

Ontwikkelingsschets 2010 Schelde-estuarium

De volgende citaten uit de Ontwikkelingsschets hebben betrekking op het meergeulenstelsel:

- *‘Veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid zijn het beste gediend met een dynamisch systeem. Het dominante kenmerk van het Schelde-estuarium is de dynamiek. Die dynamiek manifesteert zich in het getij, een (meer)geulenpatroon dat voortdurend verandert en in wisselende zoutconcentraties.’* [Ontwikkelingsschets pag. 13]
- *‘Bij het maken van keuzes voor de Ontwikkelingsschets geldt de handhaving van de fysieke systeemkenmerken van het estuarium als randvoorwaarde. Deze kenmerken zijn namelijk cruciaal voor het bereiken van de doelstellingen voor de thema’s veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid.’* [Ontwikkelingsschets pag. 21]

In beide citaten uit de Ontwikkelingsschets wordt de veronderstelde relatie gelegd tussen het meergeulenstelsel en de functies.

Beoordelingskader Schelde-estuarium

In het kader van het ‘Langetermijnvisie Onderzoek en Monitoringsprogramma’ is het Beoordelingskader Schelde-estuarium (BKSE) [Ecolas, 2005] ontwikkeld. Het doel van het BKSE project is te komen tot een coherente set van uitgewerkte beleidsindicatoren met betrekking tot de functies van de Langetermijnvisie, om de beleidsmakers te ondersteunen bij het integrale en duurzame beheer van het Schelde-estuarium. Een beleidsindicator wordt in het BKSE gedefinieerd als een indicator die hoort bij een beleidsdoelstelling, of in dit geval één van de functies van de Langetermijnvisie. Het BKSE is een onderzoeksdocument

en zal worden gebruikt bij het opstellen van het definitieve beoordelingskader. Het rapport op zich heeft geen formele status.

In het beoordelingskader is ‘behoud van het meergeulenstelsel’ geselecteerd als beleidsindicator voor de functies toegankelijkheid en natuurlijkheid. Het behoud van het meergeulenstelsel wordt gedefinieerd als: *‘Het blijvende voorkomen van een (dynamisch) systeem van hoofd- en nevengeulen met tussenliggende platen en ondiepwatergebieden in het Schelde-estuarium.’* Het behoud wordt geëvalueerd aan de hand van areaalsamenstelling van het volledige estuarium. De kwantitatieve onderverdeling van het totaalareaal estuarium wordt uitgedrukt in een absolute oppervlakte (ha. of km²) per type areaal. De typen areaal die worden onderscheiden zijn: slikken en schorren, ondiepwatergebied, hoofdgeul, nevengeul en platen.

Synthese meergeulenstelsel in beleid

In de Langetermijnvisie komt duidelijk naar voren dat de fysieke systeemkenmerken van de Westerschelde behouden moeten blijven en dat onder die fysieke systeemkenmerken wordt verstaan het meergeulenstelsel. De morfologie neemt in het onderzoek in het kader van het opstellen van de Langetermijnvisie een centrale plaats in omdat de morfologie en de ontwikkelingen daarin een belangrijke rol spelen bij de ontwikkelingen van het meergeulenstelsel. In de Ontwikkelingsschets wordt vervolgens de relatie gelegd tussen het meergeulenstelsel en de functies van de Langetermijnvisie.

In het beoordelingskader wordt het meergeulenstelsel als beleidsindicator geschaard onder de functies toegankelijkheid en natuurlijkheid. Tevens wordt een definitie gegeven van waar het meergeulenstelsel uit bestaat, naar oppervlakte van type areaal. Waar hiermee aan voorbij wordt gegaan is de dynamiek van het meergeulenstelsel en de verdeling van de typen areaal over de Westerschelde. Theoretisch gezien kan deze definitie in werkelijkheid verschillende verschijningsvormen hebben, van een dynamisch systeem zoals het oorspronkelijk was tot een volledig vastgelegd systeem met duidelijke begrenzingen.

In de beleidsdocumenten is niet duidelijk verwoord wat het meergeulenstelsel is, wanneer men het heeft over instandhouding van het meergeulenstelsel. Om tot een beschrijving te komen van wat onder het meergeulenstelsel wordt verstaan in dit onderzoek is een verdere literatuurstudie uitgevoerd.

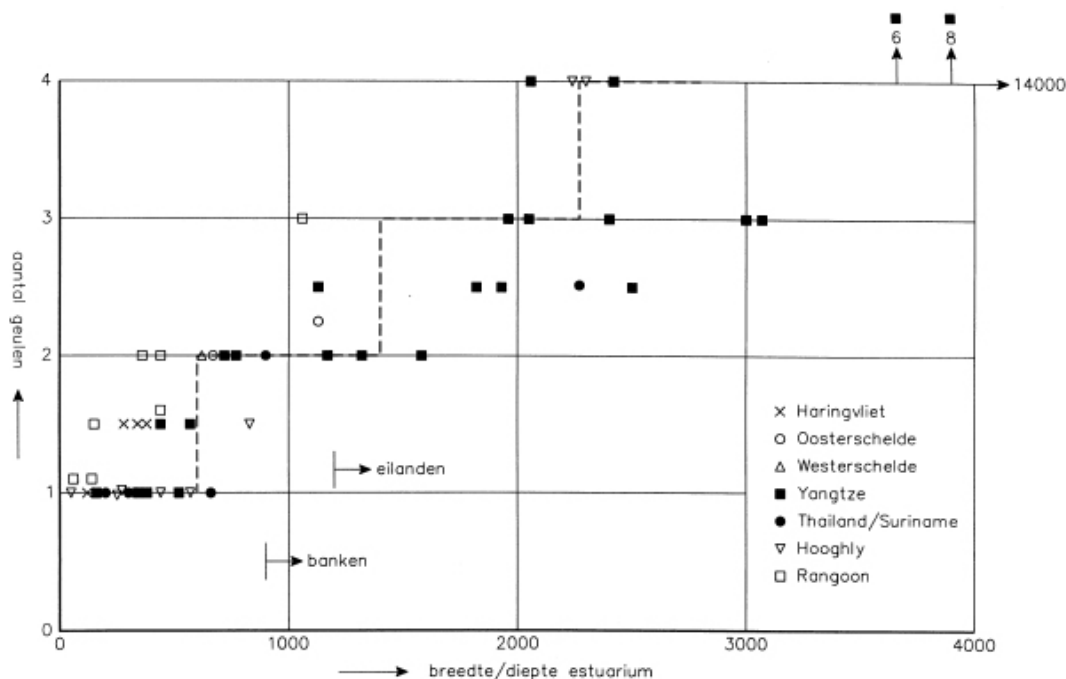
3.2 Geulen in estuaria - Allersma

Allersma [1994] beschrijft de mogelijke redenen van het voorkomen van meerdere geulen in estuaria. In deze studie is onderzoek gedaan naar het voorkomen geulen in estuaria in relatie tot de afmetingen van het estuarium en optredende getijvolumes. Volgens deze studie is het maatgevende getijvolume (V) in een alluviaal⁴ estuarium in evenwicht met een stroomprofiel (A_0), een breedte (B_0) en een diepte (D_0); zodat $A_0 = B_0 \cdot D_0$. Hoe dit stroomprofiel in het dwarsprofiel van het estuarium wordt gerealiseerd hangt in belangrijke mate af van de beschikbare breedte van het estuarium (B_E) vergeleken met de benodigde breedte van de stroomgeul (B_0):

⁴ Alluviaal betekent door aanslibbing ontstaan.

- Voor $B_E \leq B_0$ is de breedte van de geul (B_G) gelijk aan de beschikbare breedte $B_E = B_G$ en dus is de diepte $D_G = A_0/B_G$.
- Voor $B_E > B_0$ wordt $B_G = B_0$ en $D_G = D_0$. Naast de geul(en) is in het estuarium ruimte over waarin water kan worden geborgen en waarin de geul(en) ruimte wordt geboden voor morfologische ontwikkelingen.

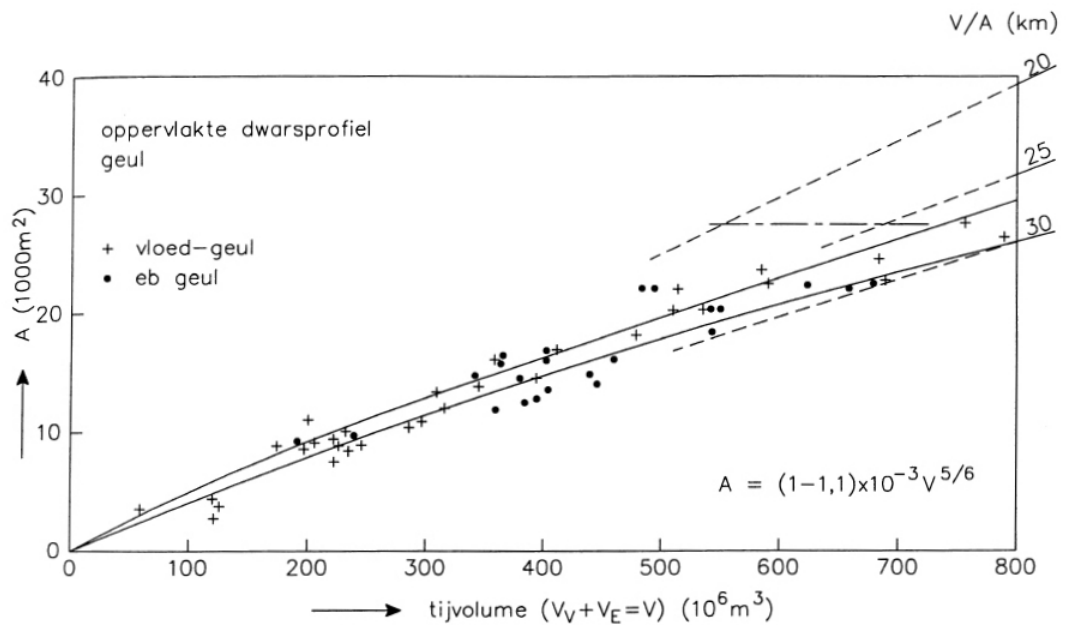
Voor een inzicht in de patronen van geulen in estuaria heeft Allersma [1994] verzameld over enkele karakteristieke estuaria, met verschillende fysische kenmerken. In Figuur 9 is het aantal geulen in de dwarsprofielen van de estuaria uitgezet tegen de verhouding van de breedte (B_E) en de diepte (D_E) van het profiel. Aangezien de gemiddelde diepte bij de bredere estuaria nauwelijks meer toeneemt, is daar de breedte een ruwe maat voor de oppervlakte van het dwarsprofiel. De grafiek geeft een consistent beeld van een toenemend aantal geulen naarmate het estuarium breder is.



Figuur 9: Aantal geulen in een dwarsprofiel van een estuarium [Allersma, 1994]

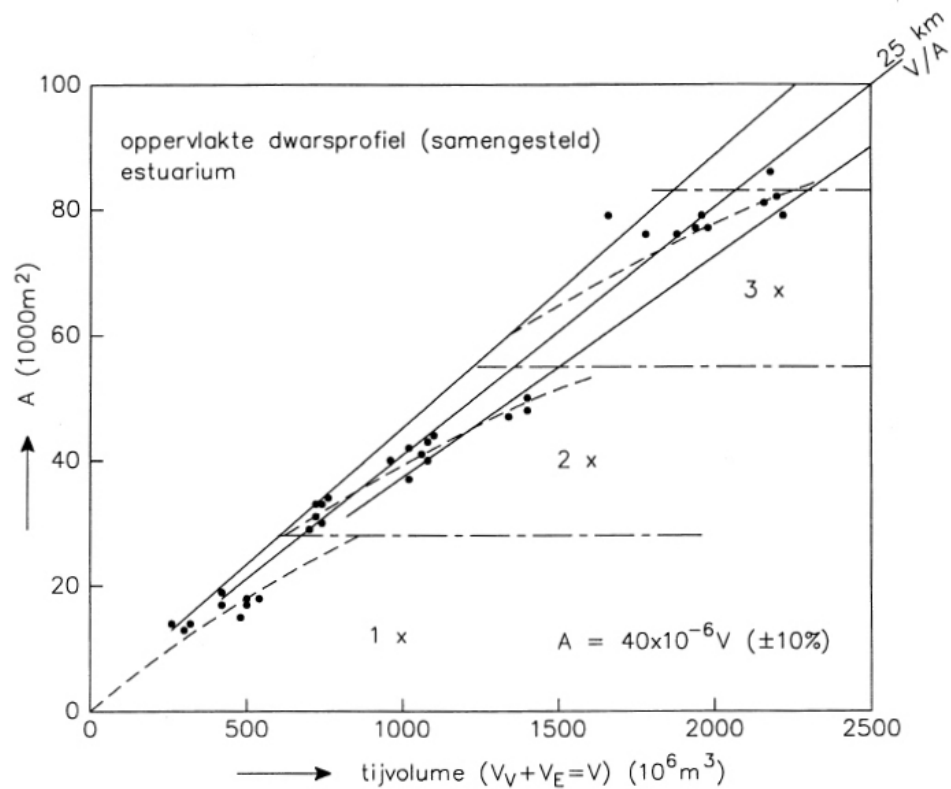
In het algemeen blijkt er een verband te bestaan tussen de dwarsafmetingen van een systeem en het aantal aanwezige geulen [Allersma, 1992]. Figuur 10 toont de relatie tussen de oppervlakte (onder NAP) van de dwarsprofielen van geulen en het getijvolume in het geval van de Westerschelde. De afzonderlijke geulen blijken 'efficiënter' te zijn naarmate ze groter worden. De verhouding V/A , een maat voor de getijweg⁵ en dus de stroomsnelheden, neemt toe van 20 naar 30 kilometer. Deze waarnemingen in de Westerschelde suggereren een maximum aan de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van een enkele geul van 25.000 à 30.000 m², overeenkomend met een getijvolume van $800 \cdot 10^6$ m³.

⁵ De getijweg is de afstand waarover het water zich verplaatst gedurende een getij (12 uur en 25 minuten). Een getijweg van 20 kilometer komt overeen met een stroomsnelheid van het water van 0,45 m/s.



Figuur 10: Relatie tussen getijvolume en oppervlakte van het dwarsprofiel van de geulen [Allersma, 1992]

Figuur 11 toont de relatie tussen de oppervlakte (onder NAP) van het totale estuarium en het getijvolume in het geval van de Westerschelde.



Figuur 11: Relatie tussen getijvolume en oppervlakte van het dwarsprofiel van het estuarium [Allersma, 1992]

Deze figuur laat zien dat wanneer het dwarsoppervlak van het estuarium de grens van 25.000 à 30.000 m² overschrijdt, het systeem een meergeulenstelsel is. Grotere

dwarsprofielen zouden dan de neiging hebben zich te delen in meerdere geulen met min of meer geprononceerde banken er tussen. Ook is er een grens waarbij er drie geulen waar zijn te nemen.

Met een dwarsoppervlak van het systeem dat kleiner is dan $25.000 \text{ à } 30.000 \text{ m}^2$ is het systeem overigens niet automatisch een systeem met slechts één watervoerende hoofdgeul, een zogenaamd ééngeulensysteem. Van de monding bij de Noordzee bestaat het systeem uit meer geulen, tot aan de grens bij Doel (net voor Antwerpen), waar de dwarsdoorsnede 15.000 m^2 is. Hetzelfde geldt voor het getijvolume. Het maximum aan de oppervlakte van een dwarsdoorsnede van een enkele geul van $25.000 \text{ à } 30.000 \text{ m}^2$ komt overeen met een getijvolume van $800 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Deze waarde van het getijvolume wordt bereikt bij Hansweert. En zoals gezegd bestaat het systeem uit meer geulen tot aan de grens bij Doel waar het getijvolume een waarde bereikt van $100 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Gegevens van andere estuaria suggereren ook dat er een bovengrens is aan een geul, waarbij deze neigt zich te gaan delen. Deze bovengrens lijkt toe te nemen met de grootte van het estuarium en de fijnheid van het sediment. Het aantal geulen neemt ook toe met het getijvolume; wel met een aanzienlijke spreiding. Een universele relatie tussen het aantal geulen en het getijvolume is niet gevonden.

De Westerschelde is volgens de studie van Allersma [1992] een systeem dat in de dwarsrichting voldoende breed is om meerdere geulen te bergen. Door de vrijheid die het systeem heeft in de breedterichting (dwars op de stroomrichting) is er plaats voor meerdere geulen met daartussen platen die tijdens eb droogvallen. Deze karakteristieken van het systeem zijn beschreven door Van Veen [1950].

3.3 Beschrijving morfologische karakteristieken - Van Veen

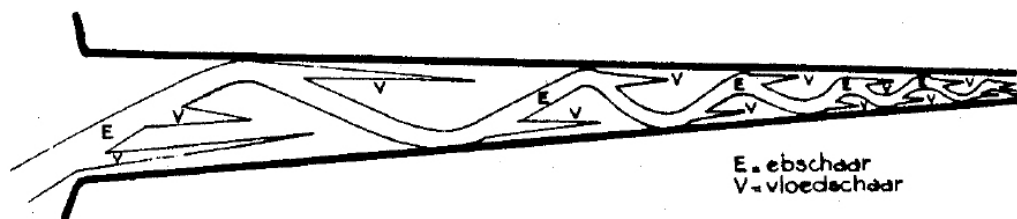
Van Veen [1950] beschrijft als eerste de morfologische karakteristieken van het geulensysteem van de Westerschelde. Volgens zijn artikel beweegt het water, dat het estuarium instroomt met de vloedstroom en het estuarium uitstroomt met de ebstroom, zich niet altijd gelijkmatig over de gehele breedte het estuarium in, maar concentreert het zich in geulen. In het systeem kunnen ebgeulen en vloedgeulen worden onderscheiden. Van Veen noemt dit eb- en vloedscharen. Een ebgeul wordt gedefinieerd als een getijgeul waarin het ebvolume groter is dan het vloedvolume. In een ebgeul vormt zich een door eb gedreven zandstroom waardoor deze aan het zeeëinde een ondiepte vormt. Een vloedgeul wordt gedefinieerd als een getijgeul waarin het vloedvolume groter is dan het ebvolume. In een vloedgeul vormt zich een door vloed gedreven zandstroom waardoor deze aan het landeinde een ondiepte vormt.

Volgens Van Veen [1950] zullen zich in een estuarium meerdere geulen ontwikkelen door de vrijheid die het systeem heeft in de breedte (dwars op de stroomrichting). Door de te grote plaatselijke breedte van het estuarium zal de hoofdgeul zich splitsen in een ebschaar en een vloedschaar die langs elkaar gaan stromen met daartussen een ondiepte. Het ebdominante zandtransport in de ebschaar zorgt er voor dat erosie van de buitenbocht plaatsvindt en sedimentatie van de binnenbocht. Wanneer de geulen vervolgens niet geleid worden door de oevers, zal zich een meanderende hoofdebgeul ontwikkelen die in de bochten leunt tegen de weerstand biedende oever. Vanuit de bochten van deze hoofdebgeul zullen zich vloedgeulen

ontwikkelen. Tussen de eb- en vloedgeulen ontwikkelen zich platen die droogvallen bij laagwater. Als gevolg van deze natuurlijke neiging van de geulen van elkaar weg te bewegen, kunnen de geulen niet samenvallen, noch hun individuele positie behouden.

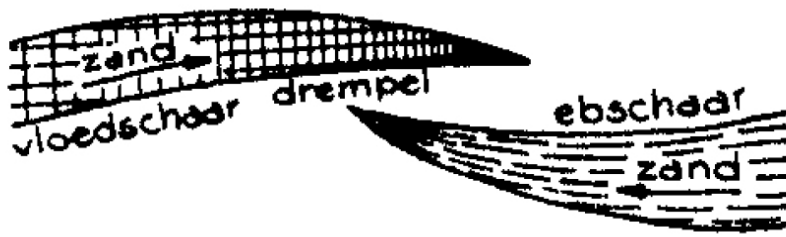
De ebgeulen zijn van nature dieper dan de vloedgeulen. Deze fysieke karakteristiek van het systeem is te wijten aan het moment van optreden van maximale stroomsnelheden tijdens de ebstroom en vloedstroom. De maximale stroomsnelheid van het water tijdens de ebstroom treedt op wanneer het water ter hoogte van NAP is, wanneer de platen al zijn drooggevallen. Het snelstromende water is daarom gedwongen de ebgeulen te volgen. Het water concentreert zich in de geulen bij de maximale stroomsnelheid. De ebgeulen worden op deze manier op een natuurlijke manier uitgeschuurd en op diepte gehouden. Vanuit elke grote bocht van de doorlopende ebgeul ontspringt een vloedgeul. De maximale stroomsnelheid van het water tijdens de vloedstroom treedt ongeveer een uur voor hoogwater op, wanneer de platen al onder water staan. Het water kiest de kortste weg en trekt de plaatgebieden over. Op deze manier vormen zich rechte vloedgeulen vanuit de bochten van de ebgeul die in bovenstroomse richting van het estuarium, ondieper en smaller worden. De ebgeulen zijn dan ook dieper dan de vloedgeulen. De grote ebgeulen vormen een min of meer doorlopende meanderende geul, beperkt door vaste punten in het estuarium, voornamelijk dijken en vormen de hoofdvaargeul voor de scheepvaart. De ondieptes in deze hoofdvaargeul worden gevormd waar de eb- en vloedgeulen elkaar ontmoeten. Omdat deze ondieptes limiterend zijn voor de scheepvaart, worden ze ook wel drempels genoemd.

Deze schematisatie van het geulensysteem in de Westerschelde is in onderstaande figuur van Van Veen [1950] weergegeven.



Figuur 12: Schematisatie van een ideaal systeem van eb- en vloodscharen in de Westerschelde [Van Veen, 1950]

Omdat in een ebgeul de eb-zandstroom overheerst en in een vloedgeul de vloed-zandstroom, wordt nabij het ontmoetingspunt van een eb- en vloedgeul dus van weerszijden zand aangevoerd. Een deel hiervan vormt een drempel. Deze drempels beïnvloeden het watertransport. Het water zal geneigd zijn de drempel te ontwijken. Dit is de reden voor het gedrag van geulen, waarbij de ebgeul de vloedgeul tracht te vermijden en omgekeerd. Dit vermijden van de eb- en vloedgeulen is weergegeven in onderstaande schematisatie.



Figuur 13: Schematisatie van elkaar vermijdende eb- en vloedgeulen [Van Veen, 1950]

3.4 Beschrijving van het meergeulenstelsel

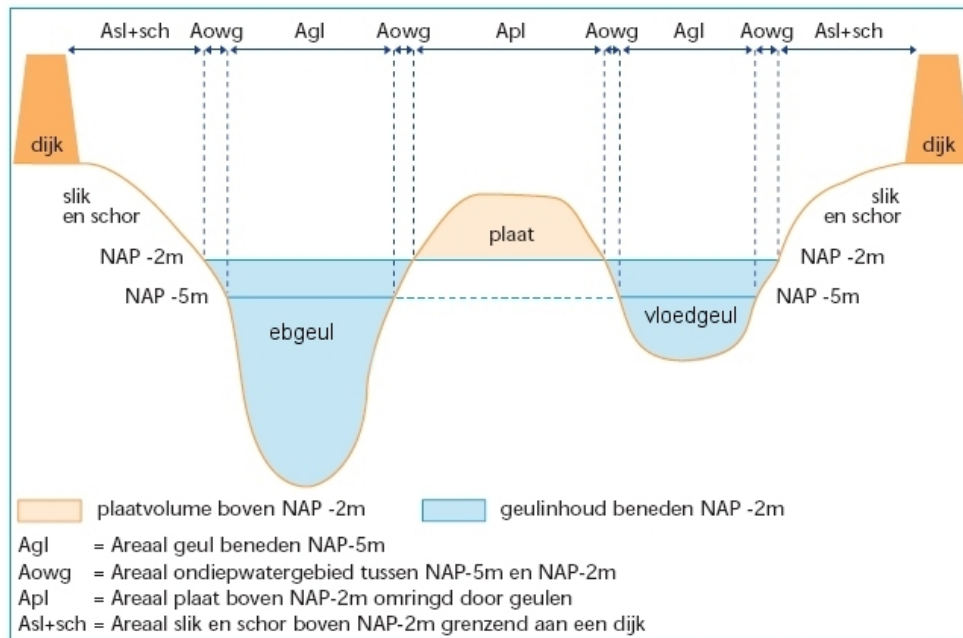
Het meergeulenstelsel is niet eenvoudig te definiëren. De voornaamste reden daarvoor is dat het een zeer complex systeem is dat constant onderhevig is aan veranderingen. Het meergeulenstelsel kan beschreven en gedefinieerd worden, door op verschillende manieren het systeem te beschouwen:

1. *Systeemattributen*: Het meergeulenstelsel kan beschouwd worden aan de hand van de zogenaamde systeemattributen. Deze systeemattributen zijn daadwerkelijk waar te nemen en vormen de resultante van alle fysische processen die spelen binnen het systeem.
2. *Fysische processen*: Fysische processen zijn niet waar te nemen als afgebakende entiteiten, maar ze beschrijven de manier waarop veranderingen plaatsvinden en welke systeemattributen binnen het systeem op elkaar van invloed zijn. Binnen de fysische processen is onderscheid te maken naar hydraulische en morfologische processen. Het geheel aan fysische processen beschrijft uiteindelijk de evolutie van de Westerschelde en het meergeulenstelsel.
3. *Grenzen van instandhouding*: Een derde manier om het meergeulenstelsel te beschrijven is het vaststellen van de grenzen van instandhouding. Met grenzen van instandhouding wordt bedoeld de grenzen, waarvan overschrijding daarvan betekent dat het systeem niet meer te beschouwen is als een meergeulenstelsel. Die grenzen kunnen overschreden worden door natuurlijke evolutie; verlanding door sedimentimport of verdrinking door sedimentexport en/of zeespiegelrijzing. Maar de grenzen kunnen ook overschreden worden door menselijke ingrepen in het systeem. In dit laatste is men vooral geïnteresseerd, omdat men daarmee bijvoorbeeld grenzen kan stellen aan baggeren en storten met behoud van het meergeulenstelsel.

Het meergeulenstelsel is een morfodynamisch systeem waarin waterbeweging, sedimenttransporten en morfologische veranderingen op elkaar van invloed zijn. Het is echter (nog) niet bekend op welke manier de systeemattributen en de fysische processen zich tot elkaar verhouden en elkaar beïnvloeden. Een sluitende procesbeschrijving is dus niet mogelijk en wordt dus ook niet beschreven in dit rapport. Het is wel bekend dat het systeem een vorm van asymmetrie kent, die bepalend is voor enkele karakteristieken van het systeem en de oorzaak van verschillende fysische processen. Eerst volgt een beschrijving van de systeemattributen. Daarna wordt de rol van asymmetrie van het systeem toegelicht. Onderzoeken naar de fysische samenhang waar al resultaten zijn geboekt, worden beschreven in de 2 paragrafen daarna.

Beschrijving systeemattributen van het meergeulenstelsel

Om de beschrijving van de systeemattributen te verduidelijken is hieronder een schematisatie gegeven van de dwarsdoorsnede van het systeem. Alle systeemattributen kunnen in deze schematisatie onderscheiden worden met uitzondering van de kortsluitgeulen en de drempels.



Figuur 14: Dwarsprofiel Westerschelde [Withagen et al., 2003]

Eb- en vloedgeulen

Deze geulen hebben binnen het systeem een watertransportfunctie. De eb- en vloedgeulen zijn te onderscheiden door de dominantie van de eb respectievelijk de vloedstroom waardoor aan het uiteinde van de geul zich een ondiepte vormt, een drempel. Deze beschrijving komt overeen met de beschrijving van de eb- en vloedscharen zoals Van Veen [1950] die beschrijft. De eb- en vloedgeulen, de waterbeweging daarin en het daaraan gerelateerde zandtransport vormen de basis van het meergeulenstelsel.

De eb- en vloedgeulen kunnen zich in theorie verplaatsen. Dit was vroeger ook het geval toen de ebgeulen zich verplaatsten richting de oevers. Bedijkingen en inpolderingen in het verleden hebben echter geleid tot een fixatie en stroomlijning van het totale estuarium. Rond 1930 hadden de meanderende ebgeulen de oevers bereikt, de configuratie van de grote eb- en vloedgeulen lag op de meeste plaatsen vast, en daarmee kwam de breedte van het systeem vast te liggen, met als gevolg dat het systeem geen horizontale vrijheidsgraden meer heeft op mega-schaal (de schaal van het hele estuarium) [Winterwerp et al., 2000a]. In de huidige situatie hebben de eb- en vloedgeulen weinig bewegingsvrijheid meer vergeleken met vroeger. Daarmee is ook de vrijheid van de geulen op macro-schaal vastgelegd. Het onderzoek naar de stabiliteit van de eb- en vloedgeulen wordt beschreven in paragraaf 3.5.

Drempels

Drempels zijn natuurlijke lokale ondieptes van los sediment. De drempels zijn door de stroming op natuurlijke wijze opgeworpen en bevinden zich aan het einde van de eb- en vloedgeulen, zoals beschreven door Van Veen [1950].

Platen

Tussen de eb- en vloedgeulen, los van de oever, liggen zandplaten. Deze platen vallen droog met laagwater en overstromen met hoogwater en worden daarom ook wel intergetijdengebieden genoemd. Platen kunnen zich verplaatsen binnen het systeem doordat ze aan een kant worden afgeslagen door erosie en aan een andere kant kunnen groeien door sedimentatie.

Slikken

Slikken liggen tussen de geulen en de oever en behoren evenals de platen tot het intergetijdengebied. Dat betekent dat zij net als de platen droogvallen met laagwater en overstromen met hoogwater.

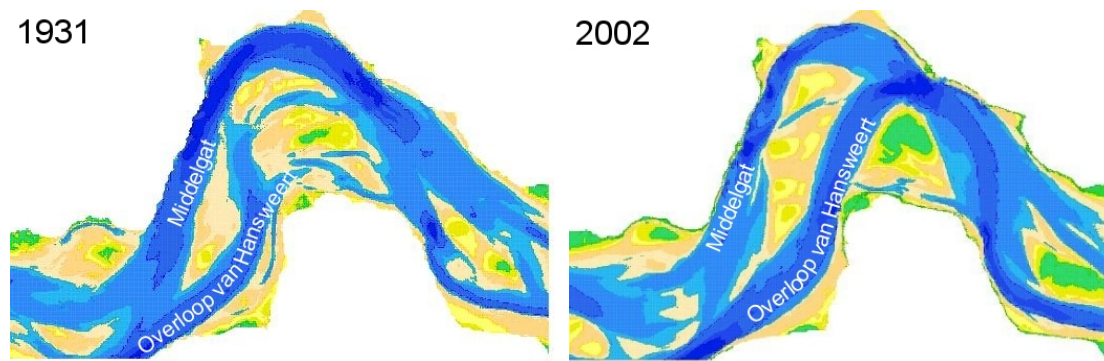
Ondiepwatergebied

Het ondiepwatergebied is de overgang tussen de geulen en de intergetijdengebieden (platen en slikken). Ondanks dat men het er niet over eens is welke (ecologische) waarde het ondiepwatergebied heeft, is het onlosmakelijk verbonden met de intergetijdengebieden en geulen. Wanneer geulen dieper worden en de helling tussen plaat en geul steiler wordt, dan spreekt men vaak over versteiling van het plaat-geul reliëf, wat gelijk staat aan het kleiner worden van het ondiepwatergebied.

Kortsluitgeulen

De kortsluitgeulen zijn de kleinere geulen in het systeem die de ebgeulen met de vloedgeulen verbinden. Men onderscheidt twee soorten kortsluitgeulen; de kortsluitgeulen die de drempels aan het eind van de geul doorsnijden en de kortsluitgeulen die de platen tussen de geulen doorsnijden. De kortsluitgeulen hebben in tegenstelling tot de eb- en vloedgeulen geen watertransportfunctie, maar een waterverdeelfunctie. Ze vertonen een quasi cyclisch gedrag waarbij ze ontstaan, expanderen, migreren en verzanden waardoor ze weer verdwijnen, op een tijdschaal van jaren tot decennia [Jeuken et al., 2004]. Kortsluitgeulen zijn de kleinere geulen in het systeem, maar vormen een belangrijk deel van de morfologische dynamiek in het estuarium. Het onderzoek naar de aanwezigheid van kortsluitgeulen wordt beschreven in paragraaf 3.6.

Kortsluitgeulen kunnen de aandrijving vormen van grootschalige veranderingen in het systeem. Dit wordt hier met een voorbeeld toegelicht. Tussen 1950 en 1970 ontwikkelde de kortsluitgeul die de drempel aan het einde van de vloedgeul, Overloop van Hansweert, doorsneed zich tot een volwaardige geul. Dit is geïllustreerd aan de hand van dieptekaarten van 1931 en 2002 in Figuur 15. De oorzaak daarvan was dat de bocht van de ebgeul (Middelgat) te groot werd. Doordat het water een kortere weg zocht sneed het water de ebgeul af, en werd de kortsluitgeul op natuurlijke wijze vergroot. Deze geul nam langzaam maar zeker de watertransporterende functie van de ebgeul over waardoor stroomsnelheden hier kleiner werden en de geul sedimenteerde. In 1975 verdiepte men de drempel aan het einde van de Overloop van Hansweert. Daarmee heeft de vloedgeul uiteindelijk de functie als hoofdvaargeul van de ebgeul overgenomen.



Figuur 15: Diepte kaarten Middelgat en Overloop van Hansweert in 1931 en 2002

Schorren

De schorren liggen tussen de slikken en de oever. Wanneer slikken hoog opslibben en er vegetatie op gaat groeien, spreekt men van schorren. Schorgebied is gebied met een zoutminnende vegetatie. Aangezien ze hoger liggen dan de slikken komen ze niet tijdens elk getij onder water te staan. Bij springtij is dit wel het geval. Bij extreem hoogwater vormen zij een deel van de waterberging van het systeem.

Synthese systeemattributen

Het meergeulenstelsel in deze studie bestaat uit de volgende systeemattributen: eb- en vloedgeulen, intergetijdengebieden (platen en slikken), ondiepwatergebied, kortsluitgeulen en drempels. Schorren worden niet meegenomen in de definitie. De reden hiervoor is dat er met andere systeemattributen geen relaties bestaan met directe wederzijdse invloed.

Asymmetrie van het meergeulenstelsel

Het systeem kent een vorm van asymmetrie. Het is bekend dat deze asymmetrie binnen het systeem een belangrijke rol speelt in de samenhang tussen de systeemattributen en bij het in stand houden van het huidige systeem. Met deze asymmetrie wordt niet de asymmetrie van het getij bedoeld, maar verschillen tussen gelijksoortige elementen binnen het systeem. Enkele voorbeelden en hun invloed binnen het systeem worden hier gegeven.

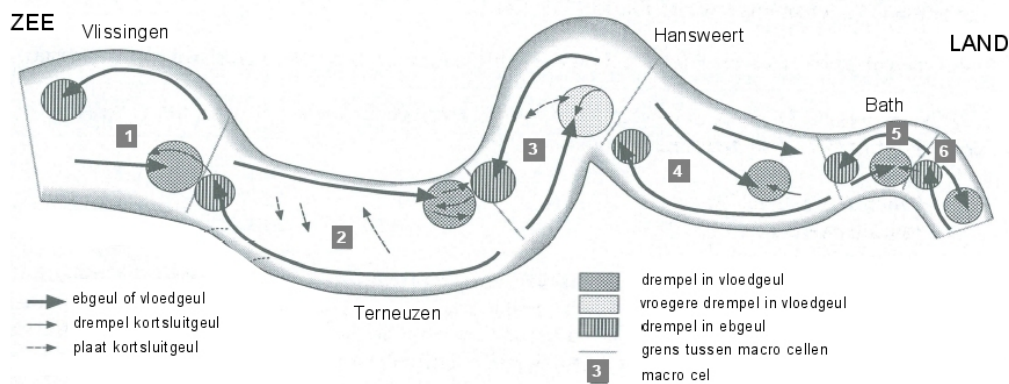
De eb- en vloedgeulen vertonen een asymmetrie in eb- of vloeddominantie, met als gevolg een netto tegengesteld zandtransport. Dit zandtransport leidt onder andere tot het opwerpen van drempels. De eb- en vloedgeulen vertonen eveneens een asymmetrie in diepte en lengte, met als gevolg een verschil in waterstanden tussen de geulen. Door dit verschil in waterstanden in de geulen treedt een verhang op, waardoor water gaat stromen tussen de eb- en vloedgeulen. Op deze manier ontstaan kortsluitgeulen die de drempels en de platen doorsnijden. De rol van het verschil in waterstanden voor de aanwezigheid van kortsluitgeulen wordt verder beschreven in paragraaf 3.6. Een asymmetrie van de verspreiding van het water over de volle breedte van het estuarium of een concentratie in de geulen leidt tot een asymmetrie in de diepte van de geulen. Voor de ebgeulen leidt dit tot een natuurlijke wijze waarop ze op diepte worden gehouden.

3.5 Onderzoek naar de stabiliteit van de eb- en vloedgeulen: het Cellenconcept

Het Cellenconcept

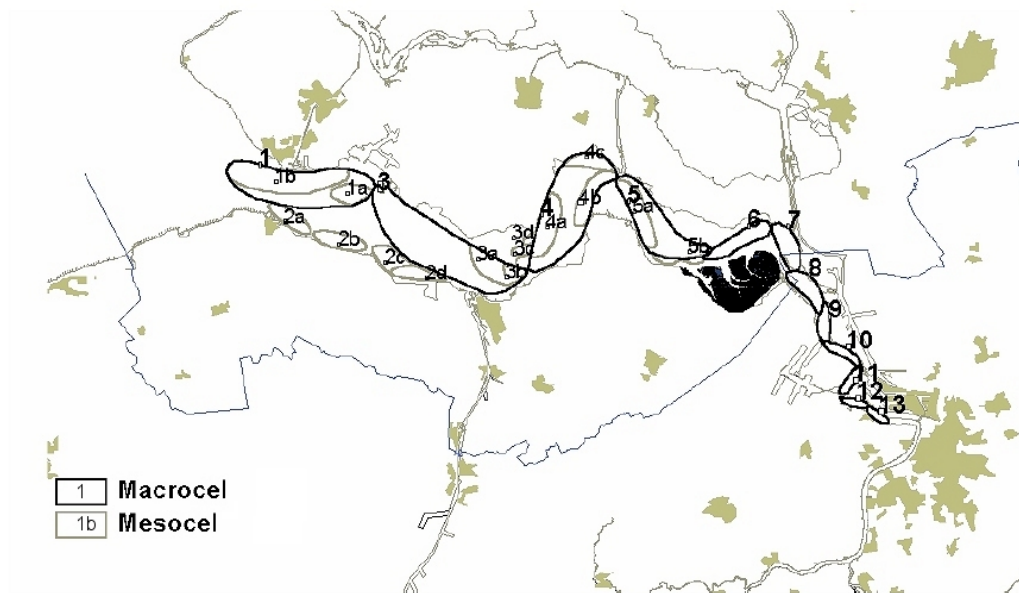
In het kader van de Langetermijnvisie heeft WL | Delft Hydraulics het Cellenconcept ontwikkeld. Het Cellenconcept is een schematisatie en aggregatie van de morfologie en transportcapaciteit in het geulensysteem van de Westerschelde. Het doel van het Cellenconcept is de invloed van bagger- en stortactiviteiten op de stabiliteit van het geulensysteem te bestuderen. Het Cellenconcept is daarmee ontwikkeld als een instrument voor beleid en beheer.

Jeuken [2000] beschrijft het huidige systeem als een repeterend patroon van zes estuariene secties, of zogenaamde bochtgroepen. Een bochtgroep is een samengestelde morfologische eenheid die bestaat uit een gekromde ebgeul met, min of meer parallel daaraan, een rechte vloedgeul. De eb- en vloedgeul worden gescheiden door een tussenliggende plaat en verbonden door de kleinere kortsluitgeulen. Iedere sectie wordt gekenmerkt door een eigen gedrag, hetgeen betekent dat de bochtgroep als een aparte morfologische eenheid beschouwd kan worden.



Figuur 16: Morfologische schematisatie van de estuariene secties in de Westerschelde [Jeuken, 2000]

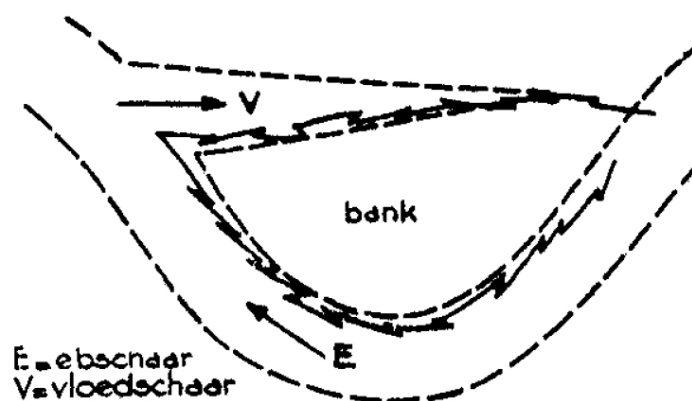
De morfologische eenheid kan als een morfologische cel worden beschouwd. Voor het Cellenconcept is verder gewerkt met deze manier van schematiseren [Winterwerp et al., 2000a; Winterwerp et al., 2001]. Daarvoor is het huidige systeem geschematiseerd als een ketting van morfologische cellen. In deze cellen is een onderscheid gemaakt tussen cellen op macro-schaal en op meso-schaal. De macrocellen worden gevormd door de grote eb- en vloedgeulen. De mesocellen bestaan veelal uit de kleinere kortsluitgeulen. De schematisatie van cellen voor het Cellenconcept is in onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 17: Schematisatie Westerschelde in morfologische cellen [Winterwerp et al., 2000a]

Stabiliteit van de eb- en vloedgeulen

Door de asymmetrie van het verticale getij (waterstanden) en het horizontale getij (stroomsnelheden) vindt er een netto zandtransport plaats in de geulen. Door zijn ebdominantie vindt er binnen een ebgeul een netto transport plaats van sediment in de ebrichting, de richting van de monding. Voor een vloedgeul is dit precies andersom; door de vloeddinantie vindt er een netto transport plaats in de richting van de vloedstroom, het estuarium in. Door deze asymmetrie van zandtransport in de geulen vindt er een residueel zandtransport plaats, circulerend door elke macro-cel. Door Van Veen [1950] is dit schematisch weergegeven in onderstaand figuur.



Figuur 18: Schematisatie van circulerend zandtransport door een morfologische cel [Van Veen, 1950]

Naast het residueel zandtransport circulerend door de macrocel, is er ook sprake van doorgaand sedimenttransport door het estuarium, ofwel over de grenzen van de cellen heen. Dit transport is echter veel kleiner dan het residueel zandtransport, orde van 5-10%. Deze kennis heeft geleid tot de aanname voor het Cellenconcept dat een morfologische cel behouden blijft zolang het residueel zandtransport binnen de cel wordt behouden. En behoud van de morfologische cel impliceert de instandhouding van de eb- en vloedgeulen.

Met behulp van het Cellenconcept heeft men de stabiliteit van de individuele morfologische cellen geanalyseerd. Uit de stabiliteitsanalyses is geconcludeerd dat het storten van baggerspecie er toe kan leiden dat een cel instabiel wordt. Een kleine verondieping in een geul leidt tot het vernauwen van het doorstroomoppervlak en daarmee tot het vergroten van de lokale stroomsnelheid. Hierdoor neemt de zandtransportcapaciteit lokaal toe en de verondieping wordt op natuurlijke wijze weggeërodeerd. Dit is een stabiele situatie. Indien echter de verondieping een zekere grootte overschrijdt, neemt de hydraulische ruwheid van die geul snel toe, met als gevolg dat er minder water door de verondiepte geul stroomt. De zandtransportcapaciteit neemt af, met als gevolg een zich versterkend proces; de verondiepte geul wordt steeds ondieper. Aangezien de zandtransportcapaciteit binnen de cel aangetast wordt, leidt dit tot een instabiele cel.

Voor de overgang van een stabiele situatie naar een instabiele situatie dient een kritische grens van het storten van baggerspecie in een geul overschreden te worden. Deze grens is gedefinieerd als het stortcriterium. Dit stortcriterium is vastgesteld op netto⁶ maximaal 10% van de bruto⁷ transportcapaciteit. Wanneer het storten van baggerspecie het stortcriterium van 10% van de bruto transportcapaciteit van een cel overschrijdt, dan wordt deze cel instabiel, met een verlies van de eb- en vloedgeulen karakteristiek als gevolg. Dit leidt tot een situatie waarbij één geul binnen de cel dominant wordt en de ander zijn functie verliest.

Stabiliteit van het meergeulenstelsel

Het is onbekend hoe de morfologische cellen met elkaar interacteren. Wanneer één cel instabiel wordt, dan weet men niet of deze instabiele cel slechts lokale effecten zal hebben, of dat andere cellen en daarmee het gehele systeem beïnvloed wordt. In dat geval zou er sprake zijn van een domino-effect, waarbij door een lokaal effect, de andere cellen en daarmee het meergeulenstelsel als geheel wordt beschadigd. In het ergste geval zou dit betekenen dat in alle morfologische cellen één geul dominant wordt en de ander zijn functie verliest. Dit zou een verlies betekenen van de eb- en vloedgeulen karakteristiek in het hele estuarium. En deze veranderingen op de macro-schaal zou doorwerken op de meso-schaal, de schaal van de kleinere kortsluitgeulen. Daarom is destijds binnen het onderzoek een ‘no regret’ scenario gedefinieerd waarbij een beheer van het systeem wordt verondersteld waarbij alle morfologische cellen, en daarmee alle geulen, gehandhaafd moeten blijven.

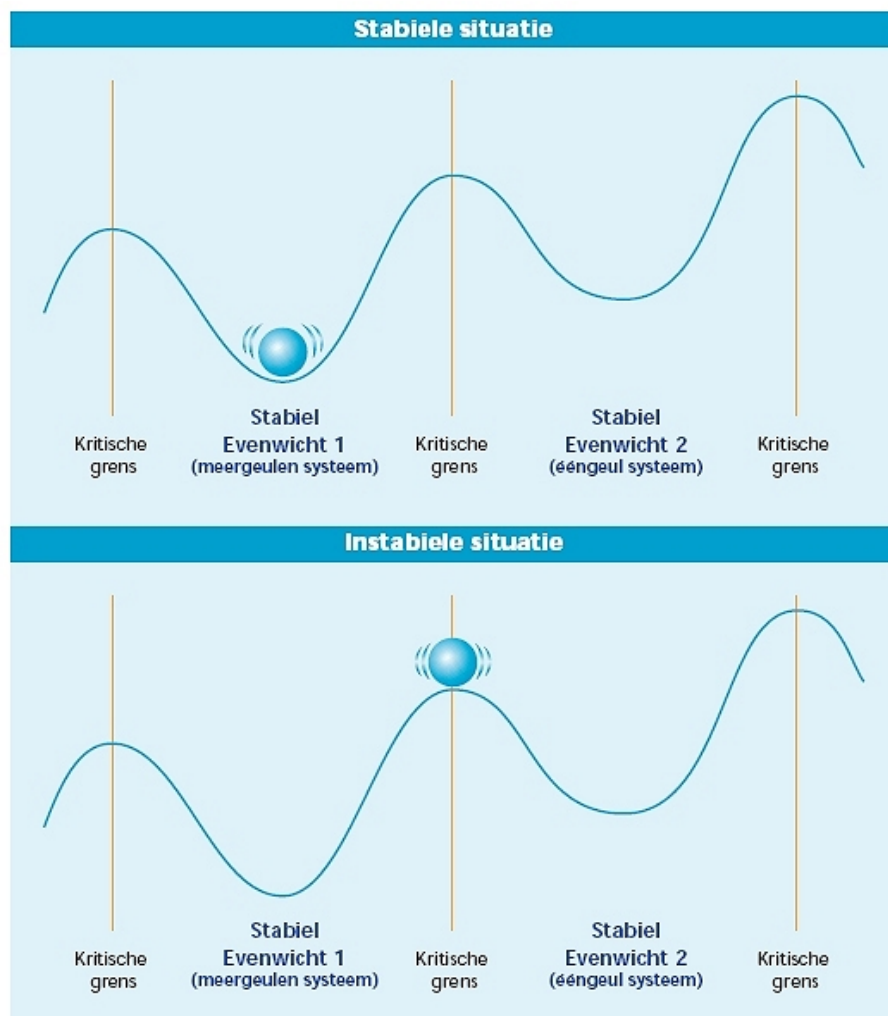
De natuurlijke tendens van een estuarium is een verlanding. Bij een verlanding vindt een opvulling van het estuarium plaats door de netto import van sediment, aangevoerd door land, zee of beiden. De natuurlijke opvulling van een estuarium voltrekt zich op een tijdschaal in de orde van 1.000 jaar [Allersma, 1994]. Bij voldoende sedimentaanvoer zullen uiteindelijk grote delen van het estuarium opgevuld raken en evolueert het systeem naar een zogenaamd ééngeulstelsel. Morfologische veranderingen, in gang gezet door menselijke ingrepen, gesuperponeerd op deze natuurlijke ontwikkelingen, zouden deze ontwikkeling kunnen bespoedigen. Dit impliceert dat het huidige systeem door menselijke ingrepen (het storten van baggerspecie) kan evolueren naar een instabiele situatie met één dominante geul, een overgangssituatie naar het ééngeulstelsel. Dit gegeven heeft geleid tot het beleidsuitgangspunt ‘instandhouding van het meergeulenstelsel’.

⁶Netto wil hier zeggen dat als in een cel ook wordt gebaggerd, de stortcapaciteit met deze gebaggerde hoeveelheid kan worden vergroot.

⁷Bruto transportcapaciteit is de som van het totale sedimenttransport tijdens eb en vloed.

Dynamisch evenwicht

De manier waarop het Cellenconcept tegen de grootschalige morfologie van de Westerschelde aankijkt kan beschreven en geschematiseerd worden als een dynamisch evenwicht. Dynamisch evenwicht wil zeggen dat een systeem zich in een toestand bevindt waarin veranderingen mogelijk zijn, maar het systeem in grote lijnen zijn karakter behoudt. Voor het systeem van de Westerschelde betekent dit dat met name op kleinere schaal, geulen en platen gevormd worden en weer verdwijnen. Afhankelijk van de natuurlijke processen en menselijke ingrepen kan het systeem zich ontwikkelen tot een nieuwe evenwichtstoestand, dan wel dat het huidige dynamisch evenwicht gehandhaafd blijft. Voor de ontwikkeling naar een nieuwe evenwichtstoestand moet dan een kritische grens worden overschreden. Met behulp van het Cellenconcept is aangetoond dat door baggeren en storten een kritische grens met betrekking tot het storten overschreden kan worden. Hierdoor ontstaat een instabiele situatie waarna het systeem evolueert naar een nieuw evenwicht van een systeem waarin geen sprake meer is van twee watervoerende geulen. Een schematisatie van het dynamisch evenwicht is weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 19: Schematisatie van de evenwichtssituaties in het Cellenconcept [Withagen et al., 2003]

3.6 Onderzoek naar de aanwezigheid van de kortsluitgeulen

Een tweede onderzoek naar de karakteristieken van het meergeulensysteem is het onderzoek naar de aanwezigheid van de kortsluitgeulen [Swinkels 2006]. Kortsluitgeulen zijn de kleinere geulen in het systeem, die de verbinding vormen tussen de ebgeulen en de vloedgeulen [paragraaf 3.4]. Kortsluitgeulen ontstaan door een verschil in waterstanden tussen de ebgeul en de vloedgeul [Van den Berg et al., 1996]. Als het verhang, de drijvende kracht van watertransport tussen twee geulen, groot genoeg is, dan leidt dat tot een waterstroom die de kortsluitgeul open houdt. Wanneer dit verhang afneemt, dan zal de aandrijvende waterstroom afnemen, waardoor de geul zal sedimenteren. Uiteindelijk kan dit sedimentatie proces leiden tot het verdwijnen van de kortsluitgeul. Een correlatie tussen de grootte van de kortsluitgeulen en de waterstandverschillen vertonen een sterk lineaire relatie [Swinkels, 2006]. Deze sterk lineaire relatie bevestigt het belang van waterstandverschillen voor het ontstaan van kortsluitgeulen.

3 hydrodynamische mechanismen zijn verantwoordelijk voor het ontstaan en het behoud van het vereiste verschil in waterstanden tussen twee geulen:

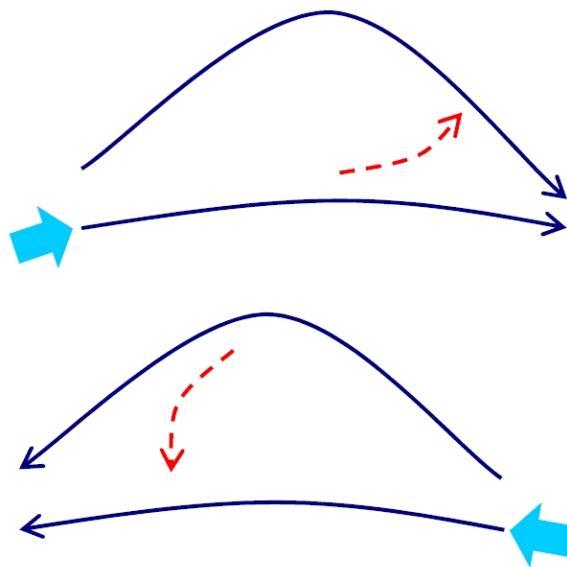
1. *Verskil in getijgolfvoortplanting*: Het verschil in getijgolfvoortplanting ontstaat als gevolg van een verschil in geometrische afmetingen van de eb- en vloedgeulen. Een verschil in diepte en lengte van een geul leidt tot een verschil in getijgolfvoortplanting en leidt tot een verschil in waterstand tussen de ebgeul en de vloedgeul.
2. *Centrifugaal krachten*: Centrifugaal krachten in de bocht van een geul leiden tot waterstandverschillen over de breedte van de geul.
3. *Coriolis*: Door de omwenteling van de aarde hebben bewegende deeltjes die niet vastzitten aan de aarde een relatieve afwijking ten opzichte van de draaiing van de aarde. Dit effect wordt Coriolis genoemd en zorgt voor een verschil in waterstanden tussen de eb- en vloedgeulen.

In het onderzoek van Swinkels [2006] is het belang van ieder van deze mechanismen bepaald gebaseerd op morfologische data vanaf het jaar 1955. Deze data laten zien dat waterstandverschillen als resultaat van getijgolfvoortplanting een grote variatie vertonen. Deze variatie is voornamelijk afhankelijk van de diepteverschillen tussen twee geulen. De resultaten van het onderzoek laten ook zien dat de effecten van centrifugaal krachten en Coriolis relatief constant blijken te zijn. De effecten van centrifugaal krachten en Coriolis spelen een belangrijke rol bij het bestaan van kortsluitgeulen, doordat deze effecten zorgen voor een initieel waterstandverschil. Echter, de variatie over de tijd van de getijgolfvoortplanting zorgt voor het ontstaan van kortsluitgeulen. De evolutie van kortsluitgeulen kan dan ook hoofdzakelijk toegeschreven worden aan het verschil van getijgolfvoortplanting in de eb- en vloedgeulen.

De tijd van de voortplanting van een getijgolf over een geul is afhankelijk van de afmetingen van de geul. De voortplantingssnelheid van de getijgolf wordt door de volgende formule gegeven:

Voortplantingssnelheid getijgolf:
$$c = \sqrt{\frac{gA(h)}{b(h)}}$$

In deze formule is A de oppervlakte van de dwarsdoorsnede, afhankelijk van de breedte en de diepte, en b de breedte van de geul. Afhankelijk van de geometrische afmetingen (diepte en breedte) van de geulen, is de voortplanting van de getijgolf relatief sneller in de ebgeul dan in de vloedgeul, door een grotere breedte en diepte van de ebgeul. Afhankelijk van de lengte van de geulen is de voortplanting van de getijgolf relatief sneller in de vloedgeul dan in de ebgeul, door de kortere lengte van de vloedgeul. Over het algemeen is het verschil in lengte bepalend en plant de getijgolf zich sneller voort in de vloedgeul dan in de ebgeul. Tijdens de vloedperiode is de voortplanting van de getijgolf sneller in de vloedgeul dan in de ebgeul. Simpel gezegd; de vloedgeul loopt sneller vol. In deze situatie ontstaat er een waterstandverschil waarbij water van de vloedgeul naar de ebgeul gaat stromen. Tijdens de ebperiode is de voortplanting van de getijgolf andermaal sneller in de vloedgeul dan in de ebgeul. Simpel gezegd; de vloedgeul loopt sneller leeg. In deze situatie ontstaat er een waterstandverschil waarbij water van de ebgeul naar de vloedgeul gaat stromen. Deze situaties zijn weergegeven in onderstaande figuren.



Figuur 20: Het ontstaan van kortsluitgeulen door een waterstandverschil tijdens de vloedperiode (boven) en de ebperiode (onder) [Swinkels, 2006]

De resultaten van het onderzoek van Swinkels [2006] tonen het belang aan van de geometrische afmetingen van de eb- en vloedgeulen voor de aanwezigheid van kortsluitgeulen. De implicatie hiervan is dat menselijke ingrepen in de eb- en vloedgeulen zoals baggeren en storten de aanwezigheid van de kortsluitgeulen kan beïnvloeden. Het baggeren in de ebgeul en/of storten in de vloedgeul zorgt voor een 'kanteling' in het systeem richting de ebgeul; de ebgeul wordt dieper en de vloedgeul wordt ondieper. Het verschil in getijgolfvoortplanting en daarmee het waterstandverschil wordt daarmee kleiner. Het onderzoek wijst uit dat het baggeren in de ebgeul en/of storten in de vloedgeul de oorzaak kan zijn van het degenereren van kortsluitgeulen, wat uiteindelijk kan leiden tot het verdwijnen van kortsluitgeulen.

De relatie die gevonden is in het onderzoek betreft de waterstandverschillen tussen de eb- en vloedgeulen in relatie tot de grootte van de kortsluitgeulen. Deze relatie kan daarom gebruikt worden om te voorspellen of kortsluitgeulen aanwezig zullen zijn of niet. Het onderzoek biedt geen grenzen aan de aanwezigheid van kortsluitgeulen. Hiermee wordt

bedoeld dat wel is aangetoond dat de afmetingen van de eb- en vloedgeulen bepalend zijn voor de aanwezigheid van de kortsluitgeulen, maar dat niet is gedefinieerd hoe groot die afmetingen moeten zijn. Hier is nader onderzoek voor nodig. Het onderzoek doet ook geen uitspraken over de mate van morfologische dynamiek in het geval de kortsluitgeul aanwezig is in het systeem. Algemeen wordt aangenomen dat morfologisch gedrag van de kortsluitgeul leidt tot migratie. Migratie zou positief zijn vanuit ecologisch oogpunt en een waardevolle karakteristiek vormen van het meergeulenstelsel. Daarom is het een aanbeveling om verder onderzoek uit te voeren naar de voorwaarden voor statisch dan wel dynamisch gedrag van de kortsluitgeulen. Over het algemeen zijn de kortsluitgeulen in de afgelopen decennia in grootte en in morfologische dynamiek afgenomen. Dit is in ieder geval tot op zekere hoogte te wijten aan menselijke ingrepen in het systeem. Zeer waarschijnlijk zal een derde verruiming leiden tot een verdere kanteling van het systeem naar de ebgeul, met als resultaat een verdere afname van de kortsluitgeulen in de Westerschelde.

3.7 Deelconclusies

In dit hoofdstuk is antwoord gegeven op de hoofdvraag: *‘Wat wordt in dit onderzoek verstaan onder het meergeulenstelsel van de Westerschelde?’* De ontstaansgeschiedenis leert ons dat de huidige vorm van de Westerschelde tussen 1800 en 1905 is ontstaan en dat het systeem geologisch gezien nog erg jong is. Op een relatief kleine historische tijdschaal hebben grootschalige ontwikkelingen plaatsgevonden wat er op duidt dat het systeem van origine zeer dynamisch is. De grootschalige ontwikkelingen zijn zowel menselijk als natuurlijk van aard. De door mensen tot stand gebrachte ontwikkelingen zijn de bedijkingen en inpolderingen, waardoor het estuarium in oppervlakte kleiner werd en het estuarium op grote schaal vast werd gelegd. De natuurlijke ontwikkelingen zijn met name de opbouw van de platen waardoor de eb- en vloedgeuldynamiek zich duidelijk zichtbaar manifesteerde en het dieper worden van de geulen.

Deze ontwikkelingen hebben ertoe geleid dat het huidige systeem gekenmerkt wordt door een meergeulenstelsel. De manier waarop veranderingen in grote lijnen binnen het meergeulenstelsel plaatsvinden, kan het beste beschreven worden aan de hand van de morfodynamische cyclus. In deze cyclus vinden er op iedere schaal niet-lineaire interacties plaats tussen waterbeweging, sedimenttransport en morfologie. Het getij is de dominante aandrijvende factor van de morfodynamische cyclus en daarmee de aandrijvende factor van ontwikkelingen binnen het systeem. Het meergeulenstelsel kan beschreven en gedefinieerd worden door te kijken naar:

1. Systeemattributen
2. Fysische processen
3. Grenzen van instandhouding

Deelconclusie 3.1: Voor dit onderzoek wordt het meergeulenstelsel als volgt beschreven:

Het meergeulenstelsel is een morfodynamisch systeem dat is opgebouwd uit een aantal systeemattributen. Binnen dit morfodynamische systeem werken verschillende fysische processen (hydraulisch en morfologisch). De systeemattributen beïnvloeden elkaar via de fysische processen. Deze wederzijdse beïnvloeding zorgt er voor dat het systeem zich

constant aanpast aan de heersende omstandigheden en zich handhaaft in een dynamisch evenwicht. De constante aanpassingen zijn te beschrijven aan de hand van de morfologische dynamiek; de intensiteit en de frequentie van morfologische veranderingen en het daaraan gerelateerde sedimenttransport. Afhankelijk van natuurlijke processen (zeespiegelstijging, sedimentimport en -export) en menselijke ingrepen (baggeren, storten, zandwinning, inpoldering en ontpoldering) kan het meergeulenstelsel evolueren naar een nieuwe evenwichtstoestand (verlanden of verdrinken) dan wel zich handhaven in een dynamisch evenwicht. Binnen het meergeulenstelsel worden de volgende systeemattributen onderscheiden: eb- en vloedgeulen, intergetijdengebieden (platen en slikken), ondiepwatergebied, kortsluitgeulen en drempels.

In het vervolg van dit onderzoek wordt gewerkt met de volgende definitie van het meergeulenstelsel: *'Het meergeulenstelsel bestaat uit de systeemattributen ebgeulen, vloedgeulen, platen, slikken, ondiepwatergebied, kortsluitgeulen en drempels. De systeemattributen beïnvloeden elkaar via fysische processen. Deze wederzijdse invloed leidt op verschillende tijd- en ruimteschalen tot een mate van morfologische dynamiek.'*

Deelconclusie 3.2: Het meergeulenstelsel is complex en onvoorspelbaar. De huidige kennis is niet toereikend om het systeem geheel in fysische processen te kunnen beschrijven en daar vervolgens grenzen van instandhouding aan te koppelen.

Het meergeulenstelsel is complex en het feit dat men niet weet hoe aanpassingen in het systeem doorwerken in het meergeulenstelsel maakt het meergeulenstelsel onvoorspelbaar. Verschillend onderzoeken trachten antwoord te vinden op de vraag hoe de fysische processen werken en of daar criteria voor grenzen van instandhouding aan kunnen worden gekoppeld. Een voorbeeld van een dergelijk onderzoek is het Cellenconcept van WL | Delft Hydraulics dat grenzen beschrijft voor instandhouding van morfologische dynamiek op de macro-schaal: de eb- en vloedgeulen. De onderzoeken die uitgevoerd zijn bieden een inzicht in de fysische processen op de macro- en meso-schaal, maar het meergeulenstelsel kan daarmee nog niet in fysische processen beschreven worden.

Deelconclusie 3.3: Van het meergeulenstelsel bestaan meerdere verschijningsvormen.

Het meergeulenstelsel bestaat uit verschillende systeemattributen en de samenhang binnen het systeem wordt beschreven door fysische processen. De verdeling in de ruimte van de systeemattributen en de mate van morfologische dynamiek laten verschillende verschijningsvormen van het meergeulenstelsel toe. Vanaf 1800 wordt het systeem van de Westerschelde als meergeulenstelsel beschouwd. Dit meergeulenstelsel verschilt echter van het huidige meergeulenstelsel.

De verschillen in verschijningsvorm zijn te beschrijven aan de hand van twee factoren:

1. *De configuratie van systeemattributen in de ruimte:* De configuratie is het voorkomen van de systeemattributen van het meergeulenstelsel in de ruimte.
2. *De mate van morfologische dynamiek:* De samenhang binnen het systeem wordt beschreven door de fysische processen die leiden tot een bepaalde mate van morfologische dynamiek. In een uiterste verschijningsvorm van het systeem kent het meergeulenstelsel veel bewegingsvrijheid en daarmee een hoge mate van morfologische dynamiek. In een andere uiterste verschijningsvorm van het systeem is het

meergeulenstelsel vastgelegd, kent het weinig bewegingsvrijheid en daarmee een lage mate van morfologische dynamiek.

Deelconclusie 3.4: Er is geen duidelijke beleidsuitspraak gedaan over welke verschijningsvorm van het meergeulenstelsel gewenst is.

Het beleidsuitgangspunt ‘instandhouding van het meergeulenstelsel’ laat meerdere varianten van het meergeulenstelsel toe. Van een systeem met relatief diepe brede geulen en weinig intergetijdengebied, tot een ondiep systeem met relatief ondiepe geulen en uitgestrekte intergetijdengebieden. En van een heel dynamisch meergeulenstelsel, i.e. constant veranderend systeem, tot een volledig vastgelegd en geconditioneerd meergeulenstelsel. vanuit het beleid bestaat er geen eenduidige uitspraak welke vorm van het meergeulenstelsel men in stand wil houden.

De deelconclusies 3.1 tot en met 3.4 worden meegenomen in de analyse voor het relateren van de functies aan het meergeulenstelsel in hoofdstuk 5.

4 De functies van de Langetermijnvisie gedefinieerd vanuit de beleidscontext

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt inzicht geven in wat er in de belangrijkste beleidsdocumenten en de voor de afzonderlijke functies aanverwante rapporten staat geschreven over de functies veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid. Dit hoofdstuk geeft antwoord op de hoofdvraag: *‘Wat wordt verstaan onder de functies veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid?’*

De Langetermijnvisie Schelde-estuarium, de Ontwikkelingsschets 2010 Schelde-estuarium, de Vogelrichtlijn, de Habitatrichtlijn, de Kader Richtlijn Water en het Beoordelingskader Schelde-estuarium zijn voor de Westerschelde de belangrijkste (beleids)documenten. Naast deze documenten worden per functie enkele belangrijke aanverwante beleidsdocumenten of ontwikkelingen op het gebied van deze functie belicht, die van belang zijn voor het definiëren van wat veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid is voor dit onderzoek.

De belangrijkste beleidsdocumenten

De Vogelrichtlijn en de Habitatrichtlijn

Voor de bescherming van natuurgebieden en zeldzame en/of bedreigde dieren plantensoorten heeft Nederland, naast de nationale wetgeving, te maken met mondiale en Europese verplichtingen. Het Europese milieubeleid beoogt een samenhangend ecologisch netwerk in de Europese Unie tot stand te brengen. Het doel van dit netwerk (onder de naam Natura 2000) is het behoud van kenmerkende en/of bedreigde habitats en soorten. Dit wil men bewerkstelligen door het treffen van gerichte beschermingsmaatregelen in aangemerkte gebieden. Met dit doel zijn de Vogel- en Habitatrichtlijnen aangenomen.

De Vogelrichtlijn uit 1979 heeft als doelstelling alle in het wild levende vogelsoorten en hun leefgebieden op Europese schaal te beschermen. Lidstaten van de Europese Unie hebben zich ertoe verplicht alle nodige maatregelen te nemen om de populatie van alle in het wild levende vogelsoorten op een ecologisch verantwoord peil te houden en voldoende gevarieerde leefgebieden voor de vogels te beschermen, in stand te houden of te herstellen. De richtlijn verplicht de lidstaat tot het instellen van Speciale Beschermingszones (SBZ's) voor deze vogelsoorten. De Westerschelde is voor 15 soorten vogels aangewezen als vogelrichtlijngebied. Om het meergeulenstelsel te relateren aan de functies wordt gekeken naar de leefgebieden voor vogels die binnen het meergeulenstelsel aanwezig zijn, niet direct naar de vogels zelf. Daarom wordt de Vogelrichtlijn verder niet meegenomen.

Sinds 1992 is binnen de Europese Unie naast de Vogelrichtlijn ook de Habitatrichtlijn van kracht. Deze richtlijn heeft als doel het behoud van de totale biologische diversiteit door belangrijke natuurlijke en half natuurlijke habitats en wilde flora en fauna (anders dan vogels) op het grondgebied van de Europese Unie in stand te houden. Ook volgens deze

richtlijn moeten Speciale Beschermingszones (SBZ's) worden ingesteld, beschermd, in stand gehouden en/of hersteld. De Westerschelde is voor het habitatype estuarium, voor verschillende soorten schorren en voor verschillende soorten waaronder de zeehond aangewezen als habitatrictlijngebied. De Habitatrictlijn komt aan bod onder de kop 'Instandhoudingdoelen Schelde-estuarium' in paragraaf 4.4.

De Kader Richtlijn Water

De Europese Kader Richtlijn Water (KRW) is in 2000 door de Europese Commissie vastgesteld en heeft twee doelen.

- Aquatische ecosystemen en water afhankelijke terrestrische natuur voor achteruitgang behoeden, te beschermen en te verbeteren. Daartoe dienen maatregelen opgesteld te worden zodat in 2015 de 'goede toestand' van de oppervlaktewateren (en grondwater) bereikt wordt.
- Stroomlijning van het beschermend wettelijk instrumentarium van afzonderlijke landen.

Voor het eerste doel dienen volgens de KRW biologische, fysisch-chemische en hydromorfologische parameters opgesteld te worden. Om de invloed van het meergeulenstelsel op biologische en fysisch-chemische parameters te analyseren gaat te ver in dit onderzoek en hier vindt een afbakening plaats. De invloed op de hydromorfologische parameters komt op verschillende plaatsen in dit rapport terug.

Beoordelingskader Schelde-estuarium

In onderstaande tabel staan de in het Beoordelingskader Schelde-estuarium voor de functies gedefinieerde beleidsindicatoren.

Functie	Beleidsindicatoren
Veiligheid	Overstromingskans
	Gevolgen
Toegankelijkheid	Nautische vlotheid
	Calamiteitenrisico
	Risico gevaarlijke stoffentransport
	Maritieme goederenoverslag
	Behoud van het meergeulenstelsel
Natuurlijkheid	Saliniteitsgradiënt
	Zuurstoftekort
	Productiviteit
	Vogelaantallen
	Zeehondenaantal

Tabel 1: Beleidsindicatoren van het Beoordelingskader Schelde-estuarium

4.2 Veiligheid

Veiligheid in de belangrijkste beleidsdocumenten

Langetermijnvisie Schelde-estuarium

Onder veiligheid wordt in de Langetermijnvisie de veiligheid tegen overstromen verstaan. Het tweede kenmerk van het in de Langetermijnvisie geformuleerde streefbeeld luidt: *‘Maximale veiligheid is belangrijke bestaansvoorwaarde voor beide landen. In de toekomst wordt sterk rekening gehouden met effecten van zeespiegelstijging en klimaatwijziging. Alhoewel absolute veiligheid tegen overstromingen niet gegarandeerd kan worden, is het veiligheidsniveau in het gebied maximaal binnen de maatschappelijk aanvaarde grenzen van risico’s en financieel technische haalbaarheid. De consequenties voor de veiligheid van menselijke ingrepen in het estuariusstelsel zijn gecompenseerd door aanvullende maatregelen.’* [Langetermijnvisie pag. 19]

Ontwikkelingsschets 2010 Schelde-estuarium

In de Ontwikkelingsschets wordt gesteld dat de veiligheid tegen overstromingen in de huidige situatie onvoldoende is. Het probleem wordt als volgt geschetst: *‘De huidige kans op overstromingen als gevolg van stormvloeden bedraagt in de minst beschermde gebieden in het Zeescheldebekken ongeveer 1/70 jaar (eens per zeventig jaar). Dit veiligheidsniveau in het Vlaamse deel van de getijgebonden Schelde is onvoldoende. In Nederland wordt voldaan aan de wettelijke eis van 1/4.000 jaar. Dit wordt voldoende geacht. Op de lange termijn (> 30 jaar) zullen de verwachte zeespiegelrijzing en klimaatverandering (onder meer verandering in frequentie en intensiteit van stormvloeden) tot een afname van het veiligheidsniveau in beide landen leiden.’* [Ontwikkelingsschets pag. 14]

Beoordelingskader Schelde-estuarium

Voor de veiligheid zijn in het beoordelingskader (1) de overstromingskansen en (2) de gevolgen geselecteerd als beleidsindicatoren. Onder overstromingskansen wordt verstaan de kans dat een gebied overstroomt, doordat de waterkering rondom dat gebied op één of meer plaatsen faalt. Onder gevolgen wordt verstaan het aantal slachtoffers en de hoeveelheid economische schade.

Wetgeving en veiligheidsbeleid in Nederland en Vlaanderen

Huidige veiligheidsbenadering

Het kader voor het huidige veiligheidsbeleid in Nederland is beschreven in de Wet op de Waterkering uit 1995 en is gebaseerd op de aanbevelingen van de Deltacommissie na de watersnoodramp van 1953. Uitgangspunt hierbij zijn veilige dijken onder maatgevende omstandigheden door per gebied een gewenst veiligheidsniveau vast te stellen. Omdat de bestaande kennis destijds niet toereikend was om de overstromingskansen van een waterkering te berekenen, werd gekozen voor een vereenvoudigde benadering gebaseerd op ontwerpbelastingen. Uitgangspunt daarin zijn ontwerpwaterstanden als meest dominante belasting. Bij het ontwerp van de waterkering wordt ten opzichte van deze waterstand vervolgens een eventuele marge gehanteerd afhankelijk van het wind- en golfklimaat. Op deze manier is voor ieder dijkkringgebied⁸ een veiligheidsniveau in de vorm van ontwerpwaterstanden vastgelegd. Voor de gebieden langs de Westerschelde geldt een overschrijdingsfrequentie van 1/4.000 jaar. Deze benadering is dus gebaseerd op overschrijdingskansen van belastingen.

⁸ Een dijkkringgebied is een gebied dat door een stelsel van waterkeringen beveiligd moet zijn tegen overstromingen.

In Vlaanderen wordt momenteel ook de overschrijdingskans-benadering toegepast. De huidige overschrijdingskans van het Zeescheldebekken is 1/70 jaar. Met het uitvoeren van aanpassingen wordt deze kans verkleind naar 1/350 jaar. Met de uitvoering van het geactualiseerde Sigmaplan⁹ wordt gestreefd naar een overschrijdingskans van 1/10.000 jaar, vergelijkbaar met het veiligheidsniveau in Nederland. Ook in Vlaanderen worden de ontwerpwaterstanden gehanteerd als meest dominante belasting, afhankelijk van het wind- en golfklimaat verhoogd met een marge.

Toekomstige veiligheidsbenadering

De overschrijdingsfrequenties zeggen onvoldoende over de daadwerkelijke kans op overstroming van een dijkkring. Binnen het project 'Veiligheid Nederland in Kaart' wordt momenteel onderzocht of in de toekomst de veiligheid kan worden uitgedrukt in overstromingskansen of overstromingsrisico's. Voor de overstromingskansen-benadering wordt bij de berekening van de faalkans van de dijkkring naast het overlopen van de waterkering ook andere faalmechanismen meegenomen zoals golfoverslag, bezwijken grondmechanisme, welvorming, het bezwijken van de dijkbekleding en menselijk falen bij de bediening van vloedkeringen. Binnen de overstromingsrisico-benadering wordt het overstromingsrisico berekend als het product van de overstromingskansen en de gevolgen, uitgedrukt in monetaire schade en/of slachtoffers. Ook in Vlaanderen verwacht men over te stappen op de overstromingsrisico-benadering.

Synthese veiligheid in beleid

Voor het Beoordelingskader Schelde-estuarium (BKSE) zijn 'overstromingskansen' en 'gevolgen' geselecteerd als beleidsindicatoren die de veiligheid beschrijven. In de toekomst willen Nederland en Vlaanderen overstappen van de overschrijdingskansen-benadering op de overstromingsrisico-benadering. Om het overstromingsrisico te bepalen worden zowel de overstromingskansen als de gevolgen bepaald. De gevolgen van een eventuele overstroming vallen buiten de scope van dit onderzoek, aangezien in dit onderzoek wordt gekeken naar de relatie tussen veiligheid en het meergeulenstelsel. Hierbij wordt bekeken wanneer de veiligheid mogelijk aangetast wordt, niet wat de gevolgen daarvan zijn.

Bij het bepalen van de overstromingskansen worden naast overloop en golfoverslag in Nederland nog meer faalmechanismen meegenomen die momenteel worden onderzocht in het project 'Veiligheid Nederland in Kaart'. Omdat dit een nieuwe benadering is, en dat onderzoek nog loopt, worden deze faalmechanismen in deze opdracht niet meegenomen. Om de relatie te leggen met het meergeulenstelsel wordt in dit onderzoek gekeken naar de invloed op de overschrijdingskansen; er wordt gekeken naar de kans op het optreden van hoogwaterstanden. De hoogwaterstanden zijn afhankelijk van de mate waarin het getij de ruimte krijgt zich voort te planten in het estuarium, zowel in horizontale richting (voortplantingssnelheid van de getijgolf) als verticale richting (getijslag). Hiervoor is het proces van getijdoordringing van belang. Dit is beschreven in paragraaf 2.2.

⁹ Het Sigmaplan is het Vlaamse veiligheidsplan tegen overstromingen. Het beslaat het gehele Zeescheldebekken en wordt thans geactualiseerd.

4.3 Toegankelijkheid

Toegankelijkheid in de belangrijkste beleidsdocumenten

Langetermijnvisie Schelde-estuarium

Onder toegankelijkheid wordt in de Langetermijnvisie verstaan de toegankelijkheid van de Scheldehavens. Het tweede kenmerk van het in de Langetermijnvisie geformuleerde streefbeeld luidt: *‘Als trekpaard voor de welvaart zijn de Scheldehavens optimaal toegankelijk. Optimalisatie van toegevoegde waarde en werkgelegenheid in combinatie met duurzaam ruimtemanagement van de havens vormen in de toekomst de uitgangspunten van beleid. Gebaseerd op optimale achterlandverbindingen via alle mogelijke transportmiddelen (weg, spoor, water en pijpleiding) en voldoende ruimte voor de ontwikkeling van havengerelateerde bedrijventerreinen zijn de Scheldehavens ook in 2030 een belangrijke economische motor. Voor de diepte van de vaarweg is een evenwicht gevonden tussen de sociaal-economische kosten en baten en het instandhouden van de fysieke en natuurlijke systeemkenmerken van het Schelde-estuarium, binnen maatschappelijk geaccepteerde grenzen van externe veiligheidsrisico's van het transport.’* [Langetermijnvisie pag. 19]

In het streefbeeld voor toegankelijkheid staat dat bij het op diepte brengen van de vaarweg rekening wordt gehouden met de instandhouding van het meergeulenstelsel (het instandhouden van de fysieke en natuurlijke systeemkenmerken).

Ontwikkelingsschets 2010 Schelde-estuarium

In de Ontwikkelingsschets wordt gesteld dat de toegankelijkheid voor grote containerschepen te beperkt is. Het probleem wordt als volgt geschetst: *‘Op welke wijze kunnen de transportstromen van met name containergebonden goederen van en naar de Antwerpse regio en het achterland, zoals die thans plaatsvinden via de Westerschelde, ook in de toekomst worden afgewikkeld (inclusief de verwachte schaalvergroting in de scheepvaart en de groei van die transportstromen) op een kostenefficiënte manier en met zo min mogelijk negatieve effecten op de natuur, het milieu en de ruimtelijke structuur?’* [Ontwikkelingsschets pag. 16]

De besluiten over de toegankelijkheid van het Schelde-estuarium bevat onder andere het besluit tot verruiming¹⁰ van de vaargeul tot 13,10 meter getij-onafhankelijke vaart (een verdieping van circa 1,4 meter). Dit betekent een minimale gewaarborgde waterdiepte van GLWS¹¹ 14,70 meter. [Ontwikkelingsschets pag. 25]

Evenals in de Langetermijnvisie wordt in de Ontwikkelingsschets gewezen op een goede toegankelijkheid met zo min mogelijk negatieve effecten op de omgeving.

Beoordelingskader Schelde-estuarium

Voor de toegankelijkheid zijn in het beoordelingskader (1) nautische vlotheid, (2) calamiteitenrisico, (3) risico gevaarlijke stoffen transport, (4) maritieme goederenoverslag en (5) areaalverdeling meergeulenstelsel geselecteerd als beleidsindicatoren. Onder nautische vlotheid wordt verstaan de verhouding tussen de afgelegde weg en de daartoe

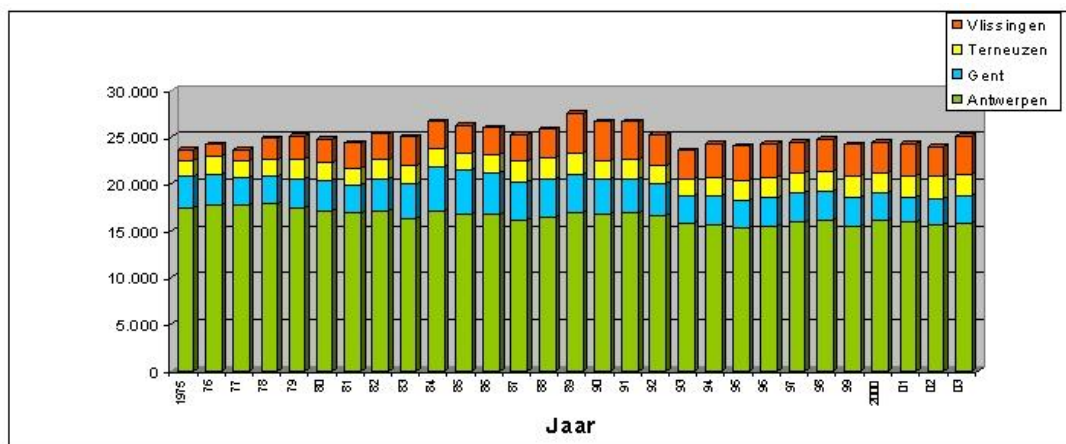
¹⁰ Verruiming van de vaargeul is een verbreding en verdieping van de vaargeul.

¹¹ GLWS: Gemiddeld Laag Water Springtij.

benodigde tijdspanne en wordt uitgedrukt in m/s. De indicator ‘areaalverdeling meergeulenstelsel’ is opgenomen als indicator omdat de areaalverdeling van het meergeulenstelsel de randcondities vormen waarbinnen de scheepvaart afgewikkeld dient te worden. Van deze indicatoren is alleen de laatste, areaalverdeling meergeulenstelsel, van belang voor dit onderzoek. De overige indicatoren vallen buiten de scope.

De havens van het Schelde-estuarium

Het Schelde-estuarium kent vier havens: Vlissingen en Terneuzen in Nederland en Antwerpen en Gent in Vlaanderen. De Scheldehavens vormen één van de belangrijkste economische polen in de Benelux. Globaal zijn er op de Westerschelde jaarlijks omstreeks 200.000 vaarbewegingen waar te nemen. Ongeveer een kwart van deze vaarbewegingen komt voor rekening van de zeeschepen, ofwel containerschepen, waarvan 60% bestemming Antwerpen heeft [Projectbureau Langetermijnvisie, 2001]. De haven van Antwerpen wordt beschouwd als de economische motor van Vlaanderen. De haven van Antwerpen is na Rotterdam de grootste haven in Europa en neemt op wereldschaal de vierde plaats in. Daarom spreekt men vooral over de bereikbaarheid van de haven van Antwerpen wanneer men spreekt over de toegankelijkheid van het Schelde-estuarium. De statistieken van het aantal zeeschepen dat jaarlijks de vier Scheldehavens aandoet (periode 1975-2003) laten zien hoe groot de haven van Antwerpen is in vergelijking met de andere havens.

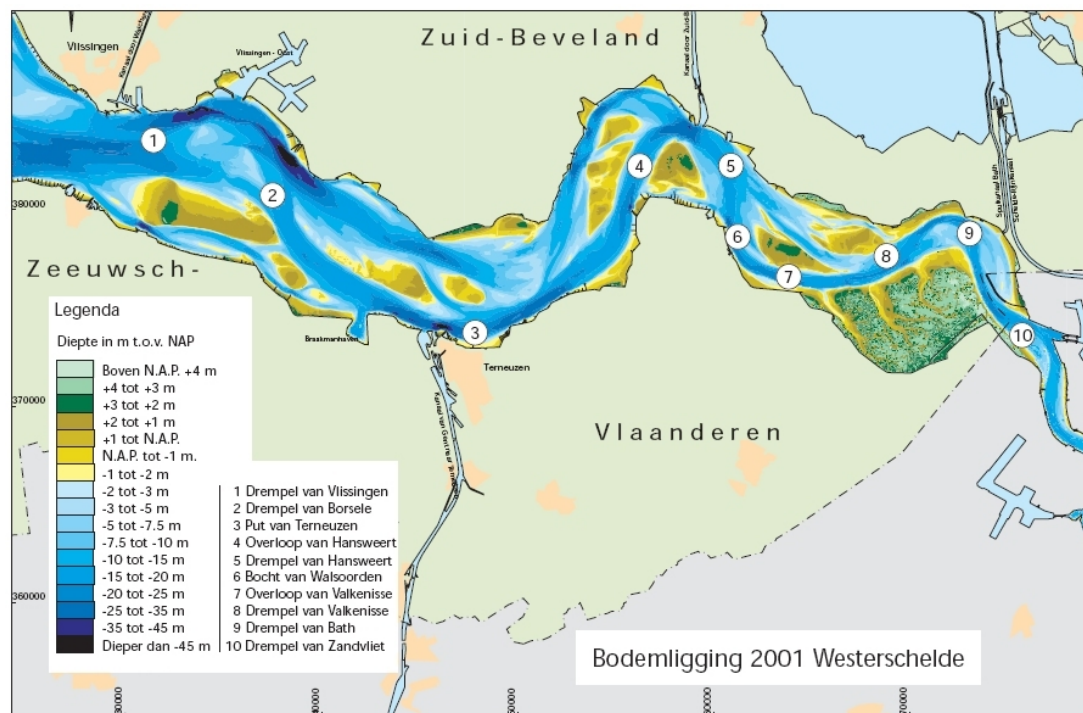


Figuur 21: Aantal schepen dat jaarlijks de vier Scheldehavens aandoet in de periode 1975-2003 [scheldenet.nl]

Een verdere verruiming van de vaargeul zou noodzakelijk zijn om de bereikbaarheid te garanderen van de nieuwste generatie containerschepen, om daarmee de concurrentiepositie van Antwerpen te kunnen garanderen. Dit wordt toegelicht in de Maatschappelijke Kosten Baten Analyse (MKBA) [Nistal, 2004]. In de MKBA is becijferd dat het niet realiseren van de verruiming van de vaarweg op de lange termijn zal leiden tot een daling van het marktaandeel van Antwerpen in de containeroverslag van de Le Havre/Hamburg range van 21% in 2001 tot circa 13 à 15% in 2030. Realisering van de verruiming van de vaarweg tot een getij-ongebonden diepgang van 13,10 meter leidt op de lange termijn tot een behoud van het aandeel van Antwerpen van 21% in 2030.

Baggerwerkzaamheden in de Westerschelde en de Beneden Zeeschelde

In 1905 vinden de eerste kleinschalige baggerwerkzaamheden plaats op de drempels van de Westerschelde de Beneden Zeeschelde en vanaf 1925 zijn er jaarlijkse onderhoudsbaggerwerkzaamheden. Baggerwerkzaamheden voor verruimingen worden uitgevoerd om de geulen op diepte te brengen. Onderhoudsbaggerwerkzaamheden worden vervolgens uitgevoerd om de vaargeul op voldoende diepte te houden. Twee keer komen Nederland en Vlaanderen grootschalige verruimingen overeen die uit worden gevoerd in de perioden 1970-1975 en 1997-1998. Tijdens deze verruimingen zijn de drempels (zie onderstaand figuur) verlaagd en de geulen verruimd.



Figuur 22: Bodemliggingskaart van de Westerschelde met daarin aangegeven de drempels [Withagen et al., 2003]

Aan de laatste verruiming wordt ook wel gerefereerd als het 48'/43'/38'-voet verruimingsprogramma. Dit houdt in dat schepen met een maximale diepgang van 48 voet (14,60 meter) in één getij naar Antwerpen kunnen varen, schepen met een maximale diepgang van 43 voet (13,10 meter) in één getij van Antwerpen de Westerschelde af kunnen varen en dat schepen met een maximale diepgang van 38 voet (11,60 meter) onafhankelijk van het getij op de Westerschelde kunnen varen. Het totale jaarlijkse onderhoudsbaggerwerk bedroeg in de periode 1999-2002 gemiddeld 11 miljoen m³. Na de realisatie van het 48'/43'/38'-voet verruimingsprogramma zijn de Scheldehavens vlot bereikbaar voor volgeladen containerschepen tot en met 5.000 TEU¹². De maximale grootte welke in de toekomst verwacht wordt op de Atlantische routes is 8.000 TEU (14 meter diepgang). Grotere schepen worden niet verwacht omdat deze schepen stuiten op de grenzen gesteld door de toegang tot de havens en de behandelingstechnologie in de verschillende Atlantische havens.

¹² Een TEU staat gelijk met een 20-voets container (circa 6 meter).

MONitoring VErruiming Westerschelde (MOVE)

Om de reikwijdte van de invloed van de baggerwerkzaamheden en eventuele schadelijke gevolgen te onderzoeken is in 1996 het meetprogramma MOVE (MONitoring VErruiming Westerschelde) opgestart. Voor MOVE wordt de invloed van de verruimingswerkzaamheden op de belangrijkste fysische, biologische en chemische kenmerken van het systeem gemeten. Het project MOVE loopt tot 2006 en wordt dan afgesloten met een eindevaluatie. Het laatst verschenen rapport van MOVE is het Evaluatie rapport 2003 Monitoring van de effecten van de verruiming 48'/43' [Withagen et al., 2003].

Als 'kapstok' voor het monitoren van de ontwikkelingen in de Westerschelde zijn in 1996 tientallen fysische, chemische en biologische zogenaamde hypothesen van hoe de belangrijkste kenmerken van de Westerschelde er 15-25 jaar na de verruiming uitzien. De hypothesen voor de fysische kenmerken zijn opgesteld aan de hand van het 'fysische MOVE denkmodel' [Appendix B]. Het denkmodel is een pragmatisch model; een kwalitatieve gedachtegang over hoe de Westerschelde kan veranderen na de verruiming. Het denkmodel beschrijft alleen de gevolgen voor de fysica en is gebaseerd op de waarnemingen na de eerste verruiming uit de jaren '70. Aangezien de hypothesen een verwachting uitspreken over de situatie 15-25 jaar na de verruiming, is het drie jaar na de verruiming nog erg kort om te kunnen zeggen of de voorspellingen die in 1996 gedaan zijn wel uit zullen komen in 2011-2021. De belangrijkste conclusie uit de het Evaluatie rapport 2003 is dan ook dat wanneer metingen aangeven dat er iets verandert in de Westerschelde, het moeilijk vast te stellen is welke ingreep die verandering nou precies veroorzaakt heeft of dat het misschien een natuurlijke ontwikkeling van de Westerschelde is.

Milieu Effect Rapportage Verruiming Vaargeul Westerschelde

Op 11 maart 2005 zijn Nederland en Vlaanderen een derde grootschalige verruiming overeengekomen, dat bekrachtigd is met het tekenen van het Derde Memorandum van Overeenstemming door de toenmalige bewindslieden. In dit memorandum is een verruiming van de vaarweg overeengekomen voor een getij-ongebonden toegang van schepen met een diepgang tot 13,10 meter. Of deze verruiming daadwerkelijk doorgaat is afhankelijk van de MER Verruiming Vaargeul Westerschelde. Wanneer deze positief adviseert zal de verruiming uiterlijk in 2007 van start gaan en in december 2009 gerealiseerd zijn.

Beperkingen voor het verbeteren van de toegankelijkheid

Er is in principe geen technische beperking voor het realiseren van de door de scheepvaart gewenste diepte, breedte en bochtstraal. De bottlenecks voor het realiseren van de gewenste diepte zitten elders [Graveland et al., 2002].

- De kosten van het baggeren.
- De stortkosten. De specie moet voornamelijk in het westen worden gestort en het transport van het zand is kostbaar.
- Er is een grens aan het storten in de nevengeulen [paragraaf 3.5]. Teveel storten leidt tot verzanding en behoud van het meergeulensysteem is een doelstelling van het beleid.
- Er is mogelijk een grens aan het storten buiten de Westerschelde (in de monding van het Schelde-estuarium) omdat de Westerschelde wellicht haar vermogen verliest om de zeespiegelstijging bij te houden.

- Er is een grens aan de omvang van het onderhoudsbaggerwerk. Volgens de huidige vergunning mag dat niet meer zijn dan 16 miljoen m³ per jaar.

Synthese toegankelijkheid in beleid

Uit de Langetermijnvisie en de Ontwikkelingsschets blijkt dat men verwacht dat een verbetering van de toegankelijkheid, een verdere verruiming van de vaargeul, negatieve effecten zal hebben op de omgeving. Het uitblijven van een verdere verruiming betekent voor Antwerpen dat het zijn concurrentiepositie op de lange termijn ten opzichte van andere havens in Europa dreigt te verliezen, met name ten opzichte van Rotterdam. Om in de toekomst bereikbaar te zijn voor de nieuwste generatie containerschepen dient de vaarweg verder verruimd te worden. Dat deze baggerwerkzaamheden schadelijke gevolgen kunnen hebben wordt onderkend en daarom worden monitoringprogramma's als MOVE uitgevoerd. Uit MOVE kunnen nu nog echter geen harde conclusies worden getrokken. De MER Verruiming Vaargeul Westerschelde zal over een eventuele derde verruiming uitspraak doen.

Het Beoordelingskader Schelde-estuarium (BKSE) geeft verschillende indicatoren die van belang worden geacht voor het meergeulenstelsel. Echter, zoals is toegelicht vallen vier van deze indicatoren buiten de scope van deze opdracht en de vijfde is areaalverdeling meergeulenstelsel. Deze indicator is opgenomen in het beoordelingskader omdat het fysieke voorkomen van het meergeulenstelsel in de ruimte de randvoorwaarden vormt waarbinnen de scheepvaart afgewikkeld dient te worden. De scheepvaart heeft baat bij een zo onbelemmerd mogelijke vaart. De belemmering wordt gevormd door de diepte, breedte en bochtstraal van de vaargeul. Hiervan is de diepte van de vaargeul de meest kritische. Een ander aspect is de zijstroming. Zijstroming treedt op in een systeem dat geen rechte vaargeul kent zoals de Westerschelde. Zijstroming kan een risico vormen voor de scheepvaart. Voor toegankelijkheid wordt gekeken naar de afmetingen van de vaargeul, waarbij de diepte van de vaargeul de meest kritisch is. Tevens wordt gekeken naar de zijstroming.

4.4 Natuurlijkheid

Literatuur over natuurlijkheid en natuur

Van de drie functies van de Langetermijnvisie is natuurlijkheid de meest abstracte functie van de drie. En over wat mogelijk onder het begrip natuurlijkheid kan worden verstaan is veel geschreven. Daarom wordt eerst bekeken wat in de literatuur staat geschreven over natuurlijkheid en natuur.

Vaak worden natuurlijkheid en natuur door elkaar gebruikt terwijl er een wezenlijk verschil bestaat. Onder natuurlijkheid wordt meestal verstaan de mate waarin natuurlijke processen kunnen verlopen, ongestoord door menselijk handelen. Wanneer men spreekt over 'natuurlijkheid' dan spreekt men over de balans tussen menselijke en natuurlijke invloeden. Wanneer men over 'natuur' spreekt, dan spreekt men over het voorkomen van levensvormen en spreekt men over de waardering daarvan. De verschillen tussen natuurlijkheid en natuur worden hieronder toegelicht.

Natuurlijkheid - Balans tussen menselijke en natuurlijke invloeden

De term natuurlijk wordt gebruikt om alles te omschrijven dat niet gemaakt of beïnvloed is door mensen, in het bijzonder door technologie. Deze benadering van natuurlijkheid sluit elke invloed van de mens op de natuur uit, waardoor natuurlijke processen mogelijk aangetast kunnen worden [Hunter, 1996; Angermeier, 2000]. Machado [2003] stelt een index voor natuurlijkheid voor waarin een toestand van maximale natuurlijkheid is bereikt, wanneer 100% van de elementen van het systeem natuurlijk zijn en de menselijke invloed nul is. Volgens Heinis et al. [2004a] is natuurlijkheid in feite: *'Het wezenlijke verschil tussen 'echte' natuur, en zeer soortenrijke, maar volledig door mensenhand bepaalde gebieden als dierentuinen en heemtuinen.'* Jansen et al. [1998] en Jansen & Wolters [1999] definiëren het begrip natuurlijkheid als volgt: *'Een systeem is natuurlijker naarmate er op een zo groot mogelijke schaal zo weinig mogelijk door de mens wordt ingegrepen. Dit uit zich in processen en patronen die zo dicht mogelijk bij een natuurlijke referentiesituatie gelegen zijn.'*

Natuur - Waardering van de natuur

Van Amstel et al. [1988] beschrijven een indeling van vijf verschillende visies ten aanzien van natuurbehoud en natuurontwikkeling, voortgekomen uit historische maatschappelijke ontwikkelingen. Ruijgrok [1999] bouwt voort op deze indeling en beschrijft een indeling van vijf verschillende filosofische visies over de manier waarop de samenleving omgaat met zijn natuurlijke omgeving. Daarbij gebruikt zij de *Capital Stock Theory* van Serageldin [1994] om de indeling van de verschillende natuurvisies te verduidelijken. De filosofische visies worden ingedeeld aan de hand van de door de samenleving toegestane substitutie van natuurlijk kapitaal in andere vormen van kapitaal. Naast natuurlijk kapitaal wordt onderscheid gemaakt in geproduceerd kapitaal, menselijk kapitaal en sociaal kapitaal.

Onderscheid wordt gemaakt in vijf verschillende filosofische visies op de natuur: de Hands-off view, de Classical view, de Development view, de Co-evolution view en de Functional view. De volgorde waarin deze filosofische visies staan is gebaseerd op acceptatie van de mate van substitutie van natuurlijk kapitaal in andere vormen van kapitaal door de mens.

1. *Hands-off view*: Het voornaamste doel van de Hands-off view is het streven naar natuurlijkheid. Natuurlijkheid is gedefinieerd als de mate waarin de natuur vrij is menselijke invloed.
2. *Classical view*: Het voornaamste doel van de Classical view is bescherming en herstel van de bestaande natuurlijke situatie naar maatstaven van de historische referentie situatie.
3. *Development view*: De Development view heeft twee doelen, namelijk bescherming van de bestaande natuur en ontwikkeling van nieuwe natuur.

De Hands-off view, Classical view en Development view worden beschouwd als ecocentrische visies, met een sterke duurzaamheid als voornaamste doel, met de waardering van de natuur in niet geldelijke middelen. Deze drie visies worden dan ook gevangen onder de noemer Conservation views.

4. *Co-evolution view*: Volgens de Co-evolution view leidt de natuur haar waarde direct af van de welvaart die het oplevert voor de samenleving. Dit betekent niet dat natuur geen niet-gebruikswaarde heeft, maar het zal deze alleen hebben wanneer de samenleving deze belangrijk vindt. Het doel van deze visie is maximalisatie van sociale welvaart

afgeleid van de natuur, en daarbij de ecologische waarden van de natuur te behouden. De Co-evolutie visie is gebaseerd op het principe dat het scheiden van ecologie en economie noch voor de natuur, noch voor de samenleving voordelig is, aangezien ze van elkaar afhankelijk zijn. Het verzetten tegen of ontkennen van deze onderlinge afhankelijkheid is dan ook niet realistisch.

5. *Functional view*: Volgens de Functional view streeft de mens er naar om profijt te hebben van de natuur door deze in te richten naar de wens van de mens. Substitutiemogelijkheden van natuurlijk kapitaal in andere vormen van kapitaal worden als grenzeloos verondersteld. Natuurlijkheid wordt als een illusie beschouwd, waardoor men de natuur kan vormen naar een toestand waarin deze wordt ingericht naar wens van de samenleving.

In de hedendaagse natuurvisies die leven in het natuurbeleid, het kustbeleid en het ruimtelijke ordeningsbeleid kan een algemene trend in de visieontwikkeling worden waargenomen die wijst in de richting van Co-evolutie (periode vanaf 1990) [Ruijgrok, 1999]. Bekende theorieën die aansluiten op de visie van Co-evolutie zijn *Goods & Services* en *Ecosystem Health*. Deze theorieën hebben de basis gevormd voor het opstellen van het streefbeeld voor natuurlijkheid voor de Langetermijnvisie. Dit wordt later in dit hoofdstuk toegelicht in een textbox.

Natuurlijkheid in de belangrijkste beleidsdocumenten

Langetermijnvisie Schelde-estuarium

Onder natuurlijkheid wordt verstaan in de Langetermijnvisie de natuurlijkheid van het fysieke en ecologische systeem. In de Langetermijnvisie wordt het volgende gesteld: *‘De natuurlijkheid wordt beoordeeld op de kwaliteit en kwantiteit van het ecosysteem, dat voor de Westerschelde wordt gekenmerkt als een zout- en brakwatersysteem.’ ... ‘Voor het systeem behorende bij de Westerschelde is de morfologische dynamiek bepalend.’* [Langetermijnvisie, pag. 10]

Het vierde kenmerk van het in de Langetermijnvisie geformuleerde streefbeeld luidt: *‘Het estuarien ecosysteem is gezond en dynamisch. De unieke waarde van het estuarium (van mondingsgebied tot Gent) is in 2030 maatschappelijk erkend én vastgelegd conform EU-richtlijnen in de nationale wetgeving met betrekking tot biodiversiteit en habitatbescherming van Nederland en Vlaanderen. Als een van de belangrijkste estuaria met een volledig eb- en vloedregime en complete zoet-zoutgradiënt in Europa is het estuariene ecosysteem, met al zijn typische habitats en levensgemeenschappen langs de zoet-zoutgradiënt, behouden en waar mogelijk versterkt. Er is voldoende ruimte voor natuurlijke, dynamische, fysische, chemische en biologische processen, omdat deze essentieel zijn voor de morfologische en ecologische karakteristieken en om de estuariene gradiënt te behouden. De waterkwaliteit is niet meer limiterend voor het ecosysteem.’* [Langetermijnvisie, pag. 19]

Uit het vierde kenmerk van het streefbeeld dat betrekking heeft op natuurlijkheid komt de opdeling in fysische en ecologische karakteristieken naar voren, een scheiding van natuurlijkheid die later nog vaak terugkomt. Het streefbeeld voor natuurlijkheid is gebaseerd op de theorieën van *Goods & Services* en *Ecosystem Health*. Het laat zien dat de literatuur de basis vormt voor het streefbeeld voor natuurlijkheid in de Langetermijnvisie. Beide theorieën worden toegelicht in onderstaande textbox.

Goods & Services en Ecosystem Health

Het streefbeeld van de Langetermijnvisie voor natuurlijkheid is ontwikkeld door De Deckere & Meire [2000] en is afgeleid van de hoofddoelstelling voor natuurlijkheid: *'Een ecologisch gezond, compleet en duurzaam functionerend estuarien ecosysteem waarvan de kwaliteit is gewaarborgd.'* Deze hoofddoelstelling is uitgewerkt aan de hand van de theorieën van *Goods & Services* [De Groot, 1992; De Groot et al., 2002] en *Ecosystem Health* [Rapport et al., 1998]. Zowel de *Goods & Services* benadering als *Ecosystem Health* zijn theorieën voor de beschrijving en waardering van natuur en komen voort uit het besef dat economische modellen en benaderingen de ecologie schade toebrachten doordat in economisch beleid consequenties voor de ecologie zelden mee werden genomen [Rapport et al., 1999].

De *Goods & Services* benadering, ook wel bekend als *Ecological Economics*, gaat er van uit dat een natuurlijk functionerend systeem de mens een aantal *Goods* (goederen) en *Services* (diensten) levert en dat bescherming daarom ook vanuit menselijk oogpunt de moeite waard is. De Groot [1992] beschrijft een opsomming van ecosysteem functies, die gedefinieerd worden als: de capaciteit van natuurlijke processen en componenten om goederen en diensten te leveren die menselijke behoeftes direct of indirect bevredigen. Binnen de functies wordt onderscheid gemaakt in vier soorten functies: (1) regulatie functies, (2) habitat functies, (3) productie functies en (4) informatie functies.

De basis van *Ecosystem Health* is het concept 'gezondheid' vanuit haar traditionele toepassing op het menselijke lichaam uit te breiden naar een toepassing op het niveau van functies en structuren van het ecosysteem [Rapport et al., 1999]. *Ecosystem Health* is door Costanza [1992] gedefinieerd als: *'An ecological system is healthy and free from 'distress syndrome' if it is stable and sustainable - that is, if it is active and maintains its organization, and autonomy over time and is resilient to stress.'* Mageau et al. [1995] beoordelen de gezondheid van een ecosysteem aan de hand van drie kenmerken: energie (productiviteit), organisatie en veerkracht.

Ontwikkelingsschets 2010 Schelde-estuarium

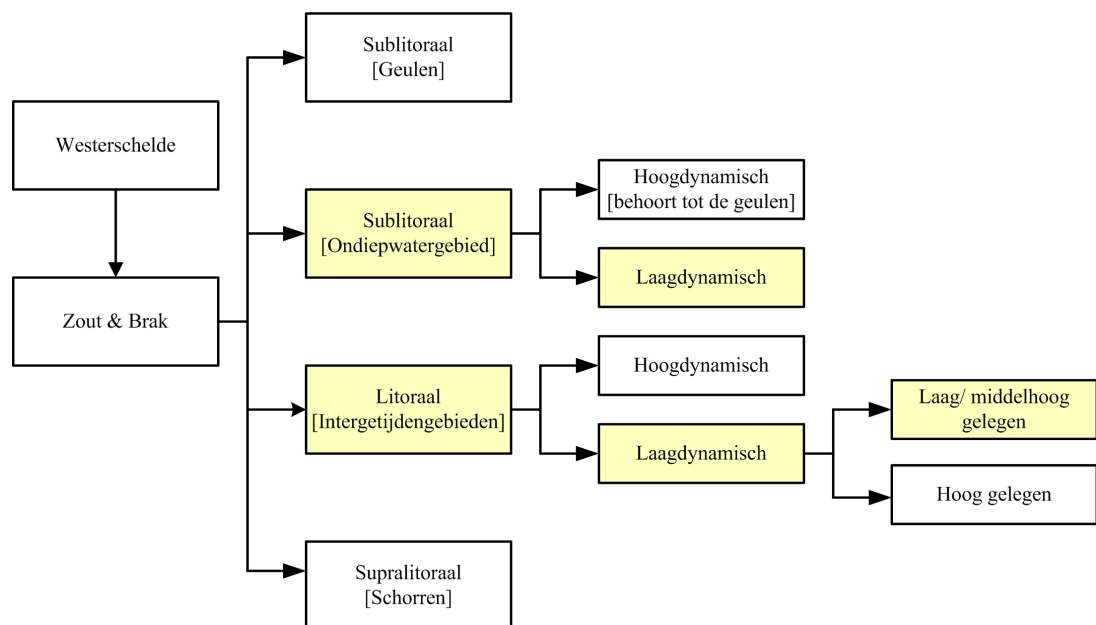
In de Ontwikkelingsschets wordt gesteld dat voor een goede natuurlijkheid herstel noodzakelijk is. Het probleem wordt als volgt geschetst: *'Door verschillende oorzaken, waaronder de vele menselijke ingrepen, zijn er grote veranderingen opgetreden in het ecosysteem van het Schelde-estuarium. Zo is de verhouding van de arealen van verschillende habitats gewijzigd. Zones van ondiep water zijn afgenomen, plaatranden zijn versteild, kortsluitgeulen raken opgevuld, plaatsystemen zijn meer gestroomlijnd en groter en hoger geworden, slikken zijn verkleind en soms ook verlaagd en diep water is uitgebreid en dieper geworden. Mede daardoor zijn ecologische waarden van het estuarium achteruit gegaan. Uit de resultaten van de berekeningen van de natuurlijkheid van het Schelde-estuarium blijkt bijvoorbeeld dat de natuurlijksgraad, in 1900 gesteld op 100, in 1999 was gedaald naar gemiddeld ongeveer 70 (Nederland en Vlaanderen samen). De natuur van het Schelde-estuarium mist daardoor de 'robuustheid' om voldoende weerstand te kunnen bieden aan ingrepen op die natuur; ook als die op zichzelf beperkt van aard zijn. Met andere woorden: de huidige staat van instandhouding van het estuarium, in de zin van de Habitatrichtlijn, is niet gunstig, waardoor 'behoud' van de huidige toestand dus geen optie is en 'herstel' noodzaak wordt.'* [Ontwikkelingsschets, pag. 17]

Habitatrichtlijn

De Westerschelde is voor de Habitatrichtlijn aangemeld voor het habitatype 'estuarium'. Op landelijk niveau dient de Habitatrichtlijn uitgewerkt te worden in instandhoudingsdoelstellingen. Deze doelstellingen geven weer wat er nodig is om het

estuarium in een goede staat van instandhouding te brengen en te houden. Voor de Westerschelde zullen de concrete doelstellingen pas eind 2008 klaar zijn. Als opmaat voor deze doelstellingen is vorig jaar door RIKZ het rapport Zoute wateren EcotopenStelsel (ZES.1) [Bouma et al., 2005] uitgebracht. Watersystemen waaronder de Westerschelde zijn in een ecotopenstelsel uitgewerkt en beschreven. Het ZES.1 wordt hier kort toegelicht. Voor een uitgebreidere uitleg hierover wordt verwezen naar Appendix C.

Een ecotopenstelsel is een classificatiesysteem van ecotopen¹³ waarin de verschillende aanwezige ecotopen op overzichtelijke wijze gerangschikt zijn. Het doel van het ecotopenstelsel is het in kaart brengen van het potentiële voorkomen van levensgemeenschappen, het voorspellen van veranderingen in het systeem of het vergelijken van het systeem met een situatie in het verleden. Met het uitgewerkte ecotopenstelsel heeft men een instrument waarmee men ecologisch interessante en ecologisch oninteressante gebieden kan onderscheiden op basis van fysische omgevingsfactoren. Op deze manier kan het habitattype 'estuarium' ecologisch meetbaar worden gemaakt om daar vervolgens doelstellingen aan te kunnen verbinden. In de Westerschelde worden naar methode van ZES.1 de volgende ecotopen onderscheiden. De met geel gemarkeerde gebieden zijn ecologisch waardevol en interessant.



Figuur 23: Ecotopenstelsel van de Westerschelde

Zoals in het figuur is aangegeven zijn de volgende ecotopen ecologisch waardevol en interessant:

- Het areaal sublitoraal - ondiep - laagdynamisch (hydrodynamiek)
- Het areaal litoraal - laagdynamisch (hydrodynamiek) - laag/middelhoog gelegen
- Het areaal schorren

Met litoraal, worden de droogvallende gebieden aangeduid; de intergetijdengebieden. De platen en slikken die laagdynamisch zijn en laag/middelhoog gelegen, vallen onder de

¹³ Ecotopen zijn ruimtelijk te begrenzen ecologische eenheden, waarvan de samenstelling en ontwikkeling worden bepaald door abiotische, biotische en antropogene condities ter plaatse.

ecologisch interessante intergetijdengebieden. Met het areaal sublitoraal wordt het ondiepwatergebied aangeduid en daarvan is ook het laagdynamische deel interessant. Met hoog- en laagdynamisch wordt aan de hydrodynamiek, de stroomsnelheid gerefereerd. De grens tussen hoogdynamisch en laagdynamisch ligt bij een stroomsnelheid van 0,5 m/s.

Beoordelingskader Schelde-estuarium

Voor de natuurlijkheid zijn in het beoordelingskader (1) behoud van het meergeulenstelsel, (2) saliniteitsgradiënt, (3) zuurstoftekort, (4) productiviteit, (5) vogelaantallen en (6) zeehondenaantallen geselecteerd als beleidsindicatoren. Behoud van het meergeulenstelsel wordt beschouwd als een indicator die de basis vormt voor het ecologisch functioneren van het Schelde-estuarium.

Strategische Milieu Effecten Rapportage Schelde-estuarium Natuur

Voorafgaand aan het opstellen van de Ontwikkelingsschets is een Strategische Milieu Effecten Rapportage (S-MER) opgesteld. Het deelrapport Natuur [Heinis et al., 2004a-b] van de Strategische MER omvat de effectbeoordeling van de mogelijke gevolgen van voorgestelde maatregelen en projecten op de natuur.

De kwaliteit van de natuur wordt uitgedrukt in drie beoordelingscriteria:

- Diversiteit natuur- en habitattypen
- Diversiteit soorten
- Natuurlijkheid

Natuurlijkheid van het ecosysteem is geselecteerd als zelfstandig criterium bij de beoordeling van de natuurwaarde van een ecosysteem vanuit het besef dat met een uitsluitend op soorten gericht beleid de 'natuur' niet voldoende wordt beschermd, en dat natuurlijke ecosystemen de beste kansen voor soortenbehoud bieden. Volgens Heinis et al. is natuurlijkheid in feite: *'Het wezenlijke verschil tussen 'echte' natuur, en zeer soortenrijke, maar volledig door mensenhand bepaalde gebieden als dierentuinen en heemtuinen.'* Voor de Strategische MER Natuur is natuurlijkheid geoperationaliseerd conform Jansen et al. [1998] en Jansen & Wolters [1999]: *'Een systeem is natuurlijker naarmate er op een zo groot mogelijke schaal zo weinig mogelijk door de mens wordt ingegrepen. Dit uit zich in processen en patronen die zo dicht mogelijk bij een natuurlijke referentiesituatie gelegen zijn.'*

Voor het beoordelingskader van natuurlijkheid zijn zeven graadmeters gedefinieerd [Heinis et al., 2004a]:

- Geologie
- Hydrodynamiek
- Morfologie
- Bodemstructuur
- Waterkwaliteit
- Producenten
- Fauna

Als referentiejaar voor de te beoordelen effecten wordt voor het jaar 1900 gekozen, mede uit praktische overwegingen. Ten eerste is de huidige situatie op geen enkele wijze meer te

vergelijken met het volledig natuurlijke, niet door mensen beïnvloede Deltagebied en dus ook niet zinvol. Ten tweede zijn er voor de periode van voor 1900 te weinig bruikbare gegevens voorhanden. Er wordt dus niet verondersteld dat in 1900 de Westerschelde 100% natuurlijk was, maar het is als referentiepunt genomen om de effecten van menselijk handelen op de natuurlijke (dynamische) processen in het ecosysteem sinds die tijd in beeld te brengen. Aan de hand van de zeven graadmeters voor natuurlijkheid scoort de Westerschelde voor natuurlijkheid een 75 op een schaal van 1 tot 100, waarbij een score van 100 refereert aan de situatie van 1900 [Heinis et al., 2004b].

Natuurontwikkelingsplan Westerschelde

In 2003 is het Studierapport Natuurontwikkelingsmaatregelen ten behoeve van de Ontwikkelingsschets 2010 voor het Schelde-estuarium verschenen [Van den Bergh et al.]. De rapportage is een opmaat voor het Natuurontwikkelingsplan en bevat een verkennende studie voor de realisatie van het streefbeeld voor natuurlijkheid van de Langetermijnvisie.

Op de vraag ‘Wat is natuurlijkheid?’, wordt betoogd: ‘Over het begrip natuurlijkheid bestaan uiteenlopende beelden die de discussie over wenselijke doelen en maatregelen vertroebelen. Vaak wordt verstaan onder het begrip natuurlijkheid de mate waarin het geheel van fysische, chemische en ecologische processen ongestoord door menselijk handelen kan verlopen. Omdat dit geen realistische benaderingswijze is voor de Schelde, waar de invloed van menselijk handelen evident was, is en blijft, mag de factor ‘mens’ in de omschrijving van natuurlijkheid niet ontbreken.’

‘Het uitgangspunt voor het Natuurontwikkelingsplan is een herstel van het ecologisch functioneren van het estuarien systeem. De historiek van het estuarium wordt niet gehanteerd als referentie, maar wel om er kennis uit te putten betreffende het huidige ecologisch functioneren. De natuurlijkheid op zich is niet relevant als uitgangspunt, immers we gaan ervan uit dat het systeem multifunctioneel is en dus ook aan een aantal gebruiksfuncties moet voldoen. Zonder menselijke ingrepen in het systeem zou bewoning in het gebied gewoon uitgesloten zijn. De bovengeschetste ontwikkelingen laten ook zien dat het onmogelijk is om objectief vast te stellen wat wel en niet natuurlijk is.’

‘Natuurlijkheid moet dan ook gedefinieerd worden als het zoeken naar die mogelijkheden om de natuurlijke processen, binnen bepaalde grenzen, zo goed mogelijk te laten plaatsvinden uit de overtuiging dat die in belangrijke mate bijdragen aan het leveren van ‘Goods & Services’ wat voor mens en natuur belangrijk is.’

In het studierapport wordt betoogd dat het niet mogelijk is objectief vast te stellen wat natuurlijkheid is. Tevens dat het niet zinvol is de natuurlijkheid als uitgangspunt te hanteren omdat dit impliceert dat er geen menselijk handelen meer mogelijk is, terwijl het systeem aan meerdere gebruiksfuncties moet voldoen. Het uitgangspunt dat wel gehanteerd is, is natuurlijke processen zo goed mogelijk plaats te laten vinden, in de overtuiging dat dit ‘vanzelf’ leidt tot herstel van habitats en populaties.

Synthese natuurlijkheid in beleid

Natuurlijkheid in de beleidsdocumenten

Uit een analyse van de bestudeerde documenten kan geconcludeerd worden dat voor de natuurlijkheid een duidelijke scheiding gemaakt wordt tussen fysica (hydraulica en morfologie) en ecologie, waarbij de eerste de drager is voor de tweede.

- In de Langetermijnvisie staat dat natuurlijkheid opgesplitst wordt in de natuurlijkheid van het fysieke systeem en de natuurlijkheid van het ecologische systeem. De staat van de fysieke verdeling van het estuarium in arealen en de veranderingen daarin worden beschouwd als drager van het ecologische systeem.
- In de Ontwikkelingsschets wordt betoogd dat de huidige toestand van de ecologische waarden van de Westerschelde niet goed is en herstel noodzakelijk. Hiervoor wordt ook gekeken naar de verhouding van de arealen van de verschillende habitats. Een wijziging van deze arealen heeft er toe geleid dat de ecologische waarden van het estuarium achteruit zijn gegaan.
- Binnen het Beoordelingskader Schelde-estuarium (BKSE) wordt de verdeling in arealen ook beschouwd als de basis voor het ecologisch functioneren. Een belangrijk uitgangspunt bij het opstellen van de MOVE hypothesen is dat veranderingen in de fysica als gevolg van de verruiming sturend zijn voor de veranderingen in de biologie en chemie.
- Het uitgangspunt bij het selecteren van natuurlijkheid als criterium van natuur voor de Strategische MER Natuur [Heinis et al., 2004] is ingegeven dat met een uitsluitend op soorten gericht beleid de ‘natuur’ niet voldoende wordt beschermd, en dat natuurlijke ecosystemen de beste kansen voor soortenbehoud bieden.
- Deze gedachtegang is ook uitgangspunt voor het Zoute wateren EcotopenStelsel (ZES.1) [Bouma et al., 2005]. Voor het opstellen van instandhoudingdoelstellingen voor de Westerschelde is in ZES.1 gebruik gemaakt van een karakterisering van het estuarium via ecotopen. Afhankelijk van het voorkomen van ecotopen wordt een uitspraak gedaan over het potentiële voorkomen van levensgemeenschappen. In het ZES.1 wordt deze scheiding en afhankelijkheid gebruikt om het estuarium ecologisch meetbaar te kunnen maken.

Analyse betekenis van natuurlijkheid voor de Westerschelde

Natuurlijkheid in de meest letterlijke zin van het woord is de mate waarin de natuurlijke processen ongestoord door menselijk handelen kunnen verlopen. Voor het bepalen van de natuurlijkheid van een systeem wordt daarom vaak gerefereerd aan een toestand waarbij de menselijke invloeden niet of tenminste minimaal aanwezig waren. Dit is meestal een toestand van het systeem in het verleden. Bij het opstellen van de Langetermijnvisie kan het niet de bedoeling zijn geweest voor de functie natuurlijkheid te streven naar een historische toestand van het systeem toen menselijke invloeden nog niet merkbaar waren. Immers, het huidige systeem moet multifunctioneel zijn en aan verschillende gebruiksfuncties voldoen. Dit is een uitgangspunt van het beleid. Het menselijk handelen is en blijft een belangrijke invloedsfactor in het systeem. Dit wordt ook betoogd door Van den Bergh et al. [2003] in het Studierapport Natuurontwikkelingsmaatregelen. Tevens is de huidige toestand van de Westerschelde met geen mogelijkheid te vergelijken met de situatie waarbij menselijke invloeden nog niet merkbaar waren. Niet alleen menselijke ingrepen hebben tot de evolutie van naar de huidige situatie geleid, maar ook natuurlijke processen. Daarbij is niet te onderscheiden welke invloeden (menselijk of natuurlijk) tot welke veranderingen hebben

geleid. Het bepalen wat natuurlijkheid is aan de hand van een toestand in het verleden toen menselijke invloeden nog niet merkbaar waren is niet mogelijk, en door de huidige beleidsdoelstellingen ook niet zinvol.

Definitie natuurlijkheid voor de Westerschelde

Voor de Westerschelde kan een definitie van natuurlijkheid waarbij natuurlijke processen ongestoord door menselijk handelen kunnen verlopen niet van toepassing zijn. Uit beleidsoogpunt wordt natuurlijkheid in dit onderzoek gedefinieerd als:

- De mate waarin natuurlijke processen ongestoord kunnen verlopen,
- waarbij het menselijke handelen als evident wordt verondersteld en daarmee de randvoorwaarden oplegt aan het plaatsvinden van de natuurlijke processen.

Het verschil met de ‘oorspronkelijke’ definitie van natuurlijkheid is dat het menselijke handelen niet uitgesloten wordt, maar juist evident is. Deze benadering sluit aan bij de Co-evolutie visie op natuurbehoud en natuurontwikkeling [Ruijgrok, 1999]. Het doel van deze visie is maximalisatie van sociale welvaart afgeleid van de natuur, en daarbij de ecologische waarden van de natuur te behouden.

Binnen de definitie van natuurlijkheid wordt voor natuurlijke processen een onderscheid gemaakt in fysische en ecologische processen. Fysische processen zijn de hydraulische en morfologische processen. De fysische processen leiden tot een toestand van het systeem (bodemplugging) die bepalend is voor de ecologische processen. Met ecologische processen wordt bedoeld het voorkomen van levensvormen in het gebied. Hiermee wordt een scheiding aangebracht in de natuurlijkheid, waarbij fysische processen voor een belangrijk deel bepalend zijn voor de ecologische processen. In de Langetermijnvisie, de Ontwikkelingsschets, het Beoordelingskader Schelde-estuarium (BKSE), de Strategische MER Natuur, het Zoute wateren EcotopenStelsel (ZES.1) en het project MOnitoring VErruiming Westerschelde (MOVE) wordt deze scheiding ook gehanteerd.

Ecologische processen zijn voor een belangrijk deel afhankelijk van de fysische processen. Factoren als waterkwaliteit/troebelheid, verstoring door de mens en de zoutgradiënt zijn ook van invloed op deze ecologische processen. Daarbij spreekt de Vogelrichtlijn nadrukkelijk over soorten en niet over ecotopen. De reden dat dit onderzoek met name kijkt naar de koppeling tussen de fysische processen en ecologische processen, is dat het doel is de relatie te leggen tussen het meergeulenstelsel en natuurlijkheid. Deze relatie wordt gelegd via de aanwezigheid van ecotopen en fysische processen zijn hier van op invloed.

4.5 Deelconclusies

In dit hoofdstuk is antwoord gegeven op de hoofdvraag: *‘Wat wordt verstaan onder de functies veiligheid, toegankelijkheid, en natuurlijkheid?’*

Deelconclusie 4.1: Om veiligheid te kunnen relateren aan het meergeulenstelsel wordt voor deze functie in dit onderzoek gekeken naar de kans op het optreden van hoogwaterstanden.

De hoogwaterstanden zijn afhankelijk van de mate waarin het getij de ruimte krijgt zich voort te planten in het estuarium, zowel in horizontale richting (voortplantingssnelheid van

de getijgolf) als verticale richting (getijslag). Hiervoor is het proces van getijdoordringing van belang. Dit is beschreven in paragraaf 2.2.

Deelconclusie 4.2: Om toegankelijkheid te kunnen relateren aan het meergeulenstelsel wordt voor deze functie in dit onderzoek gekeken naar de afmetingen van de hoofdvaargeul en zijstroming.

De afmetingen worden gevormd door de diepte, breedte en bochtstraal, waarvan de diepte het meest kritisch is. Zijstroming treedt op doordat geen sprake is van een rechte vaargeul.

Deelconclusie 4.3: Om natuurlijkheid te kunnen relateren aan het meergeulenstelsel wordt deze functie in dit onderzoek gedefinieerd als de mate waarin natuurlijke processen ongestoord kunnen plaatsvinden, waarbij het menselijke handelen als evident wordt verondersteld en daarmee de randvoorwaarden oplegt aan het plaatsvinden van de natuurlijke processen. Binnen natuurlijkheid wordt voor de natuurlijke processen onderscheid gemaakt tussen fysische en ecologische processen.

De fysische processen worden beschouwd als de drager van de ecologische processen. Dit is een benadering van natuurlijkheid die vaak wordt gehanteerd. Deze benadering is uitgewerkt in de ecotopenbenadering van het Zoute wateren EcotopenStelsel (ZES.1).

Fysische natuurlijkheid: de mate waarin natuurlijke hydraulische en morfologische processen plaats kunnen vinden. Deze processen leiden tot (een mate van) morfologische dynamiek.

Ecologische natuurlijkheid: de mate waarin natuurlijke ecologische processen plaats kunnen vinden. Onder ecologische processen wordt verstaan het voorkomen van levensvormen. De ecologische processen leiden tot een ecologische waarde.

De deelconclusies 4.1 tot en met 4.3 worden meegenomen in de analyse voor het relateren van de functies aan het meergeulenstelsel in hoofdstuk 5.

5 De relatie tussen het meergeulenstelsel en de functies van de Langetermijnvisie

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt per functie toegelicht welke relaties te leggen zijn tussen het meergeulenstelsel van de Westerschelde en de functies van de Langetermijnvisie. In hoofdstuk 3 is een studie uitgevoerd naar het meergeulenstelsel; er is een definitie geformuleerd en de systeemattributen zijn beschreven waaruit het meergeulenstelsel bestaat. In hoofdstuk 4 zijn veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid gedefinieerd.

In onderstaande tabel wordt nogmaals opgesomd wat onder het meergeulenstelsel en onder veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid wordt verstaan.

Meergeulenstelsel	Het meergeulenstelsel bestaat uit systeemattributen en fysische processen. Systeemattributen: ebgeulen, vloedgeulen, platen, slikken, ondiepwatergebied, kortsluitgeulen en drempels. Fysische processen: hydraulische en morfologische processen. De systeemattributen beïnvloeden elkaar via de fysische processen.
Veiligheid	De kans op het optreden van hoogwaterstanden
Toegankelijkheid	Afmetingen van de hoofdvaargeul en zijstroming
Natuurlijkheid	Fysische en ecologische processen

Tabel 2: Het meergeulenstelsel en de functies van de Langetermijnvisie gedefinieerd voor dit onderzoek

In dit hoofdstuk worden de twee vorige hoofdstukken aan elkaar gekoppeld. Dit wordt gedaan aan de hand van de tweede hoofdvraag die is opgesteld in hoofdstuk 1:

Hoofdvraag 2: Welke relatie is er te leggen tussen de functies van de Langetermijnvisie en het meergeulenstelsel van de Westerschelde?

5.2 Veiligheid en het meergeulenstelsel

Relaties tussen het meergeulenstelsel en veiligheid

Beschrijving relaties tussen de systeemattributen en veiligheid

Voor ieder systeemattribuut wordt beschreven wat de invloed is op de kans op het optreden van de hoogwaterstanden.

1. Ebgeulen

De ebgeulen zijn de relatief diepere gedeeltes van het systeem. Daarmee dragen ze bij aan een onbelemmerde getijdoordringing. Hoe dieper de geulen zijn, des te makkelijker dringt het getij door het estuarium in, met als gevolg dat de hoogwaterstanden omhoog gaan. De bochtwerking van de geulen bieden weerstand tegen het binnenkomende water en zal de

hoogwaterstanden dempen. In vergelijking met andere systeemattributen dragen de ebgeulen per saldo bij aan de getijdoordringing, en de voornaamste invloed op de veiligheid is dan ook negatief.

2. Vloedgeulen

De vloedgeulen behoren evenals de ebgeulen tot de diepere gedeeltes van het systeem, waardoor ze in vergelijking met andere systeemattributen bijdragen aan de getijdoordringing. De vloedgeulen zijn weliswaar ondieper dan de ebgeulen, waardoor het getij zich relatief minder makkelijk voortplant in deze geulen in vergelijking met de ebgeulen. Echter, de vloedgeulen zijn voornamelijk vloedgestuurd en rechter dan de ebgeulen, waardoor getijvoortplanting in vergelijking gemakkelijker plaatsvindt. Evenals de ebgeulen dragen de vloedgeulen bij aan de getijdoordringing in vergelijking met andere systeemattributen, en de voornaamste invloed op het optreden van hoogwaterstanden is dan ook negatief.

3. Platen

De platen zorgen voor dissipatie van de getij-energie. Ze brengen de gemiddelde diepte van het systeem omlaag. Ook zorgen ze voor een belangrijk deel van de waterberging van het systeem, omdat door de aanwezigheid van de platen het kombergingsoppervlak vergroot wordt. Wanneer het water stijgt tijdens de vloedstroom zorgen de platen voor een steeds groter wordend doorstroomoppervlak. Met een groter doorstroomoppervlak neemt de snelheid van de voortplanting van de getijgolf af. Door de platen vindt getijdoordringing minder makkelijk plaats en daarmee drukken ze de hoogwaterstanden. De invloed van de platen op de veiligheid in vergelijking met andere systeemattributen is dan ook positief.

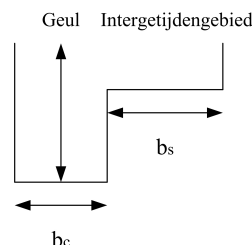
4. Slikken

Voor de slikken geldt dezelfde relatie als de platen. De relatie geldt dus voor de intergetijdengebieden (platen en slikken).

Bovenstaande relaties tussen de eb- en vloedgeulen en de kans op het optreden van hoogwaterstanden zijn af te leiden van de formule voor de voortplantingssnelheid van de getijgolf.

Voortplantingssnelheid getijgolf:

$$c = \sqrt{\frac{b_c}{b_c + b_s} gh}$$



In de formule en schematisatie is c : de voortplantingssnelheid van de getijgolf, b_c : de breedte van de geul, b_s : de breedte van het intergetijdengebied en h : de diepte van de geul.

De formule laat het volgende zien:

- De voortplantingssnelheid van de getijgolf neemt toe met een toenemende waterdiepte (h). De geulen dragen bij aan de waterdiepte. Hoe dieper de geulen zijn, des te hoger is de voortplantingssnelheid van de getijgolf.
- De voortplantingssnelheid van de getijgolf verandert, wanneer de verhouding geul/intergetijdengebied (b_c/b_s) verandert:

- Wanneer de verhouding opschuift met een toename van de breedte van de geul (b_c) in het dwarsprofiel, dan zal de voortplantingssnelheid van de getijgolf toenemen. Een toename van de geulen is een toename van het oppervlak van het dwarsprofiel. Daarmee wordt het water meer ruimte geboden en daarmee een meer onbelemmerde doorgang.
- Wanneer de verhouding opschuift met een toename van de intergetijdengebieden (b_s) in het dwarsprofiel, dan zal de voortplantingssnelheid van de getijgolf afnemen. Een toename van de intergetijdengebieden is een toename van het kombergingsoppervlak. Het gevolg is een grotere waterberging bij het stijgen van het water dat zorgt voor het afremmen van het water en daarmee een demping van de hoogwaterstanden.

5. Ondiepwatergebied

Er is geen directe relatie met het ondiepwatergebied.

6. Kortsluitgeulen

Er is geen directe relatie met de kortsluitgeulen die de platen doorsnijden. De kortsluitgeulen die de drempels doorsnijden werken getijbevorderend naarmate ze groter worden en de drempel over een grotere breedte doorsnijden. Ze gaan daarmee de dempende werking van de drempels tegen.

7. Drempels

Drempels dragen bij aan de hydraulische weerstand van het systeem. In vergelijking met andere systeemattributen dempen de drempels de getijdoordringing en de voornaamste invloed op de veiligheid is dan ook positief.

Relaties tussen de systeemattributen en veiligheid in tabelvorm

Bovenstaande relaties tussen de systeemattributen van het meergeulenstelsel en veiligheid zijn weergegeven in onderstaande tabel. Daarbij is per systeemattribuut aangegeven wat de voornaamste invloed van het attribuut is op de hoogwaterstanden in vergelijking met andere systeemattributen. Een positieve invloed betekent positief voor de veiligheid, een demping van de hoogwaterstanden. Negatief, is negatief voor de veiligheid.

Nr.	Systeemattribuut	Veiligheid - hoogwaterstanden
1.	Ebgeulen	-
2.	Vloedgeulen	-
3.	Platen	+
4.	Slikken	+
5.	Ondiepwatergebied	0
6.	Kortsluitgeulen	+
7.	Drempels	+

Tabel 3: De relaties tussen de systeemattributen en de veiligheid

+ = positief; - = negatief; +/- = onbekend; 0 = geen relatie

Bovenstaande beschrijving van de relaties scheppen duidelijkheid in de invloed van de systeemattributen van het meergeulenstelsel op de kans op het optreden van hoogwaterstanden. Uit deze beschrijvingen en tabel komt geen eenduidig antwoord naar voren of de systeemattributen gezamenlijk positief of negatief zijn voor de veiligheid. Het is

niet zo dat de plussen en minnen uit de tabel op kunnen worden geteld en dat per saldo aan de relaties als geheel een conclusie kan worden verbonden. Echter, met behulp van de formule voor de voortplantingssnelheid van de getijgolf is aan te tonen dat het optreden van hoogwaterstanden in grote mate wordt bepaald door de verhouding tussen de aanwezigheid van geulen en intergetijdengebieden in het dwarsprofiel van het systeem. Een verandering in deze verhouding leidt ertoe dat het systeem de veiligheid meer of minder waarborgt.

In hoofdstuk 3 is geconcludeerd dat verschillende verschijningsvormen van het meergeulenstelsel mogelijk zijn [deelconclusie 3.3]. In een uiterste verschijningsvorm van het meergeulenstelsel kan men een systeem voorstellen met relatief diepe en brede geulen, waarbij de geulen een aanzienlijke plaats innemen in de dwarsdoorsnede ten koste van de platen en slikken. De getijdoordringing in deze vorm van het systeem zal goed zijn, wat ten koste gaat van de veiligheid. In een andere uiterste verschijningsvorm van het meergeulenstelsel kan men een relatief ondiep systeem voorstellen met ondiepe geulen, waarbij de platen en slikken een aanzienlijke plaats innemen in de dwarsdoorsnede. De getijdoordringing in deze vorm van het systeem zal een stuk zwakker zijn, wat goed is voor de veiligheid.

Overige relaties tussen het meergeulenstelsel en veiligheid

Een effect van de morfologische dynamiek van het meergeulenstelsel op de veiligheid tegen overstromen is het risico van ondermijning van de dijken [Stive et al., 1998]. Dit risico is zeker aanwezig wanneer de ebgeulen zich vrij kunnen verplaatsen in het estuarium. De ebgeulen hebben de natuurlijke neiging uit te meanderen en daarbij de oevers weg te eroderen. Echter, door fixatie van het hele estuarium door bedijkingen en inpolderingen is de ruimte waarbinnen de geulen zich kunnen verplaatsen steeds verder beperkt [zie paragraaf 3.4]. Op de mega- en macro-schaal (eb- en vloedgeulen) is het estuarium gefixeerd. Door geulmigratie zijn de eb- en vloedgeulen tegen de grenzen van het estuarium komen te liggen. De buitenbochten en oevers van de geulen worden verdedigd met behulp van harde oeverbeschermingen om te voorkomen dat de geulen verder naar de dijken zullen migreren, waardoor de veiligheid van die dijken in gevaar zou kunnen komen. De ondermijning van de dijken wordt dus in de huidige situatie voorkomen, door met behulp van harde beschermingen de morfologische dynamiek te beperken op plaatsen waar die dynamiek risico's voor de dijk kan opleveren.

Een ander risico is een relatief snelle verandering in de horizontale ligging van de eb- en vloedgeulen als gevolg van functiewisseling [Stive et al., 1998]. Een functiewisseling die zich in korte tijd voltrekt waardoor de ligging van de eb- en vloedgeulen in korte tijd veranderen is beschreven in paragraaf 3.4. Deze vorm van morfologische dynamiek van het meergeulenstelsel kan tot gevolg hebben dat een geul langs een voorheen niet aangevallen deel van de oever komt te liggen. Echter, een ander gevolg van de toegenomen fixatie van het estuarium op de mega- en macro-schaal en de daarmee gepaard gaande afname van de morfologische dynamiek is de toegenomen voorspelbaarheid van de ontwikkelingen in de Westerschelde. Het risico dat de eb- en vloedgeulen zich snel of onverwacht naar (eventueel nog niet beschermd) dijkvakken toe verplaatsen is hierdoor afgenomen, wat de veiligheid van de dijken ten goede komt.

Huidige staat van de veiligheid

De vraag is nu in welke toestand het huidige meergeulenstelsel zich bevindt en wat de implicaties daarvan zijn met betrekking tot de veiligheid tegen overstromen. In de loop der tijd heeft het estuarium grote veranderingen ondergaan, zowel natuurlijk als menselijk. De getijdoordringing was vroeger minder sterk. Een afname in oppervlakte van intergetijdengebieden en het dieper worden van de geulen zorgde voor een andere verhouding van geulen en intergetijdengebieden in de dwarsdoorsnede. Hierdoor is de getijdoordringing zowel horizontaal (getijslag) als verticaal (voortplantingssnelheid getijgolf) toegenomen. Dit is beschreven in paragraaf 2.2. Door deze toename van de getijdoordringing nam de kans op overstromen toe.

Ten behoeve van de scheepvaart heeft een fixatie en verdieping van de vaargeul plaatsgevonden. Deze maatregelen hebben geleid tot een verdere afname van de bodemwrijving en versterking van de getijdoordringing. Tegelijkertijd met deze ontwikkelingen die bijdroegen aan de kans op overstromen, nam de vereiste norm tegen overstromen toe. Het meergeulenstelsel biedt aspecten die van belang zijn voor het waarborgen van de veiligheid. Echter, de instandhouding van het meergeulenstelsel op zichzelf is niet voldoende om de vereiste veiligheid tegen overstromen van een kans van 1/4.000 jaar te waarborgen. De veiligheid wordt tevens bewerkstelligd door bedijking en gecontroleerde overstromingsgebieden.

5.3 Toegankelijkheid en het meergeulenstelsel

Relaties tussen het meergeulenstelsel en toegankelijkheid

Beschrijving relaties tussen de systeemattributen en toegankelijkheid

Voor ieder systeemattribuut wordt beschreven wat de invloed is op de afmetingen van de vaargeul.

1. Ebgeulen

De ebgeulen vormen de diepste aaneengesloten gedeeltes van het systeem en daarmee de hoofdvaargeul voor de scheepvaart (met uitzondering van de hoofdvaargeul ter hoogte van Hansweert zie paragraaf 3.4). De hoofdvaargeul wordt met name gebruikt voor de zeeschepen.

2. Vloedgeulen

De vloedgeulen vormen de vaargeul voor de nevenvaart. Ter hoogte van Hansweert vormt de vloedgeul de hoofdvaargeul. Onder de nevenvaart wordt alle scheepvaart verstaan behalve de zeeschepen. Dit is met name de binnenvaart.

3. Platen

De platen vormen de ondiepere gedeeltes van het systeem. Ze vormen daarmee een obstakel voor de scheepvaart. Schepen moeten de platen ontwijken om niet vast te lopen op de ondieptes. De ligging van de platen bepaalt mede de diepte van de geulen. Hoe dichter de platen tegen de oever liggen, des te ondieper zijn de geulen, door een natuurlijk plaat-geul reliëf.

4. Slikken

Voor de slikken geldt min of meer dezelfde relatie als de platen. De slikken vormen ook een obstakel voor de scheepvaart, afhankelijk van hoe groot hun oppervlak is. De slikken liggen in tegenstelling tot de platen tegen de oevers aan. De oppervlakte en de ligging van de slikken bepalen dus ook mede de diepte van de geulen.

5. Ondiepwatergebied

Er is geen directe relatie met het ondiepwatergebied.

6. Kortsluitgeulen

De kortsluitgeulen kunnen gebruikt worden voor de (kleine) scheepvaart. De kortsluitgeulen kunnen namelijk uitgroeien tot grote volwaardige geulen. Ze moeten dan wel diep zijn om gebruikt te kunnen worden voor de scheepvaart. In de praktijk worden voornamelijk de eb- en vloedgeulen door de scheepvaart gebruikt. Dit heeft er ook mee te maken dat van de kortsluitgeulen die de platen doorsnijden nog maar één exemplaar aanwezig is in de Westerschelde.

7. Drempels

De drempels vormen de ondieptes in de vaargeul en zijn daarmee limiterend voor de scheepvaart. De eerste plekken waar gebaggerd werd in het systeem was op de drempels. Onderhoudsbaggerwerk vindt regelmatig plaats op de drempels.

Relaties tussen de systeemattributen en toegankelijkheid in tabelvorm

Bovenstaande relaties tussen toegankelijkheid en het meergeulensysteem zijn weergegeven in onderstaande tabel. Daarbij is per systeemattribuut aangegeven wat de voornaamste invloed van het attribuut is op de diepte van de vaargeul in vergelijking met andere systeemattributen. Een positieve invloed betekent positief voor de toegankelijkheid, positief voor de diepte van de vaargeul en positief voor de scheepvaart.

Nr.	Systeemattribuut	Toegankelijkheid - diepte van de vaargeul
1.	Ebgeulen	+
2.	Vloedgeulen	+
3.	Platen	-
4.	Slikken	-
5.	Ondiepwatergebied	0
6.	Kortsluitgeulen	+/-
7.	Drempels	-

Tabel 4: De relaties tussen de systeemattributen en de toegankelijkheid

+ = positief; - = negatief; +/- = onbekend; 0 = geen relatie

Bovenstaande beschrijving van de relaties scheppen duidelijkheid in de invloed van de systeemattributen van het meergeulensysteem op de diepte van de hoofdvaargeul. Evenals bij veiligheid komt uit deze beschrijvingen en tabel geen eenduidig antwoord naar voren of de systeemattributen gezamenlijk positief of negatief zijn voor de toegankelijkheid.

Wanneer bovenstaande relaties in beschouwing worden genomen, kan eenvoudig worden geconcludeerd dat de geulen positief zijn voor de toegankelijkheid en dat de

intergetijdengebieden en drempels negatief zijn voor de toegankelijkheid. De diepere delen van het systeem (de geulen) dragen bij aan de toegankelijkheid van het systeem. De ondiepere delen hinderen de scheepvaart (de intergetijdengebieden) of zijn limiterend (de drempels). Afhankelijk van de aanwezigheid van de diepere of ondiepere delen in het systeem draagt het meergeulenstelsel bij aan de toegankelijkheid. In een uiterste verschijningsvorm van het meergeulenstelsel kent het systeem brede, diepe geulen, wat positief is voor de toegankelijkheid. In een andere uiterste verschijningsvorm van het meergeulenstelsel kent het systeem uitgebreide plaatsystemen, slikken en ondiepe geulen, wat negatief is voor de toegankelijkheid.

Overige relaties tussen het meergeulenstelsel en toegankelijkheid

De morfologische dynamiek kan een negatieve invloed hebben op de toegankelijkheid doordat deze zorgt voor veranderingen op korte tijdschaal, waar de scheepvaart gebaat is bij een vastgelegde en daarmee betrouwbare vaargeul. De platen en slikken in het systeem kunnen verraderlijk zijn voor de scheepvaart naarmate ze morfologisch meer dynamisch zijn en zich daardoor regelmatig en in korte tijd verplaatsen. Verplaatsing vindt plaats omdat onder invloed van de waterbeweging voortdurend sedimentatie en erosie van deze systeemattributen plaatsvindt, waardoor hun plaats en daarmee de ligging van de geulen kan veranderen. De kortsluitgeulen kunnen gebruikt worden voor de kleinere scheepvaart. Ook de kortsluitgeulen kunnen zich verplaatsen binnen het systeem. Hierbij kunnen ze zorgen voor een regeneratie van delen van het systeem, waarbij met name de platen en drempels in de ruimte verplaatst worden.

Naast de verplaatsing van systeemattributen is zijstroming een ander risico dat het meergeulenstelsel met zich meebrengt. De hoofdvaargeul meandert om de platen heen. De schepen varen dus om de platen heen om niet vast te lopen op de ondiepere gedeeltes van het systeem. Waar de scheepvaart echter beducht voor moet zijn is zijstroming. Zijstroming ontstaat door het stijgen en dalen van het water. Doordat het dwarsprofiel van het systeem in de tijd verandert, verandert daarmee de stroomsnelheden en de richting. De scheepvaart kan van sterke zijstroming hinder ondervinden.

Huidige staat van de toegankelijkheid

De vraag is nu in welke toestand het huidige meergeulenstelsel zich bevindt en wat de implicaties daarvan zijn met betrekking tot de toegankelijkheid voor de scheepvaart. Het meergeulenstelsel heeft door zijn fysieke karakteristieken van nature de ruimte geboden aan de scheepvaart. In de 14^e eeuw nam de Westerschelde de functie van de Oosterschelde over als vaarroute naar Antwerpen. In de eeuwen die daarop volgden diepten de geulen van het systeem op natuurlijke wijze verder uit. De ebgeulen samen vormden de hoofdvaargeul voor de scheepvaart. Vanaf 1905 werd door middel van baggerwerkzaamheden voor het eerst direct ingegrepen in de bodemligging van de hoofdvaargeul. In de jaren daarvoor werd de bodemligging ook al beïnvloed door menselijke ingrepen als bedijking en inpoldering, die van invloed was op de waterbeweging. Vanaf 1905 werd voor het eerst direct ingegrepen in de geul zelf. In navolging van het onderhoudsbaggerwerk dat vanaf 1905 werd uitgevoerd, hebben twee grootschalige verruimingswerkzaamheden plaatsgevonden. Deze werkzaamheden hebben er toe geleid dat in de huidige toestand de haven van Antwerpen getij-onafhankelijk bereikbaar is voor schepen met een diepgang van 11,60 meter. De maximale diepgang is 48 voet/14,60 meter (opvaart in één getij). Het meergeulenstelsel

biedt aspecten die van belang zijn voor het waarborgen van de toegankelijkheid. Echter, de instandhouding van het meergeulenstelsel op zichzelf is niet voldoende om de vereiste toegankelijkheid te waarborgen. De toegankelijkheid wordt gewaarborgd door constante ingrepen in het systeem.

5.4 Natuurlijkheid en het meergeulenstelsel

Natuurlijkheid wordt gedefinieerd als de mate waarin natuurlijke fysische en ecologische processen plaats kunnen vinden waarbij het menselijke handelen als evident wordt verondersteld en daarmee de randvoorwaarden oplegt aan het plaatsvinden van de natuurlijke processen. Binnen de functie natuurlijkheid wordt dan ook onderscheid gemaakt in fysische natuurlijkheid en ecologische natuurlijkheid. Achtereenvolgens worden dan ook de relaties tussen het meergeulenstelsel en de fysische natuurlijkheid en de relaties tussen het meergeulenstelsel en de ecologische natuurlijkheid beschreven.

Relaties tussen het meergeulenstelsel en fysische natuurlijkheid

Beschrijving relaties tussen systeemattributen en fysische natuurlijkheid

Het meergeulenstelsel is inherent aan het optreden van fysische processen. Elk systeemattribuut is gevormd en wordt gevormd door fysische processen. In de morfodynamische cyclus beïnvloeden systeemattributen en de fysische processen elkaar. En de systeemattributen beïnvloeden elkaar via de fysische processen. Door deze wederzijdse beïnvloeding van systeemattributen en fysische processen vormen zij een geheel. En dat geheel wordt het meergeulenstelsel genoemd. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het meergeulenstelsel gelijk is aan de fysische natuurlijkheid en daarmee onderdeel is van de functie natuurlijkheid.

Huidige staat van de fysische natuurlijkheid

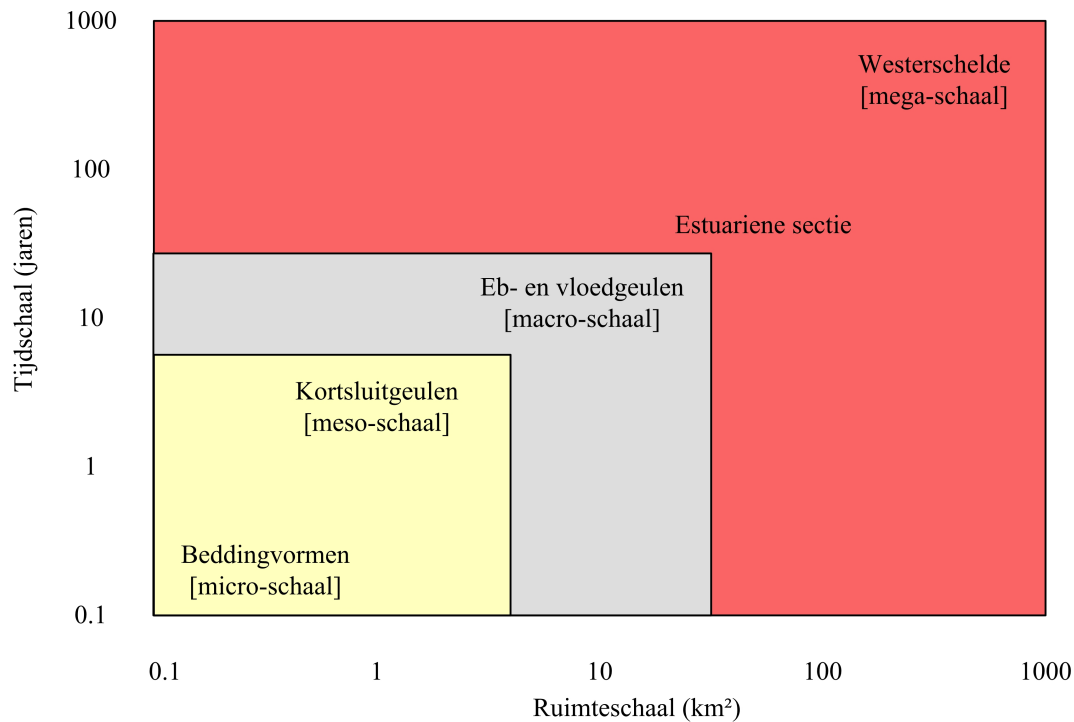
Het meergeulenstelsel is gelijk aan de fysische natuurlijkheid. De staat van het meergeulenstelsel is dus ook gelijk aan de staat van de fysische natuurlijkheid. De vraag is nu hoe de staat van het meergeulenstelsel en de fysische natuurlijkheid te bepalen is. Fysische processen leiden tot morfologische dynamiek. Aan de hand van de mate van morfologische dynamiek is de toestand van de fysische natuurlijkheid en de natuurlijkheid van het meergeulenstelsel te beoordelen. Verschillende verschijningsvormen van het systeem laten verschillende gradaties van morfologische dynamiek zien. In een uiterste vorm van het systeem bestaat er geen grens aan de optredende morfologische dynamiek. Het meergeulenstelsel wordt geheel gevormd door de optredende fysische processen en er bestaat veel wederzijdse beïnvloeding tussen systeemattributen via de fysische processen. In dit systeem is de toestand van de fysische natuurlijkheid heel goed en er is sprake van een meergeulenstelsel met veel bewegingsvrijheid.

De andere uiterste vorm van het systeem is een systeem dat geheel is vastgelegd en gereguleerd door menselijk handelen. De systeemattributen zijn nog waar te nemen, maar de veranderingen die optreden zijn het gevolg van menselijk ingrijpen en niet van fysische processen. Er bestaat geen wederzijdse beïnvloeding tussen de systeemattributen via de fysische processen en de fysische natuurlijkheid is geheel ingeperkt. Dit leidt tot een meergeulenstelsel dat geheel is geconditioneerd.

Aan de hand van de toegestane morfologische dynamiek op de verschillende ruimteschalen zoals gedefinieerd in paragraaf 2.3 wordt bekeken wat de toestand is van de fysische natuurlijkheid.

- *Mega-schaal*: Morfologische dynamiek op deze schaal betreft veranderingen op de schaal van het hele estuarium. Dit is een verlanding of een verdrinking van het estuarium. Bedijkingen en inpolderingen hebben er toe geleid dat het systeem meer vast is komen te liggen, met als gevolg dat het systeem geen horizontale vrijheidsgraden meer heeft op de mega-schaal. Dit houdt in dat de grootschalige morfologische dynamiek niet buiten bepaalde grenzen kan treden. De morfologische dynamiek op de mega-schaal ligt vast.
- *Macro-schaal*: Morfologische dynamiek op deze schaal betreft veranderingen op de schaal van de eb- en vloedgeulen. Voorbeelden zijn geulmigraties en functiewisselingen. De ontwikkelingen op de mega-schaal zijn van invloed geweest op de beschikbare ruimte voor de morfologische dynamiek op de macro-schaal. De mega-schaal heeft daardoor beperkingen opgelegd aan de morfologische dynamiek op de macro-schaal. Rond 1930 hadden de meanderende geulen de oevers bereikt. Vervolgens zijn ten behoeve van de scheepvaart maatregelen uitgevoerd zoals het aanbrengen van geulwandverdediging om de hoofdgeulen vast te leggen. Hierdoor hadden de eb- en vloedgeulen weinig bewegingsvrijheid meer. Tussen 1950 en 1970 heeft er nog een functiewisseling plaatsgevonden tussen een eb- en vloedgeul [paragraaf 3.4]. Deze is vervolgens in stand gehouden door middel van menselijke ingrepen. Verdere menselijke ingrepen beperken in principe de kans dat een dergelijke grootschalige verandering plaats kan vinden gestuurd door morfologische dynamiek. Echter, de eb- en vloedgeulen zijn nog wel eb- respectievelijk vloedgedomineerd en dit houdt het circulerend residueel zandtransport in een morfologische cel in stand. Hiermee wordt de stabiliteit van de eb- en vloedgeulen in stand gehouden, zoals geanalyseerd is met behulp van het Cellenconcept [paragraaf 3.5]. Deze vorm van morfologische dynamiek is nog wel aanwezig.
- *Meso-schaal*: Morfologische dynamiek op deze schaal betreft het ontstaan, expanderen, migreren en verzanden van kortsluitgeulen op een tijdschaal van jaren tot decennia. Tevens betreft dit de regeneratie van plaatgebieden en het verplaatsen van zowel platen als slikken door sedimentatie als erosie. Kortsluitgeulen en intergetijdengebieden vormen daarmee de meest dynamische elementen van het systeem. Zoals door Swinkels [2006] is aangetoond, loopt echter ook deze vorm van morfologische dynamiek de kans te verdwijnen [paragraaf 3.6].
- *Micro-schaal*: Morfologische dynamiek op deze schaal betreft beddingvorming, zoals het vormen van megaribbels.

De staat van de fysische natuurlijkheid die hier is beschreven is weergegeven in onderstaand figuur. Met rood is aangegeven op welke schaal de morfologische dynamiek is vastgelegd. Met grijs is aangegeven op welke schaal grootschalige veranderingen niet meer mogelijk zijn, maar dat er nog wel morfologische dynamiek aanwezig is. Dit is in dit geval de macro-schaal met de eb- en vloedgeuldynamiek. Met geel is aangegeven de schaal waarop morfologische dynamiek nog mogelijk is.



Figuur 24: Staat van de fysische natuurlijkheden

Relaties tussen het meergeulenstelsel en ecologische natuurlijkheden

Beschrijving relaties tussen systeemattributen en ecologische natuurlijkheden

Binnen het systeem van de Westerschelde zijn verschillende ecotopen te onderscheiden. Deze ecotopen worden beoordeeld naar hun ecologische waarde aan de hand van het ecotopenstelsel zoals dat opgesteld is in het Zoute wateren EcotopenStelsel (ZES.1).

In de Westerschelde kunnen verschillende ecotopen onderscheiden worden zoals beschreven is in paragraaf 4.4. De indeling in ecotopen komt in grote lijnen overeen met de indeling in systeemattributen. De systeemattributen worden gekenmerkt door een of meerdere ecotopen. Op deze manier is het mogelijk van elk systeemattribuut de ecologische waarde te bepalen. Per systeemattribuut volgt hieronder het verband met het ecotopenstelsel.

1. Ebgeulen

Ecotoop Sublitoraal - Diep (> 5 meter) - Nagenoeg geheel dynamisch

Nagenoeg alle delen van de ebgeulen zijn hoogdynamisch. De ebgeulen hebben een watertransportfunctie. En aangezien er veel water de dwarsdoorsnede passeert, zijn de stroomsnelheden tijdens het getij hoog. De ebgeulen kennen dan ook soortenarme bodemdiergemeenschappen met lage biomassa's.

2. Vloedgeulen

Ecotoop Sublitoraal - Diep (> 5 meter) - Nagenoeg geheel dynamisch

Nagenoeg alle delen van de vloedgeulen zijn hoogdynamisch. Evenals de ebgeulen hebben de vloedgeulen een watertransportfunctie en kennen hoge stroomsnelheden. Evenals de ebgeulen kennen ook de vloedgeulen soortenarme bodemdiergemeenschappen met lage biomassa's.

3. Platen

Binnen de platen kan onderscheid worden gemaakt in de volgende ecotopen:

- Litoraal - Hoogdynamisch (hydrodynamiek)
- Litoraal - Laagdynamisch (hydrodynamiek) - Laag/middelhoog gelegen
- Litoraal - Laagdynamisch (hydrodynamiek) - Hoog gelegen

Alleen de tweede ecotoop is ecologisch interessant. Deze ecotoop komt overeen met het systeemattribuut intergetijdengebieden (platen en slikken) tussen GLWS en maximaal 75% droogvalduur, met een lage bodemdynamiek als gevolg van stroomsnelheid of golven. De bodem is zandig tot slibrijk. Het herbergt soortenrijke en biomassa-rijke bodemdiergemeenschappen, waarop grote aantallen vogels en vissen kunnen foerageren. Het zijn de rijkste gebieden van de Westerschelde. Aan deze gebieden wordt dan ook wel gerefereerd als de ‘oerwouden van de Westerschelde’.

4. Slikken

Bij de slikken kunnen dezelfde ecologisch interessante ecotopen worden onderscheiden als de platen. Tussen de platen en slikken bestaan er verschillen met betrekking tot sedimentsamenstelling, maar op hoofdlijnen kennen de intergetijdengebieden dezelfde ecotopen.

5. Ondiepwatergebied

Ecotoop Sublitoraal - Ondiep (5 meter - GLWS). Onderscheid wordt gemaakt in:

- Hoogdynamisch
- Laagdynamisch

Het hoogdynamische deel is het deel dat ondiep is, zich niet langs de randen van platen en slikken bevindt, maar het bovendeel van de geul vormt. Dit deel wordt in principe bij de geul gerekend. Het laagdynamische deel zijn de ondiepwatergebieden die langs de randen van de platen en slikken liggen. Dit ecotoop is belangrijk voor bepaalde soorten vissen en kreeftachtigen.

6. Kortsluitgeulen

Voor de kortsluitgeulen zijn niet eenduidig verschillende ecotopen te onderscheiden. Daardoor kan niet worden gezegd dat kortsluitgeulen ecologisch interessant of oninteressant zijn. Een kortsluitgeul ontstaat en verdwijnt weer op een tijdschaal van jaren tot decennia. Algemeen wordt aangenomen dat met het ontstaan van kortsluitgeulen ondiepwatergebied wordt gecreëerd. Hiermee is de kortsluitgeulen ecologisch interessant. Echter, wanneer een kortsluitgeul uitgroeit tot een volwaardige geul, dan zal deze geul grote hoeveelheden water doorvoeren. Dit betekent dat de kortsluitgeul grotendeels hoogdynamisch (hydrodynamiek) wordt en ecologisch oninteressant.

7. Drempels

Er is geen relatie met de drempels.

De aanwezigheid van de ecotopen in de Westerschelde is eerder weergegeven in paragraaf 4.4; Figuur 23: Ecotopenstelsel van de Westerschelde. Bovenstaande relaties tussen ecologische natuurlijkheid en het meergeulenstelsel zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Daarbij is per systeemattribuut aangegeven wat de invloed van het attribuut is op de ecologische natuurlijkheid. Een positieve invloed op de ecologische natuurlijkheid betekent een positieve invloed op de ecotopen die potentie bieden voor levensgemeenschappen.

Nr.	Systeemattribuut	Ecologische natuurlijkheid
1.	Ebgeulen	-
2.	Vloedgeulen	-
3.	Platen	+
4.	Slikken	+
5.	Ondiepwatergebied	+
6.	Kortsluitgeulen	+/-
7.	Drempels	0

Tabel 5: De relaties tussen de systeemattributen en de ecologische natuurlijkheid

+ = positief; - = negatief; +/- = onbekend; 0 = geen relatie

Bovenstaande beschrijving van de relaties scheppen duidelijkheid in de invloed van de systeemattributen van het meergeulenstelsel op de ecologische natuurlijkheid. Uit deze beschrijvingen en tabel blijkt welke systeemattributen bijdragen aan de ecologische natuurlijkheid, maar geeft geen antwoord op de vraag of het meergeulenstelsel de ecologische natuurlijkheid waarborgt. Evenals bij de andere functies is de verschijningsvorm van het meergeulenstelsel mede bepalend voor de bijdrage van het meergeulenstelsel aan de ecologische natuurlijkheid. Hierbij is de verdeling van de systeemattributen in de ruimte van belang.

Een uiterste verschijningsvorm van het meergeulenstelsel kent veel ecologisch interessante ecotopen; grote arealen laag/middelhoog gelegen intergetijdengebied en ondiepwatergebied, waarbij de stroomsnelheden laag zijn. In een andere uiterste verschijningsvorm van het meergeulenstelsel nemen de geulen een relatief groot deel in van de oppervlakte van de Westerschelde en zijn de stroomsnelheden hoog. Dit meergeulenstelsel is ecologisch oninteressant.

Overige relaties tussen het meergeulenstelsel en ecologische natuurlijkheid

Zoals beschreven is bij de fysische natuurlijkheid vormen de kortsluitgeulen een belangrijk deel van de nog aanwezige morfologische dynamiek in de Westerschelde en het meergeulenstelsel. Bij migratie zorgen de kortsluitgeulen voor een regeneratie van de plaatgebieden. Door deze regeneratie vermijden de kortsluitgeulen dat de platen in de hoogte kunnen groeien en begroeid worden waardoor ze evolueren tot schorren. Hierdoor zou de ecologische waarde van platen verloren gaan. Door de regeneratie zorgen de kortsluitgeulen tevens voor een verversing van sediment van de platen, waarop en waarin weer nieuw bodemleven kan ontstaan. Over deze relatie tussen de morfologische dynamiek van kortsluitgeulen en ecologische natuurlijkheid bestaat wel discussie. In principe bestaat er discussie over de relatie tussen morfologische dynamiek en ecologische natuurlijkheid. Een ecologisch systeem met nauwelijks van plaats veranderende ecotopen zou even waardevol kunnen zijn als een systeem waarin de ecotopen op een tijdschaal van jaren tot decennia op een andere plaats komen te liggen. Het is bekend dat de ecologie juist baat heeft bij een vrij stabiel systeem. Een te dynamisch (veranderend) systeem, brengt een hoge hydrodynamiek met zich mee, ofwel hoge stroomsnelheden, en dat is negatief voor de ecologie.

Anderzijds is ook bekend dat estuariene bodemdieren aangepast zijn aan een regelmatig veranderend milieu en dat de morfologische dynamiek de ecologie niet automatisch schade toebrengt. Het geheugen van het systeem is vrij kort en er bestaan over het algemeen weinig langlevende bodemorganismen. Het zou dan ook niet erg zijn dat ze op een plek verdwijnen en elders weer terug komen. Het zou dan ook geen probleem zijn voor de meeste bodemdieren om zich naar een nieuw gebied te verplaatsen. Dat is zelfs van nature zo. Het is bekend dat de meeste estuariene bodemdieren over een verspreidingsmechanisme beschikken, waarmee ze zich naar een ander gebied kunnen verplaatsen. Vervolgens duurt het dan een paar jaar om weer een bodemgemeenschap te ontwikkelen, maar meestal niet langer dan een paar jaar. Meestal wordt verondersteld dat morfologische dynamiek positief is voor de ecologische natuurlijkheid, maar de mate van morfologische dynamiek die positief werkt is niet onomstreden. Voor de kortsluitgeulen bijvoorbeeld betekent dit dat de relatie met ecologische natuurlijkheid niet bekend is.

Huidige staat van de ecologische natuurlijkheid

De vraag is nu in welke toestand het huidige meergeulenstelsel zich bevindt en wat de implicaties daarvan zijn met betrekking tot de ecologische natuurlijkheid. In MOVE 7, het Hypothesendocument [Stikvoort et al., 2003], is de ontwikkeling van de verschillende arealen, zoals de platen, slikken en het ondiepwatergebied bekeken. Deze analyse laat zien dat deze arealen in oppervlakte allemaal zijn afgenomen. Dit houdt in dat het systeem ecologisch minder interessant is geworden. De gegevens zijn echter niet direct gerelateerd aan de stroomsnelheden (hydrodynamiek) en voor de intergetijdengebieden aan de hoogteligging. Deze factoren zijn namelijk ook van belang voor de beoordeling of ze ecologisch interessant zijn of niet. Daarbij ontbreekt het aan kennis over de staat van de op de arealen voorkomende levensvormen. In dit onderzoek is het niet mogelijk een eenduidige uitspraak over de huidige ecologische waarde van de Westerschelde te doen. Dat de ecologisch interessante ecotopen in oppervlakte af zijn genomen, dat staat wel vast.

5.5 Deelconclusies

Deelconclusie 5.1: Het meergeulenstelsel biedt aspecten die van belang zijn voor iedere functie.

Wanneer een functie belang heeft bij een aspect dan betekent dit dat wanneer dit aspect toeneemt, dat de functie die er belang bij heeft beter door het meergeulenstelsel wordt ondersteund. Het tegenovergestelde geldt wanneer een aspect afneemt. Onder aspecten wordt verstaan het voorkomen van systeemattributen en de mate van morfologische dynamiek.

- *Veiligheid:* Het systeem kent een natuurlijke demping van de hoogwaterstanden. Deze demping is het resultaat van de bochtwerking (hydraulische weerstand), de drempels in de geulen (hydraulische weerstand) en de intergetijdengebieden (afname gemiddelde diepte en vergroting van de waterberging bij opkomend water).
- *Toegankelijkheid:* Het systeem kent geulen die van nature diep zijn. Dit zijn de ebgeulen. Doordat de relatief diepere ebgeulen op elkaar aansluiten vormen ze de hoofdvaargeul voor de scheepvaart.

- *Natuurlijkheid*: Het systeem kent een natuurlijke mate van hydraulische en morfologische dynamiek waarbij het systeem zich op natuurlijke wijze in een dynamisch evenwicht handhaaft. Het systeem verandert binnen bepaalde vrijheidsgraden, maar blijft in grote lijnen hetzelfde. Binnen deze veranderende toestand van het systeem zijn verschillende ecologisch interessante ecotopen te onderscheiden.

Deelconclusie 5.2: Ondanks dat van het huidige meergeulenstelsel aspecten aan zijn te wijzen die van belang zijn voor het waarborgen van de functies, is instandhouding van het meergeulenstelsel op zichzelf niet voldoende. Voor het waarborgen van de functies zijn aanvullende maatregelen nodig.

Van het meergeulenstelsel zijn er verschillende verschijningsvormen mogelijk. Hierbij wordt gekeken naar de configuratie van de systeemattributen in de ruimte en de mate van morfologische dynamiek die optreedt. Afhankelijk van het de aanwezigheid van deze aspecten worden de functies meer of minder ondersteund door het meergeulenstelsel. Voor het waarborgen van de functies zijn aanvullende maatregelen nodig.

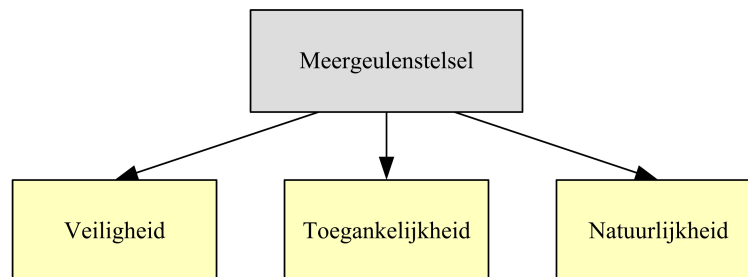
- *Veiligheid*: Het meergeulenstelsel op zichzelf is niet voldoende om de vereiste veiligheid tegen overstromen te waarborgen. De veiligheid wordt mede gewaarborgd door bedijking en gecontroleerde overstromingsgebieden. Het risico van de ondermijning van dijken door morfologische dynamiek is beperkt door het aanbrengen van geulwandverdediging op plaatsen waar die dynamiek schade op kan leveren. De fixatie van het systeem en de daarmee gepaard gaande afname van dynamiek hebben er voor gezorgd dat de dynamiek die de dijken kan schaden zich niet makkelijk kan verplaatsen naar oevers die niet door harde beschermingen verdedigd wordt.
- *Toegankelijkheid*: Het meergeulenstelsel op zichzelf is ook niet voldoende om de vereiste toegankelijkheid tot Antwerpen te waarborgen. Door constante menselijke ingrepen in het systeem is de haven van Antwerpen getij-onafhankelijk bereikbaar voor schepen met een diepgang van 11,60 meter. De maximale diepgang van een schip dat de haven van Antwerpen kan bereiken is 14,60 meter. Dit is mogelijk bij een opvaart in één getij.
- *Fysische natuurlijkheid*: De staat van de fysische natuurlijkheid wordt beoordeeld aan de hand van de morfologische dynamiek. Op de mega- en de macro-schaal ligt de morfologische dynamiek vast. Grootschalige veranderingen kunnen niet meer optreden. Op de macro-schaal is er nog wel sprake van eb- en vloeddominantie in de eb- en vloedgeulen, wat leidt tot circulerend residueel zandtransport, wat de verschillende geulen in stand houdt. De meso-schaal is de meest dynamische schaal qua morfologische dynamiek. De kortsluitgeulen en de intergetijdengebieden vormen daarmee de meest dynamische elementen binnen het systeem.
- *Ecologische natuurlijkheid*: Het is mogelijk aan te geven welke ecotopen van het meergeulenstelsel ecologisch interessant zijn, maar het is niet bekend wat de staat is van die ecotopen, behalve dat ze in de afgelopen halve eeuw af zijn genomen in oppervlakte. De ecotopen doen een uitspraak over de potentie van voorkomen van levensvormen. De staat van de voorkomende levensvormen is niet bekend. Ook is niet bekend wat de relatie is tussen de morfologische dynamiek en de ecologische natuurlijkheid. Hierover kan dan ook geen uitspraak worden gedaan.

Deelconclusie 5.3: Aspecten van het meergeulensysteem waar de functies belang bij hebben komen niet altijd overeen of zijn zelfs tegengesteld. Wanneer er wordt ingegrepen in het systeem ten behoeve van één van de functies, kan dit er toe leiden dat de functies onderling in conflict komen.

De analyses laten zien welk belang de functies hebben bij welke aspecten van het systeem. Wanneer deze aspecten tegengesteld zijn kan er een conflict tussen functies optreden wanneer ingrepen ten behoeve van een functie een aspect schaadt waar een andere functie belang bij heeft. Dit vormt een bedreiging voor het basisuitgangspunt van de Langetermijnvisie dat de Westerschelde én veilig én toegankelijk én natuurlijk moet zijn.

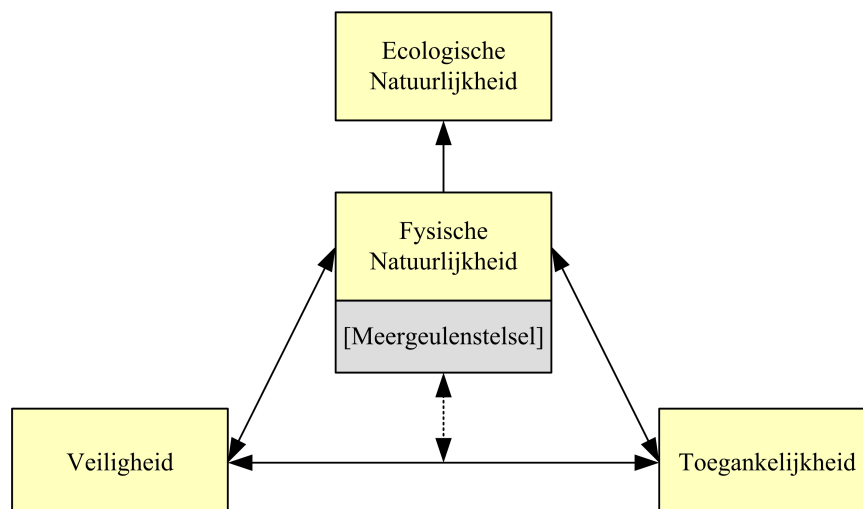
Deelconclusie 5.4: Het meergeulensysteem maakt deel uit van de functie natuurlijkheid.

De relatie tussen het meergeulensysteem en de functies is altijd verondersteld zoals weergegeven in de schematisatie in Figuur 25 waarbij het meergeulensysteem de functies waarborgt (vandaar de richting van de pijlen). Hierbij is voor iedere functie apart een relatie te leggen met het meergeulensysteem.



Figuur 25: Veronderstelde relatie meergeulensysteem en functies

De gevonden relaties tussen het meergeulensysteem en natuurlijkheid laten zien dat de fysische natuurlijkheid gelijk is aan het meergeulensysteem. Hiermee maakt het meergeulensysteem deel uit van de functie natuurlijkheid. Dit wordt in Figuur 25 niet duidelijk. Het geheel aan relaties kan beter worden weergegeven als in de schematisatie in Figuur 26.



Figuur 26: Gevonden relatie meergeulensysteem en functies

Deze schematisatie verschilt met de vorige schematisatie op de volgende punten:

1. In deze schematisatie is beter weergegeven dat het meergeulenstelsel deel uitmaakt van de functie natuurlijkheid en gelijk is aan de fysische natuurlijkheid. Ook komt uit deze schematisatie beter naar voren dat binnen natuurlijkheid onderscheid te maken is tussen fysische natuurlijkheid en ecologische natuurlijkheid. De pijl van fysische natuurlijkheid naar ecologische natuurlijkheid maakt duidelijk dat de eerste de drager is van de tweede.
2. In deze schematisatie is beter weergegeven dat voor een volledige beschouwing van de relatie tussen het meergeulenstelsel en de functies de relaties tussen de functies onderling beschouwd moet worden. De reden hiervan is dat de functies aspecten aan het meergeulenstelsel ontlelen die soms tegengesteld zijn [deelconclusie 5.3]. Deze relaties wordt beschouwd aan de hand van het meergeulenstelsel.

De analyse van de verhoudingen tussen de functies wordt beschreven in het volgende hoofdstuk.

6 Verhoudingen tussen de functies

6.1 Inleiding

Analyses in het voorgaande hoofdstuk laten zien dat de functies belang hebben bij het voorkomen van bepaalde systeemattributen of morfologische dynamiek van het meergeulenstelsel. Analyses laten ook zien dat de functies niet altijd hetzelfde belang of zelfs een tegengesteld belang kennen van het voorkomen van bepaalde systeemattributen of morfologische dynamiek. Dit betekent dat wanneer maatregelen worden genomen voor een van de functies, dit negatieve gevolgen kan hebben voor de andere functies. Deze relaties tussen ingrepen in het systeem en de gevolgen daarvan voor de verschillende functies worden in dit hoofdstuk beschreven.

Een belangrijk gegeven voor de analyse van de verhouding tussen de functies is dat de veiligheid in de Langetermijnvisie is aangemerkt als prioritaire factor. De veiligheid krijgt in het beleid de voorkeur boven de andere functies. Hier is een duidelijke keuze gemaakt. De Langetermijnvisie zegt hierover het volgende: *‘De veiligheid tegen overstromen van het aan het Schelde-estuarium grenzende land blijft een prioritaire factor die zal worden gemaximaliseerd in overeenstemming met de maatschappelijke ontwikkeling en haalbaarheid. De instandhouding van zowel het natuurlijke estuariene systeem (natuurlijkheid) als van voldoende toegang tot de Scheldehavens (toegankelijkheid) zullen op deze prioritaire factor zijn afgestemd.’* [Langetermijnvisie pag. 27] Dit standpunt wordt ook ingenomen in de Vogelrichtlijn, die geen enkele significante verstoring binnen een Speciale Beschermingszone toelaat door plannen en/of projecten van sociale of economische aard. Uit jurisprudentie blijkt echter dat projecten die verband houden met het in stand houden van de menselijke veiligheid wel worden toegestaan. Nadelige gevolgen behoeven dan niet te worden gecompenseerd.

6.2 Verhouding tussen veiligheid en toegankelijkheid

In de paragrafen 5.2 en 5.3 staan de relaties beschreven tussen het meergeulenstelsel en de veiligheid, respectievelijk de toegankelijkheid. In deze paragraaf wordt bekeken of deze functies overeenkomstige of tegengestelde belangen afleiden van systeemattributen en morfologische dynamiek van het meergeulenstelsel.

Veiligheid heeft belang bij de relatief ondiepere delen van het systeem. Hoe ondieper het systeem, hoe hoger de demping van de getijenergie en daarmee de demping van de hoogwaterstanden. De relatief ondiepere delen van het systeem zijn de intergetijdengebieden (platen en slikken) en de drempels in de geulen. De veiligheid heeft geen belang bij de relatief diepere delen van het systeem. Hoe dieper het systeem, hoe beter de voortplanting van het getij in het estuarium en daarmee hoe hoger de hoogwaterstanden. De relatief diepere delen van het systeem zijn de eb- en vloedgeulen. De morfologische dynamiek leidt tot karakteristieken van het systeem waar de veiligheid belang bij heeft. Dit zijn de bochtwerking, ondieptes en intergetijdengebieden. Deze aspecten bieden een natuurlijke

hydraulische weerstand tegen het water. Een te hoge morfologische dynamiek kan echter een risico vormen doordat het leidt tot een ondermijning van de dijken. Voor de toegankelijkheid gelden meestal juist de omgekeerde relaties. De toegankelijkheid heeft belang bij de diepere delen van het systeem, aangezien deze delen plek verschaffen aan de scheepvaart. De ondiepere delen van het systeem werken juist limiterend voor de scheepvaart. De toegankelijkheid is niet gebaat bij morfologische dynamiek. Kortom, de veiligheid heeft belang bij aspecten van het meergeulenstelsel waar de toegankelijkheid geen belang bij heeft en vice versa. Dit verschil bestaat voornamelijk uit het gewenste voorkomen van bepaalde systeemattributen.

Belangrijke input voor de relatie tussen de veiligheid en de toegankelijkheid zijn de rapporten van het project MOVE (MONitoring VErruiming Westerschelde). Het project MOVE is beschreven in paragraaf 4.3. De verwachting van MOVE is dat de maatregelen ter bevordering van de toegankelijkheid die uit zijn gevoerd en wellicht uit zullen worden gevoerd, namelijk het baggeren van de vaargeul, ten koste gaan van de veiligheid. In het Evaluatierapport 2003 is dit als volgt verwoord [Withagen et al., 2003]: *‘De verwachting is dat ten gevolge van de verbreding en verdieping van de vaarweg de getijgolf minder weerstand ondervindt, waardoor het water gemakkelijker in en uit het estuarium kan stromen. Er treedt dan minder energieverlies op, waardoor de getijgolf minder gedempt wordt. Dit uit zich in een hoger hoogwater en een lager laagwater.’* Verschillende hypothesen uit het Hypothesendocument [Stikvoort et al., 2003] zijn van toepassing op de relatie tussen veiligheid en toegankelijkheid. Deze hypothesen en de conclusies na metingen zijn beschreven in Appendix D.

De verwachting is dat de verruiming nadelige invloeden hebben ten aanzien van de kans op overstromen. De conclusie van het laatste MOVE rapport [Withagen et al., 2003] is dat de periode van drie jaar na de verruiming te kort is om te zeggen of de voorspellingen uit zullen komen, aangezien de hypothesen een verwachting uitspreken over de situatie 15-25 jaar na de 2^e verruiming (1997-1998). Echter, wanneer bovenstaande hypothesen van MOVE uitkomen, dan wordt het verschil in aspecten van het meergeulenstelsel waar veiligheid en toegankelijkheid belang bij hebben dermate groot, dat deze belangen conflicteren. Beleidsuitgangspunt in dit conflict is dan dat veiligheid de voorkeur krijgt boven de toegankelijkheid. Op het moment dat aangetoond wordt dat de veiligheid in het geding komt, door maatregelen die worden genomen ten behoeve van de toegankelijkheid, dan zullen er aanvullende maatregelen worden genomen ten behoeve van de veiligheid of vinden de maatregelen ten behoeve van de toegankelijkheid geen doorgang.

6.3 Verhouding tussen veiligheid en natuurlijkheid

In de paragrafen 5.2 en 5.4 staan de relaties beschreven tussen het meergeulenstelsel en de veiligheid respectievelijk de natuurlijkheid. In deze paragraaf wordt bekeken of deze functies overeenkomstige of tegengestelde belangen afleiden van systeemattributen en morfologische dynamiek van het meergeulenstelsel.

Voor de ecologische natuurlijkheid zijn de intergetijdengebieden en de ondiepere delen van het systeem van belang, mits er een laag hydrodynamisch milieu heerst. De ondiepere delen van het systeem zijn ook van belang voor de veiligheid, aangezien een ondieper systeem zorgt voor een demping van de hoogwaterstanden. Het meergeulenstelsel is een systeem dat

van nature niet gestroomlijnd is. Een dergelijk systeem kent een goede natuurlijke demping van het getij; de bochten, de drempels en de intergetijdengebieden dragen hier aan bij. De bochten, drempels en intergetijdengebieden komen tot stand door morfologische dynamiek. Kortom, de veiligheid en de natuurlijkheid hebben belang bij de aanwezigheid van dezelfde systeemattributen van het meergeulenstelsel.

Het meergeulenstelsel is gelijk aan de fysische natuurlijkheid. Een hogere fysische natuurlijkheid impliceert een dynamischer systeem met veel morfologische dynamiek. De fysische natuurlijkheid is beter bij meer morfologische dynamiek; veel bewegingsvrijheid en ongestoordheid van fysische processen. Echter, een te hoge morfologische dynamiek kan een risico vormen voor de veiligheid door oeveraanval van uitmeanderende geulen. Deze risico's zijn in het huidige systeem door beperkingen van het systeem op de mega- en macro-schaal sterk gereduceerd. Wel kan de conclusie worden getrokken dat de fysische natuurlijkheid baat heeft bij morfologische dynamiek in tegenstelling tot de veiligheid.

Een andere manier om de relatie te beschouwen is door te kijken naar implicaties bij het nemen van maatregelen ten behoeve van de veiligheid of de natuurlijkheid. Wanneer men voor de veiligheid de dijken verzwaaert, dan kan dit negatieve gevolgen hebben voor de natuurlijkheid. Bij verzwaring van de dijk wordt een deel van de beschikbare ruimte door de dijk in beslag genomen, waarmee dit deel voor de natuurlijkheid verloren gaat. Om de dijk te beschermen wordt harde oeververdediging aangebracht en deze beperkt de morfologische dynamiek. Een maatregel om de natuurlijkheid te bevorderen is ontpolderen. Ontpoldering brengt echter hoge kosten met zich mee voor het handhaven van de veiligheid. Een maatregel waar beide functies bij gebaat zijn is de aanleg van gecontroleerde overstromingsgebieden. Naast dat deze gebieden dienen ter bevordering van de veiligheid, worden ze niet bebouwd door hun hoge overstromingskans, en worden ze daarom benut als natuurontwikkelingsgebied. Dit komt de ecologische natuurlijkheid ten goede.

6.4 Verhouding tussen toegankelijkheid en natuurlijkheid

In de paragrafen 5.3 en 5.4 staan de relaties beschreven tussen het meergeulenstelsel en de toegankelijkheid respectievelijk de natuurlijkheid. In deze paragraaf wordt bekeken of deze functies overeenkomstige of tegengestelde belangen afleiden van systeemattributen en fysische processen van het meergeulenstelsel.

De toegankelijkheid heeft belang bij de diepere delen van het systeem aangezien zij plek verschaffen aan de scheepvaart. De ondiepere delen werken juist limiterend voor deze scheepvaart. Verder is de scheepvaart gebaat bij een stabiele, betrouwbare vaargeul. Een hoge morfologische dynamiek kan een risico opleveren voor de scheepvaart door het verleggen van de vaargeul. Fysische natuurlijkheid is gebaat bij zoveel mogelijk morfologische dynamiek; veel bewegingsvrijheid en ongestoordheid van fysische processen. Voor de ecologische natuurlijkheid zijn de intergetijdengebieden en de ondiepere delen van het systeem van belang, mits er een laag hydrodynamisch milieu heerst.

Kortom, de toegankelijkheid heeft belang bij aspecten van het meergeulenstelsel waar de natuurlijkheid geen belang bij heeft en vice versa. Dit verschil betreft zowel het voorkomen van systeemattributen als de mate van morfologische dynamiek.

De verwachting van MOVE is dat de maatregelen ter bevordering van de toegankelijkheid die uit zijn gevoerd en wellicht uit zullen worden gevoerd, namelijk het baggeren van de vaargeul, ten koste gaan van zowel de fysische als de ecologische natuurlijkheid. Verschillende hypothesen uit het Hypothesendocument [Stikvoort et al., 2003] zijn van toepassing op de relatie tussen toegankelijkheid en natuurlijkheid. Deze hypothesen en de conclusies na metingen zijn beschreven in Appendix E. In het kort betreft het de volgende hypothesen:

- *Stroomsnelheden*: De verwachting is dat de stroomsnelheden door de verruiming zullen toenemen. De resultaten van metingen laten zien dat de stroomsnelheden lokaal, bij de plaatranden toenemen. Dit houdt in dat de hydrodynamiek lokaal toeneemt, wat ten koste gaat van de ecologische natuurlijkheid.
- *Zoutgradiënt*: Een belangrijke karakteristiek van de Westerschelde is de zoutgradiënt. Voor de natuurwaarden is deze gradiënt van belang. Veel organismen zijn gebonden aan een bepaalde bandbreedte in het zoutgehalte. De mogelijkheid bestaat dat door de verruiming het getij verder de Westerschelde binnen kan dringen, waardoor het zoute water verder stroomopwaarts kan komen dan in de situatie vóór de verruiming. Wanneer dit het geval is, dan heeft dit gevolgen voor de ecologische natuurlijkheid. Resultaten van metingen laten zien dat het getij verder doordringt de Westerschelde in. De rivierafvoer is echter van grotere invloed. De zoutgradiënt wordt door de verruiming niet aangetast.
- *Platen*: MOVE bevat hypothesen die voorspellingen doen over zowel de inhoud van de platen, als de areaal-oppervlakte van de platen. Verwacht wordt dat de platen in de delen van de Westerschelde waar gestort wordt in inhoud zullen toenemen. De verklaring hiervoor is dat het sediment dat gestort wordt in de geulen op natuurlijke wijze weggeërodeerd wordt, waarna het sediment opgeslagen wordt op de platen. Een toename van de platen in de hoogte is slecht voor de ecologische natuurlijkheid. Het risico bestaat dat ze evolueren tot schorren en hun ecologische waarde verliezen. In de delen van de Westerschelde waar gebaggerd wordt, wordt verwacht dat een grotere erosie optreedt van de plaatranden, waardoor de platen in oppervlakte af zullen nemen. Dit heeft ook negatieve gevolgen voor de ecologische natuurlijkheid. Aan de hand van resultaten van metingen kunnen er nog geen eenduidige conclusies worden getrokken, omdat de uitspraken betreffende de inhoud en arealen van de platen een grote onzekerheid kennen.
- *Slikken*: Van de slikken wordt alleen in het westelijk deel een afname verwacht, maar niet ten gevolge van de verruiming. Door het aanleggen van geulwandverdedigingen zal er in de overige delen van de Westerschelde geen erosie optreden naar aanleiding van de verruiming.
- *Ondiepwatergebied*: Van het ondiepwatergebied wordt verwacht dat het in de hele Westerschelde zal afnemen. Enerzijds door het vergroten en verhogen van de platen en anderzijds door vergroting van de hoofdvaargeul, die leidt tot een versteiling van het plaat-geul reliëf. Dit betekent een achteruitgang van de ecologische natuurlijkheid. Ook de uitspraken betreffende het ondiepwatergebied kennen een grote onzekerheid. Er kan geen eenduidige conclusie aan worden verbonden.
- *Geulen*: Evenals over de platen bevat MOVE hypothesen die voorspellingen doen over zowel de inhoud van de geulen, als de areaaloppervlakte van de geulen. De hypothesen betreffende de inhoud gaan over de hoofdgeulen, de nevengeulen en de kortsluitgeulen. Een toename van de volume van hoofd- en nevengeulen betekent per definitie een

toename van de hydrodynamiek. Dit heeft negatieve gevolgen voor de ecologische natuurlijkheid. Een toename van de kortsluitgeulen betekent een toename van de hydrodynamiek, maar ook een toename van de morfologische dynamiek en het creëren van meer ondiepwatergebied. Dit is dus gunstig voor zowel de fysische natuurlijkheid als de ecologische natuurlijkheid.

Voor het westelijk en het middendeel van de Westerschelde wordt netto geen verandering in het areaal geulen verwacht. Wel wordt verwacht dat inhoud van de nevengeulen en de kortsluitgeulen af zullen nemen door stortingen. Afname van kortsluitgeulen is een afname van de nog bestaande morfologische dynamiek en daarmee een afname van de fysische natuurlijkheid. De verwachting voor het oostelijk deel is dat de areaal-oppervlakte van de geulen significant toe zullen nemen. Dit zou dan ten koste van de platen en het ondiepwatergebied gaan. Deze verwachting wordt ook verwoord door de hypothesen voor de platen en het ondiepwatergebied. Een achteruitgang van de platen en het ondiepwatergebied betekent een achteruitgang van de ecologische natuurlijkheid. Verwacht wordt dat in het oostelijk deel de kortsluitgeulen zullen toenemen. Dit is positief voor de morfologische dynamiek en daarmee voor de fysische natuurlijkheid. Echter, de reden voor deze toename is dat er meer gestort gaat worden in het westen, waar de verwachting is dat de kortsluitgeulen af zullen nemen. Uitspraken over de inhouden en arealen van de geulen kennen echter ook een grote onzekerheid en er kunnen geen eenduidige conclusies aan worden verbonden.

De hypothesen schetsen een algemeen beeld waarin de verruiming nadelige gevolgen hebben voor zowel de fysische als de ecologische natuurlijkheid. Met een afname van platen, slikken en ondiepwatergebied neemt de ecologische natuurlijkheid af. Met het verder fixeren van het systeem door geulwandverdediging en storten in de kortsluitgeulen neemt de fysische natuurlijkheid af. Drie jaar na de verruiming is te kort om te zeggen of de voorspellingen uit zullen komen, aangezien de hypothesen een verwachting uitspreken over de situatie 15-25 jaar na de verruiming. Eenduidige conclusies kunnen nog niet verbonden worden aan de meetresultaten. Het is echter duidelijk dat toegankelijkheid en natuurlijkheid voortdurend met elkaar in conflict komen. In dat geval is er vanuit het beleid geen duidelijke uitspraak gedaan welke functie de voorkeur krijgt, zoals in het geval dat veiligheid conflicteert met een andere functie.

Dit conflict is een voorbeeld van een vaak voorkomend conflict tussen economische belangen en natuurwaarden die mogelijk daaronder te lijden hebben. Hierbij zijn er enerzijds richtlijnen die aangeven in hoeverre de natuur in stand moet worden gehouden. Anderzijds wordt bekeken of compensatie van natuurwaarden mogelijk is. In het geval van de Westerschelde is de verwachting dat maatregelen ter verbetering van die toegankelijkheid de natuurlijkheid schade toebrengen, zowel de fysische als de ecologische natuurlijkheid. De natuurlijkheid dwingt beleidsmakers dus kritisch te kijken naar de maatregelen ter verbetering van de toegankelijkheid, om eventuele schade aan de natuurlijkheid te voorkomen of te compenseren.

Op Europees en landelijk niveau zijn er richtlijnen voor de instandhouding van de natuurwaarden, ofwel instandhouding van de ecologische natuurlijkheid. De Habitatrichtlijn, de Vogelrichtlijn en de Kader Richtlijn Water op Europees niveau en uitwerkingen op nationaal niveau zoals de instandhoudingdoelen zijn hier voorbeelden van. Deze richtlijnen en instandhoudingdoelen zijn leidend en beslissen in het geval van de Westerschelde in hoeverre de ecologische natuurlijkheid aangetast mag worden door

maatregelen ter bevordering van de toegankelijkheid. Op dit moment zijn de instandhoudingdoelen voor de Westerschelde nog niet gereed. De concrete doelstellingen zullen pas eind 2008 klaar zijn. Het probleem met compensatiemaatregelen is dat de Westerschelde met het meergeulenstelsel een uniek systeem is. Volledige compensatie van het fysische systeem samen met de daarop voorkomende levensvormen is in het geval van de Westerschelde niet mogelijk. Met name de fysische natuurlijkheid, ofwel het meergeulenstelsel, is uniek en kan niet gecompenseerd worden.

Kortom, door maatregelen ter verbetering van de toegankelijkheid, conflicteren de toegankelijkheid en de natuurlijkheid. De natuurlijkheid is daarbij beschermd door richtlijnen. De natuurlijkheid werkt dus limiterend bij het verbeteren van de toegankelijkheid. Daarom wordt bij het nemen van maatregelen ter verbetering van de toegankelijkheid de grens opgezocht tot welke hoogte men in kan grijpen in het systeem, waarbij men de schade aan de natuurlijkheid beperkt houdt. In deze kwestie spelen twee moeilijkheden:

1. Van het meergeulenstelsel is niet precies bekend hoe het fysisch in elkaar steekt. Men weet dat de systeemattributen elkaar beïnvloeden via fysische processen, maar men weet niet precies hoe dit werkt. Men weet niet precies hoe de fysische processen de ontwikkelingen in het systeem sturen en hoe deze fysische processen reageren op aanpassingen van het systeem, zoals verruiming van de vaargeul. Daardoor weet men tot op bepaalde hoogte hoe aanpassingen in het systeem het meergeulenstelsel beïnvloeden. Een volledige voorspelling kan men niet maken.
2. Vanuit het beleid is er geen uitspraak gedaan welke verschijningsvorm van het meergeulenstelsel gewenst is. Dit levert moeilijkheden op bij het bepalen of aanpassingen in het systeem het meergeulenstelsel schaden of niet.

Ad 1.

Op iedere schaal vinden niet-lineaire interacties plaats tussen waterbeweging, sedimenttransport en morfologie. Op macro- en meso-schaal weet men al beter hoe deze fysische processen werken. Op de macro-schaal heeft men hier grenzen verbonden aan aanpassingen in het systeem, opdat de eb- en vloedgeulen in stand worden gehouden. Op de meso-schaal, voor kortsluitgeulen is men nog niet zo ver in het onderzoek. Grenzen aan de kortsluitgeulen zijn wel gewenst in de discussie over toegankelijkheid en natuurlijkheid. Het meergeulenstelsel is echter complex en door de morfologische dynamiek onvoorspelbaar. Het is maar de vraag of het mogelijk is om het systeem geheel in fysische processen te kunnen beschrijven. Wat men echter wil voorkomen is dat onomkeerbare processen in werking gezet worden gezet die de natuurlijkheid ernstig schaden.

Ad 2.

Het meergeulenstelsel kent meerdere verschijningsvormen [deelconclusie 3.3]. Vanuit het beleid is er geen uitspraak gedaan over welk systeem gewenst is [deelconclusie 3.4]. Dit betreft met name de mate van morfologische dynamiek. Aangezien men niet weet welk systeem gewenst is, kan men ook niet vaststellen tot welke hoogte men in kan grijpen zonder dat men schade toebrengt aan het systeem.

6.5 Deelconclusies

Deelconclusie 6.1: Veiligheid heeft belang bij aspecten van het meergeulenstelsel waar toegankelijkheid geen belang bij heeft en vice versa. Dit verschil bestaat voornamelijk uit het gewenste voorkomen van bepaalde systeemattributen. Bij ingrepen in het systeem gaat de ene functie daardoor ten koste van de andere. Beleidsuitgangspunt in het geval van een conflict is dat de veiligheid de voorkeur krijgt boven de toegankelijkheid.

De veiligheid heeft belang bij de relatief ondiepere delen van het systeem aangezien ze zorgen voor een demping van de hoogwaterstanden. De veiligheid heeft geen belang bij de relatief diepere delen van het systeem, aangezien ze zorgen voor een goede voortplanting van het getij in het estuarium. Voor de toegankelijkheid is het juist andersom. De toegankelijkheid heeft belang bij de diepere delen van het systeem, omdat ze plek verschaffen aan de scheepvaart. De ondiepere delen werken juist limiterend voor de scheepvaart.

De verwachting is dat maatregelen die uit worden gevoerd om de toegankelijkheid te verbeteren ten koste gaan van de veiligheid. De periode waarin metingen uit zijn gevoerd na de laatste grootschalige verruiming in 1997-1998 is nog te kort om deze verwachting te bevestigen of te verwerpen.

Deelconclusie 6.2: Veiligheid en natuurlijkheid hebben hoofdzakelijk overeenkomstige belangen bij aspecten van het meergeulenstelsel.

Zowel de veiligheid als de ecologische natuurlijkheid hebben belang bij de intergetijdengebieden en de ondiepere delen van het systeem. Deze delen van het systeem dragen namelijk bij aan een demping van de hoogwaterstanden en bevatten ecologisch interessante ecotopen. De fysische natuurlijkheid heeft belang bij zoveel mogelijk morfologische dynamiek. Veiligheid kan ook belang hebben bij deze vorm van dynamiek. Morfologische dynamiek leidt tot karakteristieken als bochtwerking, ondieptes en intergetijdengebieden die zorgen voor een natuurlijke hydraulische weerstand en daarmee een demping van de hoogwaterstanden. Echter, een te hoge morfologische dynamiek kan een risico vormen voor de veiligheid door oeveraanval van uitmeanderende geulen. In het huidige systeem is dit risico echter sterk gereduceerd doordat het systeem, en daarmee de morfologische dynamiek, op de mega- en macro-schaal gefixeerd is.

Ten aanzien van maatregelen om de veiligheid of natuurlijkheid te bevorderen kunnen de functies conflicteren. Dijkverzwaring kan ten koste gaan van de ruimte voor natuurlijkheid. En een maatregel als ontpoldering brengt hoge kosten met zich mee om de veiligheid te kunnen waarborgen. De aanleg van gecontroleerde overstromingsgebieden kan voordelen opleveren voor zowel de veiligheid als de ecologische natuurlijkheid.

Deelconclusie 6.3: Er is sprake van een conflict tussen toegankelijkheid en natuurlijkheid. Vanuit het beleid is er geen duidelijke uitspraak gedaan welke functie de voorkeur krijgt boven de ander.

De intergetijdengebieden zijn de ecologisch interessante gebieden van het meergeulenstelsel. De toegankelijkheid ondervindt juist hinder van deze systeemattributen;

ze vormen een obstakel voor de scheepvaart, ze zijn de oorzaak van het optreden van zijstromingen en wanneer ze grote oppervlaktes innemen, zijn de geulen ondieper door een natuurlijk plaat-geul reliëf. Voor de toegankelijkheid zijn de geulen, en met name de diepe ebgeulen van belang. Deze delen van het systeem zijn ecologisch oninteressant. De fysische natuurlijkheid heeft baat bij een hoge morfologische dynamiek; veel bewegingsvrijheid en ongestoordheid van processen. De morfologische dynamiek is echter ongunstig voor de toegankelijkheid, omdat deze vorm van dynamiek leidt tot een veranderend systeem en de scheepvaart heeft juist baat bij een vastgelegde en betrouwbare vaargeul. De toegankelijkheid heeft belang bij aspecten van het meergeulenstelsel waar de natuurlijkheid geen belang bij heeft en vice versa. Dit verschil betreft zowel het voorkomen van systeemattributen als de mate van morfologische dynamiek.

De verwachting is dat deze tegenstelling in belangen die worden afgeleid van het meergeulenstelsel voor de functies sterker wordt door maatregelen ten behoeve van de toegankelijkheid. Men verwacht dat maatregelen die uit worden gevoerd om de toegankelijkheid te verbeteren ten koste gaan van de natuurlijkheid. Met een verruiming van de geulen zal de vaargeul worden verdiept en verbreed. Dit gaat ten koste van de intergetijdengebieden, het ondiepwatergebied en de kortsluitgeulen. Hiermee wordt de ecologische natuurlijkheid aangetast. Een verdere fixatie van de vaargeul en storten van baggerspecie in de kortsluitgeulen zal ten koste gaan van de fysische natuurlijkheid.

Een volledige compensatie van de natuurlijkheid is niet mogelijk. De natuurlijkheid dwingt daardoor beleidsmakers kritisch te kijken naar maatregelen ter verbetering van de toegankelijkheid. Bij het nemen van maatregelen ter verbetering van de toegankelijkheid wordt dan ook de grens opgezocht tot welke hoogte men in kan grijpen in het systeem, waarbij men de schade aan de natuurlijkheid beperkt houdt. In deze kwestie spelen twee moeilijkheden:

1. Men weet niet in hoeverre aanpassingen in het systeem doorwerken in het meergeulenstelsel, en het meergeulenstelsel schade toebrengen. De oorzaak is een gebrek van fysische proceskennis. Het meergeulenstelsel is erg complex.
2. Vanuit het beleid is er geen uitspraak gedaan welke verschijningsvorm van het meergeulenstelsel gewenst is. Dit levert moeilijkheden op bij het bepalen of aanpassingen in het systeem het meergeulenstelsel schaden of niet.

Deelconclusie 6.4: Een gebrek aan kennis en onduidelijkheid over het gewenste meergeulenstelsel levert problemen op bij het uitvoeren van beleid.

Nederland en Vlaanderen zijn middels de Langetermijnvisie een gewenste Westerschelde overeengekomen met een meergeulenstelsel. Vanuit het beleid is niet duidelijk geformuleerd welke karakteristieken van het meergeulenstelsel men wil behouden. Hiervoor moet een besluit worden genomen tot welke hoogte de natuurlijkheid behouden moet blijven. Het is vervolgens de taak van de wetenschap om te onderzoeken of het mogelijk is instandhoudinggrenzen te definiëren voor dit gewenste meergeulenstelsel. Met instandhoudinggrenzen kunnen vervolgens grenzen worden gesteld aan ingrepen in het systeem. Het is echter niet duidelijk hoe het meergeulenstelsel fysisch in elkaar steekt. De fysische proceskennis over het meergeulenstelsel is niet toereikend. Ook ontbreekt de kennis over de relatie tussen morfologische dynamiek en de ecologie. Door het ontbreken van deze kennis is het momenteel niet mogelijk eenduidig te bepalen of het gewenste meergeulenstelsel behouden kan blijven.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Het antwoord op de vraag wat het belang is van het meergeulenstelsel voor de functies is dat het meergeulenstelsel in beperkte mate de veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid ondersteunt. Ondanks dat van het huidige meergeulenstelsel aspecten aan zijn te wijzen die van belang zijn voor het waarborgen van de functies, is de instandhouding van het meergeulenstelsel op zichzelf niet voldoende. Om de functies te kunnen waarborgen zijn aanvullende maatregelen nodig.

De oorzaak om aanvullende maatregelen te nemen is de toegenomen gebruiksintensiteit van het estuarium gedurende de laatste decennia. Deze toename van gebruiksintensiteit kende twee componenten. Ten eerste was er een toename van werken en wonen in de Delta. Dit vroeg om maatregelen om de gewenste veiligheid te garanderen. Voor het handhaven van de vereiste norm voor de veiligheid, een overstromingskans van 1/4.000 jaar, zijn aanvullende maatregelen genomen als bedijking, geulwandverdediging en de aanleg van gecontroleerde overstromingsgebieden. Ten tweede was er een toename van het aantal en de afmetingen van schepen. Dit leidde tot nieuwe eisen die werden gesteld aan de hoofdvaaargeul, met name ten aanzien van de maximaal mogelijke diepgang. Sinds het begin van de vorige eeuw vinden daarom baggerwerkzaamheden plaats in het systeem om de vereiste toegankelijkheid te garanderen. Het huidige systeem biedt de scheepvaart een getij-onafhankelijke vaart tot Antwerpen van 11,60 meter diepgang en een maximale diepgang van 14,60 meter bij een opvaart in één getij.

De maatregelen ten behoeve van de veiligheid en de toegankelijkheid leggen een druk op de vereniging van de drie functies in de Westerschelde. De oorzaak hiervan is dat ieder van de functies belang heeft bij bepaalde aspecten van het meergeulenstelsel. Echter, de aspecten waar de verschillende functies belang bij hebben komen niet altijd overeen of zijn zelfs tegengesteld. Deze aspecten zijn het voorkomen van systeemattributen (geulen, intergetijdengebieden etc.) en de mate van morfologische dynamiek. Ingrepen in het systeem ten behoeve van een functie kunnen een andere functie schaden doordat het een aspect van het systeem schade toebrengt dat waardevol is voor die andere functie. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer de functie toegankelijkheid belang heeft bij verruimde geulen, maar het verruimen van de geulen ten koste gaat van de intergetijdengebieden. De veiligheid en natuurlijkheid hebben juist belang bij die intergetijdengebieden. Een vermindering van dit aspect van het systeem betekent dan ook een achteruitgang van de mate waarin deze functies ondersteund worden door het meergeulenstelsel. Door ingrepen in het systeem ten behoeve van een functie kunnen de functies onderling in conflict komen. Dit vormt een bedreiging voor het basisuitgangspunt van de Langetermijnvisie dat de Westerschelde én veilig én toegankelijk én natuurlijk moet zijn. In aanvulling op de vraag welk belang de functies *afzonderlijk* van het meergeulenstelsel afleiden, is een relevante additionele vraag of het mogelijk is te komen tot een *combinatie* van de functies in één systeem, zonder dat een functie geschaad wordt door een ingreep die uit is gevoerd ten behoeve van een andere functie.

Het voornaamste conflict tussen twee functies en daarmee een belangrijk punt van (politieke) discussie is de vereniging van zowel de functie toegankelijkheid als de functie natuurlijkheid in één systeem. Het discussiepunt, en daarmee het pijnpunt in de beleidsvorming, is de mogelijke schade die maatregelen ten behoeve van de toegankelijkheid toebrengen aan de natuurlijkheid, en daarmee aan het meergeulenstelsel. Deze schade betreft schade aan de natuurlijke fysische processen, dat wil zeggen de hydraulische en morfologische processen die het meergeulenstelsel vormen. Schade aan de natuurlijke fysische processen impliceert schade aan de ecologische processen omdat de natuurlijke fysische processen leiden tot een toestand van het systeem met verschillende ecologisch interessante ecotopen. Deze ecotopen bieden de potentie voor ecologische processen; het voorkomen van levensvormen in het systeem.

Over de schade die maatregelen ten behoeve van toegankelijkheid toebrengen aan de natuurlijkheid bestaat discussie die wordt veroorzaakt door onduidelijkheid. Deze onduidelijkheid kent een technische kant en een beleidskant. Aan de technische kant bestaat er onduidelijkheid over in hoeverre ingrepen in het systeem de natuurlijkheid schaden. De oorzaak van deze onduidelijkheid is dat de huidige fysische proceskennis van het systeem niet toereikend is. Het is slechts tot bepaalde hoogte bekend hoe de systeemattributen elkaar beïnvloeden via de fysische processen. Een tweede oorzaak is dat het systeem langzaam reageert op ingrepen in het systeem, waardoor niet duidelijk is wat de gevolgen zijn van ingrepen in het systeem. Nader onderzoek kan kennis opleveren over de invloed van menselijke ingrepen, zoals baggeren en storten, op de fysische processen en morfologische dynamiek in het systeem. Een kennisleemte die hieraan verwant is, is de relatie tussen de morfologische dynamiek en de ecologie. Het is niet duidelijk welke mate van morfologische dynamiek positief of zelfs cruciaal is voor de ecologie. Deze kwestie is met name relevant met betrekking tot de kortsluitgeulen en de platen die als de meest dynamische elementen binnen het systeem worden beschouwd.

Van de beleidskant bestaat er onduidelijkheid over de gewenste verschijningsvorm van het meergeulenstelsel. Uit het beleid komt niet eenduidig naar voren welke karakteristieken van het meergeulenstelsel men wil behouden en wat de gewenste mate is van morfologische dynamiek. De opzet van de Langetermijnvisie was in hoofdlijnen een beeld van het estuarium voor het jaar 2030 te schetsen dat door Nederland en België samen gerealiseerd zou worden. Het doel was om op die manier verdere politieke discussie te voorkomen. Naar nu blijkt bestaat er discussie over de invulling van dit beeld dat op hoofdlijnen geschetst is. In het geval van de Westerschelde betekent dit dat niet duidelijk is wat onder het meergeulenstelsel wordt verstaan.

Voor heldere besluitvorming aangaande de instandhouding van het meergeulenstelsel en de relatie met de functies dient verder onderzoek uitgevoerd te worden naar de technische aspecten en is een helder besluit nodig over het gewenste meergeulenstelsel. Beleidsmakers dienen zich uit te spreken over het meergeulenstelsel dat behouden moet blijven. Hiervoor moet een besluit worden genomen tot welke hoogte de natuurlijkheid behouden moet blijven. Zo is in een eerder stadium besloten dat de hoofdstructuur van eb- en vloedgeulen behouden moet blijven bestaan. Nu moet bijvoorbeeld besloten worden of men de kortsluitgeulen wil behouden, hoeveel en of ze dynamisch dienen te zijn of niet. Het is vervolgens de taak van de wetenschap om te onderzoeken of het mogelijk is instandhoudinggrenzen te definiëren voor dit gewenste meergeulenstelsel. Met

instandhoudinggrenzen kunnen vervolgens grenzen worden gesteld aan ingrepen van de mens in het systeem zoals baggeren en storten.

Een conclusie van nader onderzoek naar de technische aspecten van het meergeulenstelsel kan zijn dat het mogelijk is verder in te grijpen in het systeem met behoud van het gewenste meergeulenstelsel en de daarop voorkomende levensvormen. Het is echter ook denkbaar dat verdere ingrepen in het systeem niet mogelijk zijn zonder het meergeulenstelsel te schaden. Het tweede scenario impliceert de onverenigbaarheid van politieke doelen, bijvoorbeeld van een verdere verruiming van de vaargeul én behoud van de natuurlijkheid. Hier zal dan een keuze moeten worden gemaakt aan welke functie de politiek de voorkeur geeft. Op deze manier is helder beleid geformuleerd voor de groei van toegankelijkheid in het estuarium aan de hand van de gevolgen van ingrepen voor de natuurlijkheid. Er is dan een duidelijke keuze gemaakt voor een *combinatie* van de functies veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid in de Westerschelde, met als randvoorwaarde behoud van het meergeulenstelsel.

7.2 Aanbevelingen

De volgende aanbevelingen worden gedaan:

Dit onderzoek laat zien dat vanuit het beleid geen duidelijke uitspraak is gedaan over welke verschijningsvorm van het meergeulenstelsel gewenst is. Waar bijvoorbeeld geen duidelijke uitspraak over bestaat is de aanwezigheid van kortsluitgeulen. Vanuit het beleid moet besloten te worden of men de huidige kortsluitgeulen wil behouden of zelfs extra kortsluitgeul-activiteit in het systeem wil brengen en welke vorm van de kortsluitgeulen men wil behouden; statisch of morfologisch dynamische kortsluitgeulen. Over de volgende beleidskwestie dient een duidelijke uitspraak te komen: *‘Welk meergeulenstelsel wil men behouden voor de toekomst? Welke karakteristieken wil men behouden en wat is de gewenste mate van morfologische dynamiek?’*

Het onderzoek van Swinkels [2006] biedt kennis over de aanwezigheid van kortsluitgeulen in het systeem in relatie tot de afmetingen van de eb- en vloedgeulen. Het onderzoek doet echter geen uitspraken over hoe groot die afmetingen moeten zijn om de aanwezigheid van kortsluitgeulen te garanderen. Grenzen aan de afmetingen van de eb- en vloedgeulen voor de aanwezigheid van kortsluitgeulen biedt de beheerder van het meergeulenstelsel grenzen aan menselijke ingrepen in het systeem. Hetzelfde principe is van toepassing op de stabiliteit van eb- en vloedgeulen naar aanleiding van analyses met behulp van het Cellenconcept. Aanbevolen wordt om nader onderzoek uit te voeren naar de grenzen aan afmetingen van de eb- en vloedgeulen voor de aanwezigheid van kortsluitgeulen. De volgende vraag dient beantwoord te worden: *‘Wat zijn de fysische grenzen voor de aanwezigheid van kortsluitgeulen in het systeem?’*

Het onderzoek van Swinkels [2006] biedt kennis over de aanwezigheid van kortsluitgeulen in het systeem. Dit onderzoek doet geen uitspraken over de aanwezigheid van morfologische dynamiek van de kortsluitgeulen. Aanbevolen wordt om nader onderzoek uit te voeren naar statisch dan wel dynamisch gedrag van de kortsluitgeulen. De volgende vraag dient beantwoord te worden: *‘Wat zijn de voorwaarden voor statisch dan wel dynamisch gedrag voor kortsluitgeulen?’*

Er bestaat onduidelijkheid over het belang van morfologische dynamiek voor de ecologische natuurlijkheid. Algemeen wordt verondersteld dat het meergeulenstelsel waardevoller is naarmate het systeem morfologisch dynamischer is. Met een hoge mate van morfologische dynamiek bestaat de kans dat de lokale hydrodynamiek (stroomsnelheden ter plaatse) toeneemt. Dit zou negatief zijn voor de ecologische natuurlijkheid. Vaak wordt verondersteld dat de regeneratie van plaatgebieden door het migreren van kortsluitgeulen positief is voor de ecologie. Echter, door regeneraties die te snel elkaar opvolgen krijgen bodemgemeenschappen niet de kans om zich te ontwikkelen. De ecologie zou juist baat hebben bij een stabiel systeem, of althans een systeem dat niet te snel ververst. Aanbevolen wordt om nader onderzoek uit te voeren naar de relatie tussen morfologische dynamiek en de ecologische natuurlijkheid. De volgende vraag dient beantwoord te worden: *‘Wat is de relatie tussen morfologische dynamiek en ecologische natuurlijkheid?’* Toegespitst op de morfologische dynamiek van kortsluitgeulen dient de volgende vraag beantwoord te worden: *‘Wat is de relatie tussen de regeneratie van de plaatgebieden veroorzaakt door de kortsluitgeulen en ecologische natuurlijkheid?’*

In dit onderzoek wordt de relatie tussen het meergeulenstelsel en de ecologische natuurlijkheid gelegd via de ecotopenbenadering. Dit laat wel enkele vragen onbeantwoord. Dit zijn de volgende: *‘Wat is de invloed van het meergeulenstelsel (met name de morfologische dynamiek) op de waterkwaliteit/bodemkwaliteit?’* *‘In hoeverre veroorzaakt de scheepvaart, en een toename in intensiteit van de scheepvaart bij een verdere verruiming, verstoring voor de aanwezige ecologie?’*

8 Discussie

8.1 Inleiding

Estuaria zijn van nature niet statisch. Zij staan onder voortdurende invloed van het getij dat zout water en (soms) sediment meeneemt, en van landzijde worden zij gevoed door zoet water en sedimenten. Meestal vertonen zij een verlandingstendens, dat wil zeggen dat het kombergend volume en de doorsnede van de geulen in de loop der tijd fors afnemen [Winterwerp et al., 2000a]. De opvulling van het estuarium vindt plaats door de netto import van sediment, aangevoerd door land, zee of beiden. De natuurlijke opvulling van een estuarium voltrekt zich op een tijdschaal in de orde van 1.000 jaar [Allersma 1994].

Een natuurlijk proces als zeespiegelstijging kan er voor zorgen dat de zeespiegel meegroeit met de verlandingstendens en het estuarium min of meer zijn karakteristieken behoudt. Dit zou leiden tot een natuurlijk dynamisch evenwicht waarbij de sedimentbeschikbaarheid en sedimentvraag met elkaar in evenwicht zijn. Bij een relatief snelle zeespiegelstijging in vergelijking tot de verlandingstendens zou het estuarium ‘verdrinken’. Dat wil zeggen dat de intergetijdengebieden niet meer droogvallen. Afhankelijk van menselijk ingrijpen (baggeren, storten, zandwinning, ontpolderingen en inpolderingen) kan invloed uit worden geoefend op deze processen. In het geval van de Westerschelde probeert men het huidige karakter van het estuarium, in de vorm van het meergeulenstelsel, te behouden. Men tracht dus het huidige dynamische evenwicht te behouden. In dit hoofdstuk wordt bediscussieerd over wat een eventuele verlandingstendens voor gevolgen zou kunnen hebben voor de beleidsdoelstellingen. Daarvoor wordt de extreme toestand beschouwd waarbij het estuarium zich opvult en evolueert naar een ééngenulstelsel.

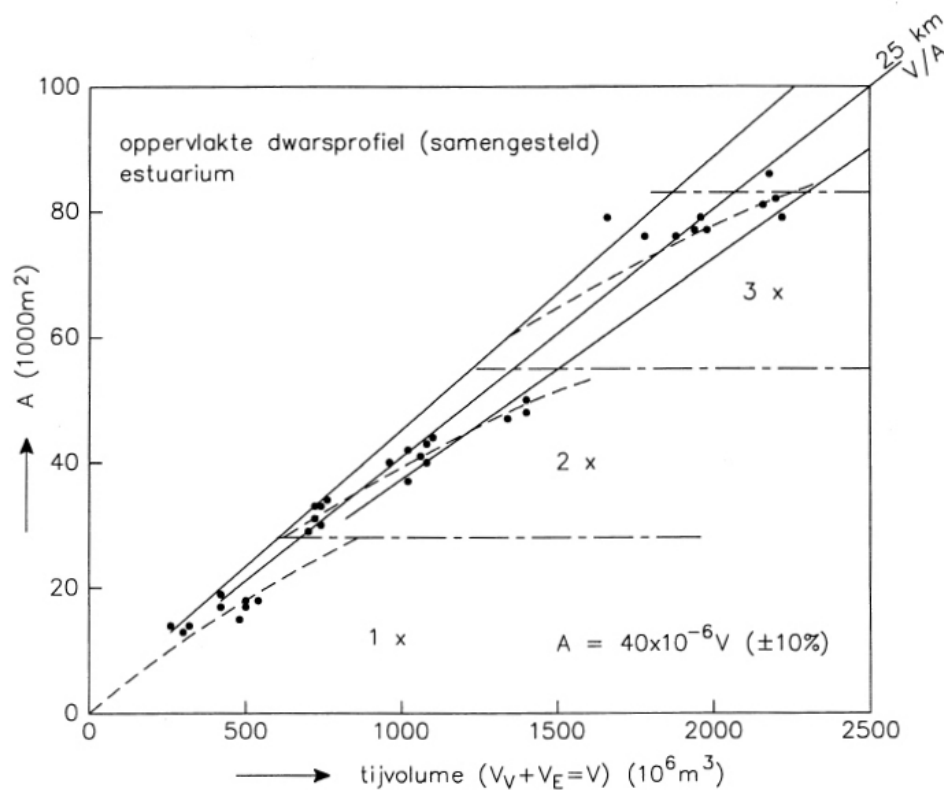
8.2 Het ééngenulstelsel

De Westerschelde was halverwege de 17^e eeuw een relatief ondiep systeem met veel polders en uitgebreide intergetijdengebieden. Door de aanvoer van grote hoeveelheden sediment zijn grote gebieden verzand, die vervolgens werden bedijkt. De import van sediment zou ook hebben geleid tot het ontstaan van de plaatgebieden tussen de geulen. De asymmetrie van het getij, die vroeger vloeddominant was, zou sterk aan deze import van sediment bij hebben gedragen [Van den Berg et al., 1996; Van der Spek, 1997], hoewel deze theorie niet onomstreden is. Wanneer deze trend van import van sediment zich zou voortzetten, dan zou het systeem zich steeds verder opvullen met aangevoerd sediment. In dit geval zou de Westerschelde uiteindelijk evolueren tot een ééngenulstelsel.

In het morfologisch onderzoek in het kader van de Langetermijnvisie [Winterwerp et al., 2000a] is aan de hand van stabiliteitsanalyses van individuele morfologische cellen met behulp van het Cellenconcept geconcludeerd, dat de natuurlijke opvulling van het estuarium mogelijk bespoedigd kan worden door menselijke ingrepen, namelijk het storten van baggerspecie in de nevengeulen [paragraaf 3.5]. Het overschrijden van het stortcriterium, dat een grens stelt aan het storten in een geul, zou het lokale evenwicht van zandtransporten

in een morfologische cel verstoren. Door het preferentieel uitdiepen van een geul en het storten in de andere, zou het natuurlijk evenwicht van water- en zandtransporten verstoord worden. Door deze verstoring zou er geen sprake meer zijn van twee watervoerende geulen, omdat één geul een groot deel van zijn watervoerende functie zou verliezen. Hiermee zou de morfologische cel de dynamiek van de ebgeul en de vloedgeul met daaraan gerelateerde watervoering en sedimenttransport verliezen. In de morfologische cel zou in de dwarsdoorsnede nog slechts één geul watervoerend zijn. Omdat onbekend is hoe de verschillende morfologische cellen met elkaar interacteren, kan niet voorspeld worden of het effect van het verliezen van de eb- en vloedgeuldynamiek in één cel door zou werken in andere cellen. Bij een zogenaamd domino-effect zou het estuarium zijn meergeulensysteem verliezen en versneld evolueren naar een ééngesysteem. Met het verliezen van de morfologische dynamiek op het niveau van de eb- en vloedgeulen zou ook de morfologische dynamiek op het niveau van de kortsluitgeulen verloren gaan. Hiermee zou voor het estuarium de morfologische dynamiek op nagenoeg alle schalen verloren gaan. Mogelijk zouden daarmee de gevolgen voor de ecologie niet te overzien zijn, hoewel hier discussie over bestaat.

In hetzelfde onderzoek naar instandhouding van het meergeulensysteem door Winterwerp et al. [2000a] zijn de afmetingen van het systeem afgeschat in geval het estuarium zou evolueren naar een ééngesysteem [Wang; Appendix C van Winterwerp et al., 2000b]. Voor deze afchatting is gebruik gemaakt van de empirische relatie tussen de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van het estuarium en het getijvolume opgesteld door Allersma [1992]. Deze relatie is weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 27: Relatie tussen getijvolume en oppervlakte van het dwarsprofiel van het estuarium [Allersma, 1992]

Deze figuur laat zien dat de maximale dwarsdoorsnede van de geul in het ééngenulstelsel 25.000 à 30.000 m² zou bedragen. Bij een groter dwarsoppervlak is er sprake van een meergeulenstelsel. Dit is beschreven in paragraaf 3.2. Met behulp van deze maximale doorsnede is bepaald wat de fysische kenmerken zouden zijn, in het geval de Westerschelde gekenmerkt zou worden door een ééngenulstelsel:

- Het totale volume van een ééngenulstelsel zal afnemen tot circa 750 à 950 · 10⁶ m³ ten opzichte van NAP in relatie tot een huidig volume van circa 2.500 · 10⁶ m³, i.e. een afname van 40%.
- De gulddiepte zal variëren van circa 10 meter in het mondingsgebied tot circa 5 meter bij de Belgisch-Nederlandse grens.
- Uitgaande van een netto zandimport van 1 · 10⁶ m³ per jaar impliceert dit een tijdschaal van circa 1.000 jaar voor het verlandingsproces, om te evolueren naar een stabiel ééngenulstelsel.

Veiligheid

In een meergeulenstelsel zijn in de dwarsdoorsnede naast de geulen ook platen en slikken aanwezig. Deze intergetijdengebieden zijn verantwoordelijk voor een groot deel van de waterberging bij het stijgende water. Deze waterberging is van belang voor het dempen van de voortplanting van de getijgolf en daarmee het dempen van hoogwaters. Een ééngenulstelsel kent geen platen. Daarnaast zal een groot gedeelte van de slikken opgroeien en evolueren tot schor. Dit betekent een afname van de waterberging met als gevolg een mindere demping van de hoogwaterstanden in vergelijking met het meergeulenstelsel.

Wanneer het oppervlak slikken van een ééngenulstelsel gelijk is aan het oppervlak intergetijdengebieden van een meergeulenstelsel, dan zal een meergeulenstelsel waarschijnlijk alsnog zorgen voor meer demping van de hoogwaterstanden. Een meergeulenstelsel kent namelijk een natuurlijke demping door de bochtwerking, de platen tussen de geulen en de ondieptes aan het einde van de geulen. In vergelijking met een meergeulenstelsel zal de veiligheid minder gewaarborgd zijn in een ééngenulstelsel.

Toegankelijkheid

De natuurlijke diepte van een ééngenulstelsel zal minder zijn in vergelijking met het meergeulenstelsel. De diepte in een ééngenulstelsel zal variëren van circa 10 meter in het mondingsgebied tot circa 5 meter bij de Belgisch-Nederlandse grens. De huidige vereiste diepte van de vaargeul is 11,60 meter getij-onafhankelijke vaart tot aan Antwerpen en een maximale diepgang van schepen van 14,60 meter. Om de huidige vereiste diepgang te handhaven zal daarom meer gebaggerd moeten worden in het ééngenulstelsel in vergelijking met het meergeulenstelsel. In vergelijking met een meergeulenstelsel zal de toegankelijkheid dus minder gewaarborgd zijn in een ééngenulstelsel.

Natuurlijkheid

Met een ééngenulstelsel gaat de dynamiek op de macro-schaal, de dynamiek van eb- en vloedgeulen, verloren. Met het verliezen van de morfologische dynamiek op deze schaal gaat ook de morfologische dynamiek op de meso-schaal verloren, de dynamiek van de kortsluitgeulen en de platen. In principe gaat daarmee de morfologische dynamiek van het hele systeem verloren. Morfologisch gezien zal het ééngenulstelsel een veel armer systeem zijn in vergelijking met het meergeulenstelsel.

Vanuit ecologisch oogpunt gaan de platen verloren in een ééngenueelsysteem en daarmee de ecotopen die de platen herbergen. Deze ecotopen zijn op hoofdlijnen hetzelfde als van slikken, maar de verwachting is dat de slikken ook deels verloren gaan. Omdat delen van de slikken in een ééngenueelsysteem niet meer onder invloed van het getij staan en daardoor watervoerend zijn, zullen de slikken vergroeien en evolueren tot schorren. Hierdoor verliezen zij hun ecologische waarde. Dit zou een achteruitgang betekenen van de ecologische natuurlijkheid.

Discussie

Er is bediscussieerd wat de mogelijke gevolgen zouden zijn voor de drie functies die geformuleerd zijn in de Langetermijnvisie, wanneer het estuarium evolueert naar een ééngenueelsysteem. Deze discussie is gebaseerd op een referentie; Wang; Appendix C van Winterwerp et al., 2000b. Op basis van deze berekeningen is bekeken wat de gevolgen zouden zijn voor de beleidsdoelstellingen. Deze korte analyses laten zien dat in vergelijking met het huidige meergeulenstelsel, een ééngenueelsysteem minder veilig, minder toegankelijkheid en minder natuurlijk zou zijn. Om veiligheid en toegankelijkheid te kunnen waarborgen zou er nog meer in de Westerschelde moeten worden ingegrepen dan nu. De fysische kant van natuurlijkheid zou verdwijnen en de ecologische kant wellicht ook. Op basis van deze analyses zou het ééngenueelsysteem geen beter alternatief zijn voor een meergeulenstelsel.

Daarnaast is voor de opvulling van het estuarium tot een ééngenueelsysteem de benodigde hoeveelheid zand geschat op $1.000 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Dit is ontzettend veel zand. Op dit moment is er discussie of het systeem zandimporterend of -exporterend is, maar het is in elk geval niet overduidelijk importerend. Het estuarium vertoont geen duidelijke verlandingstendens en het huidige dynamisch evenwicht kan waarschijnlijk in stand worden gehouden, al dan niet met behulp van menselijke ingrepen. Voor de volledige evolutie naar een ééngenueelsysteem zou deze hoeveelheid zand door de mens aangevoerd moeten worden. Dit brengt heel veel kosten met zich mee. Om deze reden zou dit alternatief vanuit economisch oogpunt ook niet rendabel zijn. Het is dan ook niet reëel om de het ééngenueelsysteem als alternatief voor het meergeulenstelsel te onderzoeken.

Literatuur

- Allersma, E. [1992].** Studie inrichting Oostelijk deel Westerschelde, Analyse van het fysische systeem, Nota voor de Werkgroep OOSTWEST. Rapportnummer Z368, WL | Delft Hydraulics, Delft. In opdracht van Rijkswaterstaat, Directie Zeeland.
- Allersma, E. [1994].** Geulen in estuaria, 1-D modellering van evenwijdige geulen. Rapportnummer H1828, WL | Delft Hydraulics, Delft. In opdracht van Rijkswaterstaat, Directie Zeeland en Dienst Getijdewateren.
- Angermeier, P.L. [2000].** The natural imperative for biological conservation. *Conservation Biology*, 14, 373-381.
- Bouma, H., D.J. de Jong, F. Twisk & K. Wolfstein [2005].** Zoute wateren EcotopenStelsel (ZES.1). Rapport RIKZ/2005.024, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.
- Consortium Arcadis Technum [2004].** Het Strategisch milieueffectenrapport Ontwikkelingsschets 2010 Schelde-estuarium, Hoofdrapport. In opdracht van de Projectdirectie ontwikkelingsschets Schelde-estuarium (ProSes), Bergen op Zoom.
- Costanza, R. [1992].** Toward an operational definition of Ecosystem Health. In: Costanza R., B.G. Norton & B.D. Haskell (Eds.), *Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management*, pp 239. Island Press, Washington D.C. USA.
- De Deckere, E. & P. Meire [2000].** De ontwikkeling van een streefbeeld voor het Schelde-estuarium op basis van de ecosysteemfuncties, benaderd vanuit de functie natuurlijkheid. In opdracht van de Projectdirectie ontwikkelingsschets Schelde-estuarium (ProSes) in het kader van de Langetermijnvisie Schelde-estuarium, cluster natuurlijkheid.
- De Groot, R.S. [1992].** Functions of Nature: Evaluation of nature in environmental planning, management, and decision making. Wolters-Noordhoff, Groningen.
- De Groot, R.S., M.A. Wilson & R.M.J. Boumans [2002].** A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41, 393-408.
- De Vriend, H.J. [1999].** On the predictability of coastal morphology. In: *Proceedings 3rd Marine Science and Technology Conference*, Lisbon 23-27 May 1998, Luxembourg: Luxembourg Office for Official Publications of the European Communities.
- Dyer, K.R. [1997].** *Estuaries, A Physical Introduction* 2nd edition. John Wiley & Sons, Chichester, England.
- Ecolas, Haecon & HKV Lijn in Water [2005].** Beoordelingskader Schelde-estuarium. In opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Maritieme Toegang, Ref 03/07709/dl.
- Graveland, J., B. Dauwe & B. Kornman [2002].** Waardering voor de Westerschelde, Voorstel voor beoordelingscriteria gebaseerd op inventarisaties van de ecologische toestand, gebruik, beleid en beoordelingsmethoden. Rapport RIKZ/2002.053, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

- Heinis, F., M.E. de Boer & E. Claus, [2004a].** S-MER Schelde-estuarium Natuur, Deelrapport 1, beoordelingskader en afbakening. Rapport gemaakt door consortium Arcadis-Technum in opdracht van de Projectdirectie ontwikkelingsschets Schelde-estuarium (ProSes) in het kader van de S-MER.
- Heinis, F., M.E. de Boer & E. Claus, [2004b].** S-MER Schelde-estuarium Natuur, Deelrapport 1, huidige situatie. Rapport gemaakt door consortium Arcadis-Technum in opdracht van de Projectdirectie ontwikkelingsschets Schelde-estuarium (ProSes) in het kader van de S-MER.
- Hibma, A. [2004].** Morphodynamic modelling of estuarine channel-shoal systems. Proefschrift, Universiteit Delft.
- Hunter, M.L. jr. [1996].** Benchmarks for managing ecosystems: Are human activities natural? Conservation Biology, 10, 695-697.
- Jansen, S. & R. Wolters [1999].** Berekening van natuurlijkheidgraadmeters voor MER-Maasvlakte 2. Samenwerkingsverband Maasvlakte 2 Varianten, Rotterdam.
- Jansen, S. (red.), C. Vertegaal, F. Heinis & R. Goderie [1998].** Methode-ontwikkeling ter operationalisering van het begrip Natuurlijkheid. Samenwerkingsverband Maasvlakte 2 Varianten, Rotterdam.
- Jeuken, M.C.J.L. [2000].** On the morphologic behaviour of tidal channels in the Westerschelde estuary. Proefschrift, Universiteit Utrecht.
- Jeuken, M.C.J.L., Z.B. Wang, T. Van der Kaaij, M. Van Helvert, M. Van Ormondt, R. Bruinsma & I. Tanczos [2004].** Morfologische ontwikkelingen in het Schelde estuarium bij voortzetting van het huidige beleid en effecten van een verdere verdieping van de vaargeul en uitpolderingen langs de Westerschelde, Deelovereenkomst 2 en 3 Morfologie. Rapport gemaakt door consortium Arcadis-Technum in opdracht van de Projectdirectie ontwikkelingsschets Schelde-estuarium (ProSes) in het kader van de S-MER.
- Machado, A. [2003].** An index of naturalness. Journal for nature Conservation 12 [2004] 95-110.
- Mageau, M.T., R. Costanza & R.E. Ulanowicz [1995].** The development and initial testing of a quantitative assessment of ecosystem health. Ecosystem Health 1, 201-213.
- Nistal, R.S. [2004].** Verruiming van de vaarweg van de Schelde, Een maatschappelijke kosten-batenanalyse. Centraal Plan Bureau (CPB) & Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO). Centraal Plan Bureau, 's Gravenhage.
- Projectbureau Langetermijnvisie [2001].** Langetermijnvisie Schelde-estuarium. In opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Directie Zeeland & het Ministerie van Vlaamse Gemeenschap, departement Leefmilieu en Infrastructuur, administratie Waterwegen en Zeewezen. Delft.
- Projectdirectie Ontwikkelingsschets Schelde-estuarium (ProSes) [2005].** Ontwikkelingsschets 2010 Schelde-estuarium, Besluiten van de Nederlandse en Vlaamse regering. Bergen op Zoom.
- Rapport, D.J., R. Costanza, P.R. Epstein, C. Gaudet, and R. Levins (Eds.) [1998].** Ecosystem Health. Blackwell Science, Malden, MA. USA.

- Rapport, D.J., G. Böhm, D. Buckingham, J. Cairns Jr., R. Costanza, J.R. Karr, H.A.M. de Kruijf, R. Levins, A.J. McMichael, N.O. Nielsen & W.G. Whitford [1999].** Ecosystem Health: The Concept, the ISEH and the Important Tasks Ahead. Ecosystem Health, Vol. 5, No. 2.
- Ruijgrok, E.C.M. [1999].** Valuation of nature in coastal zones. Proefschrift, Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Serageldin, I. [1994].** Making development sustainable, Chapter 1. In: Serageldin, I., A. Steer (eds.). Making development sustainable; from concepts to action. The Third World Bank, Washington, USA, pp. 1-5.
- Stikvoort, E. (red.), C. Berrevoets, M. Kuijper, F. Lefèvre, G.A. Liek, M. Lievaart, D. van Maldegem, P. Meininger, B. Peters, A. Pouwer, H. Schippers & J. Wijsman [2003].** Monitoring van de effecten van de verruiming 48°/43°, MOVE Hypothesendocument 2003, Onderliggende rapportage bij MOVE Rapport 8 (deel A en B) Evaluatierapport 2003. MOVE Rapport 7. Rapport RIKZ/2003.009, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.
- Stive, M.J.F., Z.B. Wang, A.W. van der Weck, H.F.P. van den Boogaard & M.J. Baptist [1998].** Definitiestudie morfologische dynamiek Westerschelde. Rapportnummer Z2427, WL | Delft Hydraulics, Delft. In opdracht van Ministerie van Verkeer en Waterstaat & Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee.
- Swinkels, C.M. [2006].** Presence of connecting channels in the Western Scheldt estuary, Investigation of a morphological relationship between main and connecting channels. Afstudeerrapport University of Southampton, Faculty of Engineering, Science and Mathematics. School of Ocean & Earth Science and School of Civil & Environmental Engineering. In opdracht van WL | Delft Hydraulics, Rapportnummer Z4057, Delft.
- Van Amstel, A.R., G.F.W. Herengreen, C.S. Meyer, E.F. Schoorl-Groen & H.E. Van den Veen [1988].** Vijf visies op natuurbehoud en natuurontwikkeling, Knelpunten en perspectieven van deze visies in het licht van de huidige maatschappelijke ontwikkelingen. Publicatie Nr. 30, Raad voor Natuur- en Milieu Onderzoek (RNMO), Rijswijk.
- Van den Berg, J.H., M.C.J.L. Jeuken & A.J.F. Van der Spek [1996].** Hydraulic processes affecting the morphology and evolution of the Westerschelde estuary. In: Estuarine Shores: Evolution, Environments and Human Alterations, chapter 7, edited by K.F. Nordstrom & C.T. Roman. John Wiley & Sons, Chichester, England.
- Van den Bergh E., S. Van Damme, J. Graveland, D.J. de Jonge, I. Baten & P. Meire [2003].** Voorstel voor natuurontwikkelingsmaatregelen ten behoeve van de Ontwikkelingsschets 2010 voor het Schelde-estuarium. Werkdocument/RIKZ/OS/2003.825x. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.
- Van der Spek, A.J.F [1997].** Tidal asymmetry and long-term evolution of Holocene tidal basis in The Netherlands: simulation of paleo-tides in the Schelde estuary. Marine geology, pp. 71-90.
- Van Veen, J. [1950].** Eb-en vloed-schaar systeem in de Nederlandse Getijdenwateren. Tijdschrift Koninklijk Aardrijkskundige Genootschap, pp. 303-325.
- Wang, Z.B. & J.C. Winterwerp [2001].** Impact of dredging and dumping on the stability of ebb-flood channel systems. In: Proceedings of the 2nd IAHR Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics.

Winterwerp, J.C., M.C.J.L. Jeuken, M.A.G. Van Helvert, C. Kuijper, A.J.F. Van der Spek, M.J.F. Stive, P.M.C. Thoolen, Z.B. Wang [2000a]. Lange Termijnvisie Schelde-estuarium cluster morfologie, Deel 1: Hoofdrapport. Rapportnummer Z2878, WL | Delft Hydraulics, Delft.

Winterwerp, J.C., M.C.J.L. Jeuken, M.A.G. Van Helvert, C. Kuijper, A.J.F. Van der Spek, M.J.F. Stive, P.M.C. Thoolen & Z.B. Wang [2000b]. Lange Termijnvisie Schelde-estuarium cluster morfologie, Deel 2: Appendices. Rapportnummer Z2878, WL | Delft Hydraulics, Delft.

Winterwerp, J.C., Z.B. Wang, M.J.F. Stive, A.A. Arends, M.C.J.L. Jeuken, C. Kuijper & P.M.C. Thoolen [2001]. A new morphological schematization of the Western Scheldt Estuary, The Netherlands. In: Proceedings of the 2nd IAHR Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics.

Withagen, C.F.M. (red.), B.G.T.M. Peters, G.A. Liek, J.W.M. Wijsman, M.W.M. Kuijper & G.Th. Van Eck [2003]. Monitoring van de effecten van de verruiming 48°/43°, Een verruimde blik op waargenomen ontwikkelingen. MOVE Evaluatierapport 2003, MOVE Rapport 8. Rapport RIKZ/2003.027, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Internet:

<http://www.proses.nl>

<http://www.proses2010.nl>

<http://www.scheldenet.nl>

A Lijst van geïnterviewden en vragen

Voor dit onderzoek zijn de volgende personen geïnterviewd:

	Naam:	Verbonden aan:	Datum interview:
1.	Dhr. Ir. T. Pieters	Bureau Getijdewateren	17 oktober 2005
2.	Dhr. Drs. H. Verbeek	ProSes; Projectleider MER Vaarwegverruiming Westerschelde	27 oktober 2005
3.	Dhr. Drs. D.J. de Jong	Rijksinstituut voor Kust en Zee	27 oktober 2005
4.	Dhr. Prof. Dr. Ir. M.J.F. Stive	Technische Universiteit Delft, Sectie Waterbouwkunde	1 november 2005
5.	Dhr. Dr. P.M.J. Herman	Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW)	15 november 2005
6.	Dhr. Prof. Dr. Em. S. Wartel	Vrije Universiteit Brussel, Vakgroep Hydrologie en Waterbouwkunde	4 januari 2006

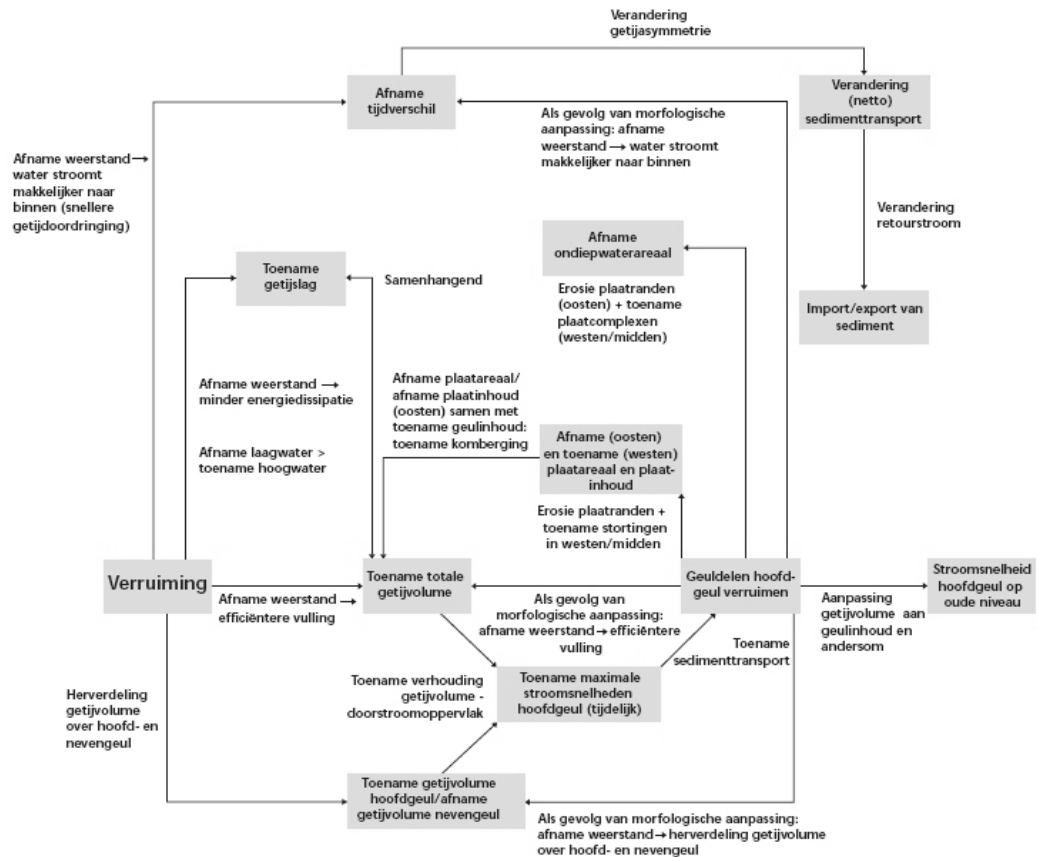
Tabel 1: Lijst van geïnterviewden

De volgende vragen zijn voorgelegd aan de geïnterviewden:

1. Wat verstaat u onder het meergeulenstelsel van de Westerschelde?
2. Waaruit bestaat het meergeulenstelsel?
3. Horen de volgende systeemattributen wel bij de beschrijving van het meergeulenstelsel of niet; ebgeulen, vloedgeulen, kortsluitgeulen, platen, slikken, ondiepwatergebied en schorren?
4. Wat is het belang van de verschillende systeemattributen voor het meergeulenstelsel?
5. Wat zijn belangrijke processen die ten grondslag liggen aan het meergeulenstelsel?
6. Waar liggen de grenzen van (instandhouding van) het meergeulenstelsel? M.a.w. wanneer is het systeem geen meergeulenstelsel meer? Zijn deze grenzen te definiëren en te kwantificeren?
7. Wanneer gaat het mis met het meergeulenstelsel?
8. Hoe dynamisch is het meergeulenstelsel? Over welke vorm van dynamiek spreken we dan?
9. Wat is de relatie tussen het meergeulenstelsel en veiligheid?
10. Wat is de relatie tussen het meergeulenstelsel en toegankelijkheid? Wat zijn de gevolgen van de verdiepingen voor het meergeulenstelsel?
11. Wat is de relatie tussen het meergeulenstelsel en natuurlijkheid? Hoe natuurlijk is het meergeulenstelsel? Wat is de relatie tussen het meergeulenstelsel en ecologie?
12. Hoe beschrijft u het ééngeulstelsel?

B Het MOVE denkmodel

Het MOVE denkmodel: een schematisch overzicht van de verschillende fysische processen en relaties [Stikvoort et al., 2003].



Figuur 1: Het MOVE denkmodel

C Het Zoute wateren EcotopenStelsel

Het Zoute wateren EcotopenStelsel (ZES.1) [Bouma et al., 2005] maakt deel uit van een serie rapporten die zijn vervaardigd binnen het project RijksWateren Ecotopen Stelsel (RWES). Het is ontwikkeld als een instrument waarmee:

- Het potentiële voorkomen van levensgemeenschappen in, en vlak boven de bodem van brakke en zoute Rijkswateren in kaart kan worden gebracht (actuele situatie).
- Voorspeld kan worden wat de veranderingen in het ecosysteem zouden kunnen zijn als de omgevingsfactoren veranderen als gevolg van inrichtings- en beheersmaatregelen.
- Vergeleken kan worden met een situatie in het verleden, bijvoorbeeld bij evaluaties van de effecten van inrichtings- en beheersmaatregelen.

Het ZES.1 is daarmee een eerste stap naar het opstellen van de instandhoudingdoelstellingen voor de Westerschelde.

Volgens de methode die wordt toegepast in het ZES.1 worden watersystemen opgedeeld naar een classificatiesysteem van ecotopen. Het onderscheid tussen ecotopen wordt hierbij gevormd door verschillende fysische omgevingsfactoren en de daarmee samenhangende processen. Aan de hand van welke van deze omgevingsfactoren en processen het meest bepalend zijn voor het voorkomen van bodemorganismen en dominant zijn over andere, is een serie van abiotische indelingskenmerken gekozen. Deze abiotische indelingskenmerken en bijbehorende variabelen zijn:

Nr.	Abiotische indelingskenmerken:	Variabelen:
1.	Gemiddelde zoutgehalte en zoutvariatie	-
2.	Substraat 1	Hard, zacht
3.	Diepte 1	Sublitoraal, litoraal, supralitoraal
4.	Hydrodynamiek	-
5.	Diepte 2	Diepte, overspoeling
6.	Substraat 2	Sedimentsamenstelling

Tabel 2: Abiotische indelingskenmerken van het ZES.1

Wanneer voldoende bekend is over de relaties tussen abiotische indelingskenmerken en levensgemeenschappen, kunnen levensgemeenschappen in kaart worden gebracht aan de hand van de voornaamste fysische variabelen. Het voorkomen van levensgemeenschappen en de relaties daarvan met abiotische omgevingsfactoren staat dus centraal in deze methode. Gebruik makend van deze relaties en kennis van het voorkomen van fysische variabelen kunnen ecotopenkaarten worden gemaakt. Met behulp van deze kaarten kan aan de hand van veranderingen in abiotische omgevingsfactoren bestudeerd worden waar veranderingen optreden, op zullen treden of opgetreden zijn in levensgemeenschappen.

De indeling van het stelsel is gebaseerd op levensgemeenschappen in en vlak boven de bodem, zoals bodemdieren, wieren en hogere planten. Deze gemeenschappen trekken weer andere organismen aan zoals vissen en vogels. Op die manier kan ook over de organismen hoger in de voedselketen een uitspraak worden gedaan. Kwantificering van mobiele soorten is echter lastig omdat de aanwezigheid niet alleen afhangt van wat er plaatse aanwezig is, maar ook van ecotopen in de omgeving en van de omvang van de totale populatie. Daarin

verschilt deze methode van classificaties op Europees niveau, waar meer ingedeeld wordt op basis van voorkomen en minder wordt gelet op de abiotische omgevingsfactoren.

Voor alle abiotische indelingskenmerken zijn exacte *abiotische variabelen* gekozen die de omgevingskenmerken op een kaart kunnen representeren of variabelen die correleren met belangrijke kenmerken van het systeem waarover minder eenvoudig ruimtelijke informatie verkrijgbaar is. Voor de geselecteerde variabelen zijn *klassegrenzen* gekozen die relevant zijn voor het voorkomen van levensgemeenschappen.

ZES.1 is opgesteld voor de brakke en zoute rijkswateren. De abiotische variabelen en klassegrenzen die voor dit rapport zijn opgesteld zijn niet allemaal van toepassing op de Westerschelde. De variabelen, klassen en klassegrenzen die voorkomen in de Westerschelde zijn opgesomd in onderstaande Tabel 1. Deze tabel is een vereenvoudigde versie van de tabel uit het ZES.1 rapport (pag. 23-24), toegespitst op de Westerschelde. Klassen van variabelen die niet van toepassing zijn op de Westerschelde zijn buiten de tabel gelaten. Ook moet de aantekening worden gemaakt dat de Westerschelde geen homogeen gebied is en de genoemde ecotopen gelijkmatig verspreid over het gebied voorkomen. Echter, een specifiek onderscheid van welke ecotopen voorkomen in welk gedeelte van de Westerschelde is voor dit onderzoek niet nodig. Hiervoor wordt verwezen naar het ZES.1 rapport. Na de tabel volgt een toelichting.

Nr.	Variabelen	Klasse	Klassegrenzen
1	Gemiddelde zoutgehalte en zoutvariabele	Weinig variabel brak Weinig variabel zout Variabel brak/ zout	5,4 - 18 en variatie $\leq 100\%$ > 18 en variatie $\leq 100\%$ > 5,4 en variatie > 100%
2	Substraat 1	Hard substraat Zacht substraat	Steen, hout, veen etc. Sediment
3	Diepte 1	Sublitoraal Litoraal Supralitoraal	< GLWS ¹ (permanent onder water) GLWS - GHWD ² (elk tij overspoeld) > GHWD (niet elk tij overspoeld)
4	Hydrodynamiek Lineaire stroomsnelheid (sublitoraal en litoraal)	Hoogdynamisch (stroming) Laagdynamisch (stroming)	Voor de Westerschelde ligt de grens tussen hoogdynamisch en laagdynamisch bij 0,5 m/s

¹ GLWS: Gemiddeld Laag Water Springtij

² GHWD: Gemiddeld Hoog Water Doodtij

5	Diepte 2 (diepte, overspoeling)		
	Sublitoraal (diepte)	Diep	> 5 m
		Ondiep	5 m - GLWS
	Litoraal (droogvalduur)	Laag litoraal (lang)	GLWS - 75%
		Middelhoog litoraal (midden)	75 - 25%
		Hoog litoraal (kort)	25% - GHWD
	Supralitoraal (overspoelingsfrequentie of vegetatie zones)	Schorren	# keer per jaar
6	Substraat 2 (sedimentsamenstelling)	Slibrijk	
		Fijn zand	
		Grof zand	
		Grind	

Tabel 3: Overzicht van de variabelen, klassen en klassegrenzen die gebruikt worden in het ZES.1 voor de Westerschelde [Bouma et al., 2005]

Hier volgt een toelichting van bovenstaande tabel.

1. Gemiddelde zoutgehalte en zoutvariatie

Op het eerste niveau van het hiërarchische stelsel wordt het zoutgehalte en de zoutvariatie als indelingskenmerk gebruikt. Het zoutgehalte is als indelingskenmerk voor de brakke en zoute wateren onmisbaar omdat het van grote invloed is op het voorkomen van soorten. De volgende klassegrenzen voor het zoutgehalte worden gehanteerd:

- brak: water met een gemiddeld zoutgehalte tussen 5,4 en 18 (3-10 g Cl-/l)
- zout: water met een gemiddeld zoutgehalte > 18 (10 g Cl-/l)

2. Substraat 1 (hard of zacht)

Op het tweede niveau van het hiërarchische stelsel wordt onderscheid gemaakt naar:

- Hard substraat (steen, hout, veen etc.)
- Zacht substraat (bodem van sediment, zoals zand en/of slib)

In de Westerschelde zijn geen natuurlijke harde substraten aanwezig. Het beschouwde meergeulenstelsel bestaat uit een bodem van zacht substraat, ofwel sediment.

3. Diepte 1 (sublitoraal, litoraal, supralitoraal)

Op het derde niveau van het hiërarchische stelsel wordt onderscheid gemaakt naar:

- Het sublitoraal (permanent onder water staand)
- Het litoraal (elk tij overspoeld)
- Het supralitoraal (niet elk tij overspoeld)

Tussen gebieden die continu onder water staan (het sublitoraal), gebieden die een deel van de getijdencyclus droogvallen (het litoraal) en gebieden die slechts zo nu en dan overspoeld

raken (het supralitoraal) bestaan grote verschillen in het voorkomen van soorten. In de Westerschelde komen alledrie de klassen van deze variabele voor.

4. Hydrodynamiek

Op het vierde niveau van het hiërarchische stelsel wordt als indelingskenmerk de hydrodynamiek gebruikt. Onder hydrodynamiek wordt in het ZES.1 vooral de stroomsnelheid van het water en de golfwerking verstaan. Voor het litorale zachte substraat en harde substraat dat niet langs de kust is gelegen, zijn als variabelen gekozen:

- De maximale lineaire stroomsnelheid tijdens een gemiddeld springtij, ongeacht eb of vloed
- De maximale orbitaalsnelheid bij springtij en gemiddelde stormomstandigheden (stormfrequentie 1x/jaar)

De hydrodynamiek is op allerlei manieren van invloed op het voorkomen van flora en fauna. Daarbij wordt een hoogdynamische hydrodynamiek als ongunstig en een laagdynamische hydrodynamiek als gunstig beschouwd. Voor de lineaire stroomsnelheid wordt voor de Westerschelde een grens tussen hoog- en laagdynamisch van 0,5 m/s gedefinieerd. Uit reeds uitgevoerde berekeningen voor de orbitaalsnelheid in de Westerschelde is gebleken dat de grens tussen hoog- en laagdynamisch van 0,2 m/s zelden wordt bereikt. Om die reden wordt de golfwerking dus weggelaten.

5. Diepte 2 (diepte, overspoeling)

Op het vijfde niveau van het hiërarchische stelsel wordt het sublitoraal, litoraal en supralitoraal gedetailleerder onderverdeeld op basis van diepte/hoogteligging. Als variabelen zijn gekozen:

- Voor het sublitoraal: het aantal meters onder de gemiddelde laagwaterlijn bij springtij (meter beneden GLWS)
- Voor het litoraal: de overspoelingsduur (%)
- Voor het supralitoraal: de overspoelingsfrequentie (aantal keer per jaar)

6. Substraat 2 (sedimentsamenstelling)

Op het zesde niveau van het hiërarchische stelsel wordt als indelingskenmerk de sedimentsamenstelling gebruikt. Als variabelen zijn gekozen:

- De mediane korrelgrootte van de zandfractie (μm)
- Het slibgehalte ($\% < 63 \mu\text{m}$).

Het Ecotopenstelsel van de Westerschelde

In de Westerschelde worden verschillende ecotopen onderscheiden die hier worden beschreven. Wanneer het ecotopenstelsel uitgewerkt wordt voor de Westerschelde, dan blijkt dat er veel overeenkomsten zijn tussen de gedefinieerde systeemattributen van het meergeulenstelsel en de abiotische variabelen en klassen van het ecotopenstelsel. De ecotopen komen met de systeemattributen overeen of maken deel uit van een systeemattribuut.

Per ecotoop is aangegeven met welk systeemattribuut deze ecotoop overeenkomt of binnen welk systeemattribuut deze valt. Daarbij wordt aangegeven welke ecologische waarde deze ecotoop bezit. Voor de beschrijving van de ecotopen is onderscheid gemaakt naar de

abiotische variabelen Diepte 1 (kenmerk 3), Hydrodynamiek (kenmerk 4) en Diepte 2 (kenmerk 5). De Westerschelde is een zout en brak systeem. De verschillende ecotopen komen in beide zones voor, daarom wordt het Gemiddelde zoutgehalte en zoutvariatie (kenmerk 1) niet meegenomen. In Substraat 1 (kenmerk 2), wordt ook geen onderscheid gemaakt aangezien in de Westerschelde nauwelijks hard substraat voorkomt. Substraat 2 (kenmerk 6) is wel van toepassing, maar het gaat te diep voor deze opdracht.

De volgende ecotopen worden in de Westerschelde onderscheiden:

1. *Sublitoraal - Diep (> 5 meter) - Nagenoeg geheel dynamisch*

Dit ecotoop komt overeen met het systeemattribuut 'geul', ofwel de eb- en vloedgeulen. Onderscheid in hoog- en laagdynamisch is niet zinvol omdat nagenoeg alle delen hoogdynamisch zijn. Het betreft soortenarme bodemdiergemeenschappen met lage biomassa's.

2. *Sublitoraal - Ondiep (5 meter - GLWS)*

- a. Hoogdynamisch
- b. Laagdynamisch

Dit ecotoop komt overeen met het systeemattribuut 'ondiepwatergebied'. Het hoogdynamische deel is het deel dat ondiep is, zich niet langs de randen van platen en slikken bevindt, maar het bovendee van de geul vormt. Dit deel wordt in principe bij de geul gerekend. Het laagdynamische deel zijn de ondiepwatergebieden die langs de randen van de platen en slikken liggen. Dit ecotoop is belangrijk voor bepaalde soorten vissen en kreeftachtigen.

3. *Litoraal - Hoogdynamisch (hydrodynamiek)*

Dit ecotoop komt overeen met het systeemattribuut intergetijdengebieden (platen en slikken) tussen GLWS en GHWS, met een hoge bodemdynamiek als gevolg van stroomsnelheid of golven.

4. *Litoraal - Laagdynamisch (hydrodynamiek) - Laag/middelhoog gelegen*

Dit ecotoop komt overeen met het systeemattribuut intergetijdengebieden (platen en slikken) tussen GLWS en maximaal 75% droogvalduur, met een lage bodemdynamiek als gevolg van stroomsnelheid of golven. De bodem is zandig tot slibrijk. Het herbergt soortenrijke en biomassa-rijke bodemdiergemeenschappen, waarop grote aantallen vogels en vissen kunnen foerageren. Het zijn de rijkste gebieden van de Westerschelde.

5. *Litoraal - Laagdynamisch (hydrodynamiek) - Hoog gelegen*

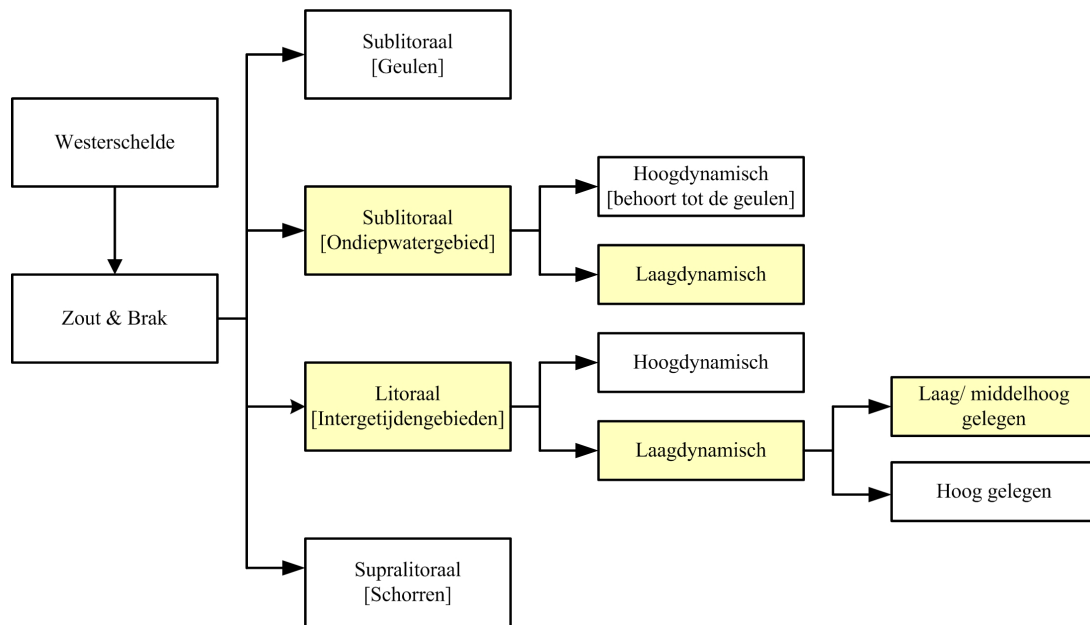
Dit ecotoop komt overeen met het systeemattribuut intergetijdengebieden (platen en slikken) boven 75% droogvalduur en met een lage bodemdynamiek als gevolg van stroomsnelheid of golven. De bodem is zandig tot slibrijk. Het zijn soortenarme en biomassa-arme gebieden.

6. *Supralitoraal*

Dit ecotoop komt overeen met de schorren in de Westerschelde. De bedekking van de vegetatie is minimaal 50% (schor) of 10-50% (primair schor). Het zijn gebieden met een matige soortenrijkdom qua planten en bodemdieren. Op de hoogste delen wordt gebroed door kustvogels. Verder foerageren er vogels.

Synthese

De hierarchische opbouw van het ecotopenstelsel van de Westerschelde is in onderstaande figuur weergegeven. dit is een sterk vereenvoudigde versie van het volledige opgestelde ecotopenstelsel in ZES.1 (pag. 26). De ecotopen (2) sublitoraal - ondiep en (4) litoraal - laagdynamisch (hydrodynamiek) - laag/middelhoog gelegen zijn ecologisch waardevol en interessant en maken deel uit van het meergeulenstelsel. Dit is nogmaals weergegeven in onderstaand figuur. De met geel gemarkeerde gebieden zijn ecologisch waardevol en interessant.



Figuur 2: Ecotopenstelsel van de Westerschelde

De relatie tussen het meergeulenstelsel en natuurlijkheid is dat aan de hand van de fysische kenmerken van het meergeulenstelsel, uitspraken kunnen worden gedaan over het potentiële voorkomen van levensgemeenschappen met behulp van de methode van ZES.1.

D Hypothesen MOVE voor de relatie veiligheid - toegankelijkheid

De volgende hypothesen uit het hypothesen document van MOVE [Stikvoort et al., 2003] zijn van toepassing op de relatie tussen veiligheid en toegankelijkheid:

Hypothese W-2:

Het getijverschil neemt op de Westerschelde, als gevolg van de verdieping, extra toe met 0 cm ter plaatse van Vlissingen tot 10-20 cm ter plaatse van Bath.

Toelichting bij hypothese W-2:

Door een snellere getijdoordringing én vergroting van het getijvolume in het oostelijk deel zullen de hoogwaterstanden in het oostelijk deel van de Westerschelde verhogen en de laagwaterstanden verlagen. De veranderingen in waterstanden vallen te verklaren uit het feit dat de getijgolf minder weerstand ondervindt van de bodem. Hierdoor vindt er minder energiedissipatie plaats wat resulteert in een kleinere demping van de getijgolf. Omdat in het oostelijk deel van de Westerschelde weerstand een belangrijkere rol speelt dan in het westelijk deel (verticale waterstandsfluctuaties zijn daar het grootst ten opzichte van de waterdieptes), zal verandering in weerstand door vaarwegverruiming dar ook de grootste invloed hebben op de waterbeweging [Witteveen+Bos, 1999].

Conclusie hypothese W-2:

De waarde van het gemiddeld getijverschil in Bath lijken in overeenstemming met de hypothese toe te nemen als gevolg van de verruiming. Echter, de tijdreeks is nog niet lang genoeg om dit statistisch te onderbouwen. Hypothese W-2 wordt niet verworpen.

Hypothese W-4:

De hoogwaterstanden nemen, als gevolg van de verdieping, bij normale getijomstandigheden toe vanaf Vlissingen (0 cm) met 0-5 cm bij Terneuzen tot 0-10 cm bij Hansweert en Bath.

Toelichting bij hypothese W-4:

Zie toelichting bij hypothese W-2.

Conclusie hypothese W-4:

Deze hypothese kan nog niet getoetst worden. Hypothese W-4 wordt niet verworpen.

Hypothese W-6:

Het faseverschil tussen Vlissingen en Bath wordt, als gevolg van de verdieping maximaal 10-20 minuten kleiner.

Toelichting bij hypothese W-6:

Door de verruiming van de vaargeul zal de weerstand die de getijgolf ondervindt afnemen. Dit resulteert in een snellere voortplanting van de getijgolf.

Conclusie hypothese W-6:

De waarnemingen volgen niet de verwachting van de hypothese. Hypothese W-6 wordt (nog) niet verworpen.

E Hypothesen MOVE voor de relatie toegankelijkheid - natuurlijkheid

De volgende hypothesen uit het hypothesen document [Stikvoort et al., 2003] zijn van toepassing op de relatie tussen toegankelijkheid en natuurlijkheid:

Stroomsnelheden

Hypothese S-1:

De maximum stroomsnelheden in de hoofdgeul oostelijk van Hansweert nemen na de verdieping toe met 10-20%. Na 15 jaar zullen de snelheden weer op het oude niveau zijn teruggekeerd.

Toelichting bij hypothese S-1:

De hoofdgeulen zijn nog niet aangepast aan de verhoogde getijvolumes. Hierdoor zullen de getijvolumes toenemen met een maximum direct na afloop van de verdieping. Na verloop van tijd heeft de geul zich aangepast aan de nieuwe getijvolumes, waardoor de snelheden na 15 jaar weer teruggekeerd zijn naar het oude niveau.

Conclusie hypothese S-1:

De grootste veranderingen, toenames van stroomsnelheden, zijn zeer lokaal en voornamelijk in de buurt van de plaatranden en stortgebieden. Deze veranderingen zijn echter (nog) niet significant. Hypothese S-1 wordt niet verworpen.

Hypothese S-2:

De maximum stroomsnelheden westelijk van Hansweert nemen niet toe.

Toelichting bij hypothese S-2:

In het westen vindt geen grootschalige verruiming van de geulen plaats. Hierdoor zullen het getijvolume en daarmee de stroomsnelheden niet toenemen.

Conclusie hypothese S-2:

Deze hypothese lijkt te kloppen en hypothese S-2 wordt niet verworpen. Echter, ook voor het westen geldt dat lokaal, in de buurt van de plaatranden en stortgebieden de stroomsnelheden zijn toegenomen.

Bovenstaande hypothesen spreken zich uit over het toenemen van de stroomsnelheden in het systeem. De resultaten laten zien dat de stroomsnelheden lokaal, bij de plaatranden toenemen. Dit zou een toegenomen hydrodynamiek betekenen wat ten koste gaat van de ecologische natuurlijkheid.

Zoutgradiënt

Een belangrijke karakteristiek van de Westerschelde is de zoutgradiënt. Voor de natuurwaarden is deze gradiënt van belang. Veel organismen zijn gebonden aan een bepaalde bandbreedte in het zoutgehalte. De mogelijkheid bestaat dat door de verruiming het getij verder de Westerschelde binnen kan dringen, waardoor het zoute water verder stroomopwaarts kan komen dan in de situatie vóór de verruiming. Wanneer dit het geval is, dan zal dit gevolgen hebben voor de ecologische natuurlijkheid.

Hypothese Z:

De extreme zoutgehalten veranderen niet als gevolg van de verdieping.

Toelichting bij hypothese Z:

De extreme zoutgehalten zijn veel meer afhankelijk van een geringe rivierafvoer van de Westerschelde dan van een grotere getijdoordringing door de verdieping.

Conclusie hypothese Z:

Het getij dringt verder door de Westerschelde in. De rivierafvoer is echter inderdaad van grotere invloed. Hypothese Z wordt aanvaard.

Platen

MOVE bevat hypothesen die voorspellingen doen over zowel de inhoud van de platen, als de areaal-oppervlakte van de platen. Verwacht wordt dat de platen in de delen van de Westerschelde waar gestort wordt in inhoud zullen toenemen. De verklaring hiervoor is dat het sediment dat gestort wordt op natuurlijke wijze weggeërodeerd wordt, waarna het sediment opgeslagen wordt op de platen. Een toename van de platen in de hoogte is slecht voor de ecologische natuurlijkheid. Het risico bestaat dat ze evolueren tot schorren. Een toename van platen in oppervlakte is positief. Een groter areaal platen is ecologisch goed. Daarom wordt ook gekeken naar de hypothesen betreffende de oppervlakte van de platen.

Hypothese I-1:

Het plaatvolume (boven NAP -2m) in het westelijk deel van de Westerschelde zal toenemen met 3-7 Mm³.

Toelichting bij hypothese I-1:

Door de toename van stortingen in het westelijk deel wordt hier een toename van het plaatvolume verwacht.

Conclusie hypothese I-1:

Hypothese I-1 wordt mogelijk verworpen.

Hypothese A-10:

Het areaal platen in het westelijk deel van de Westerschelde zal toenemen met 205 tot 305 hectare.

Toelichting bij hypothese A-10:

Door toename van het storten van baggerspecie in het westelijk deel wordt een toename van het plaat areaal verwacht.

Conclusie hypothese A-10:

Hypothese A-10 wordt mogelijk verworpen.

Een toename in zowel volume en areaal zou ecologische gunstig zijn. Echter, beide hypothesen worden verworpen.

Hypothese I-2:

Het plaatvolume (boven NAP -2m) in het middendeel van de Westerschelde zal toenemen met 2-6 Mm³.

Toelichting bij hypothese I-2:

Deze toename is het vervolg van de verhoogde stortingen in het middendeel.

Conclusie hypothese I-2:

Hypothese I-2 wordt niet verworpen.

Hypothese A-11:

Het areaal platen in het middendeel van de Westerschelde zal toenemen met 25 tot 125 hectare.

Toelichting bij hypothese A-11:

Door toename van het storten van baggerspecie in het middendeel wordt een toename van het plaat areaal verwacht.

Conclusie hypothese A-11:

Hypothese A-11 kan niet beoordeeld worden en wordt daarom niet verworpen.

Een toename in zowel volume en areaal zou ecologische gunstig zijn. Echter, hypothese A-11 kan niet beoordeeld worden. Daarom kan hier geen uitspraak over worden gedaan.

Hypothese I-3:

Het plaatvolume (boven NAP -2m) in het oostelijk deel van de Westerschelde zal afnemen met 3-7 Mm³.

Toelichting bij hypothese I-3:

De verruiming van de geulen in het oostelijk deel zal leiden tot grotere erosie van de plaatranden.

Conclusie hypothese I-3:

Hypothese I-3 wordt niet verworpen.

Hypothese A-12:

Het areaal platen in het oostelijk deel van de Westerschelde zal afnemen met 60 tot 160 hectare.

Toelichting bij hypothese A-12:

Verruiming van de geulen in het oostelijk deel leidt tot grotere erosie van de plaatranden.

Conclusie hypothese A-12:

Hypothese A-12 kan niet beoordeeld worden en wordt daarom niet verworpen.

Een afname in zowel volume en areaal zou ecologische ongunstig zijn. Echter, hypothese A-12 kan niet beoordeeld worden. Daarom kan hier geen uitspraak over worden gedaan.

Door korte tijdspanne waarop deze evaluatie werd uitgevoerd kennen zowel de uitspraken betreffende de inhouden en arealen van de platen een grote onzekerheid. Er kan geen eenduidige conclusie worden getrokken.

Slikken*Hypothese A-4:*

Het areaal slikken in het westelijk deel van de Westerschelde zal afnemen met 40-60 hectare.

Toelichting bij hypothese A-4:

Door erosie van de geulranden gaan aanliggende slikken verloren. Er wordt geen toename van het slikverlies ten gevolge van de verdieping verwacht.

Conclusie hypothese A-4:

Hypothese A-4 is niet te beoordelen en dus niet te verwerpen.

Hypothese A-5:

Het areaal slikken in het middendeel van de Westerschelde zal gelijk blijven.

Toelichting bij hypothese A-5:

De erosie van slikken in het middendeel wordt tegengegaan door het aanleggen van geulwandverdedigingen. Door natuurlijke fluctuaties kan op plaatsen waar geen

geulwandverdedigingen liggen nog wel enige toe- of afname optreden. Dit zal echter maximaal 10 hectare zijn.

Conclusie hypothese A-5:

Hypothese wordt niet verworpen.

Hypothese A-6:

Het areaal slikken in het oostelijk deel van de Westerschelde zal toenemen met 0-20 hectare.

Toelichting bij hypothese A-6:

Door het aanleggen van de geulwandverdedigingen zal er weinig erosie van de slikken optreden. De aanliggende schorren zullen echter, als na-ijl effect van de aanpassing van het slik, nog wel verder eroderen. Dit heeft vergroting van het slikareaal tot gevolg.

Conclusie hypothese A-6:

Hypothese wordt waarschijnlijk verworpen.

Ook de uitspraken betreffende de slikken kennen een grote onzekerheid. Echter, slechts in een geval (hypothese A-4) zullen de slikken afnemen, maar niet ten gevolge van de verruiming.

Ondiepwatergebied

Hypothese A-7:

Het areaal ondiep water in het westelijk deel van de Westerschelde zal afnemen met 130-230 hectare.

Toelichting bij hypothese A-7:

Door de toename van stortingen van baggerspecie zullen in het westen grotere en hogere plaatcomplexen ontstaan. Dit gaat ten koste van het areaal ondiep water.

Conclusie hypothese A-7:

Hypothese A-7 valt niet te beoordelen en wordt daarom niet verworpen.

Hypothese A-8:

Het areaal ondiep water in het middendeel van de Westerschelde zal afnemen met 25-125 hectare.

Toelichting bij hypothese A-8:

Door de toename van stortingen van baggerspecie zullen in het middendeel grotere en hogere plaatcomplexen ontstaan. Dit gaat ten koste van het areaal ondiep water.

Conclusie hypothese A-8:

Hypothese A-8 wordt niet verworpen.

Hypothese A-9:

Het areaal ondiep water in het oostelijk deel van de Westerschelde zal afnemen met 65-165 hectare.

Toelichting bij hypothese A-9:

Na vergroting van de hoofdgeul zullen door erosie de plaatranden steiler worden en ondiep water verloren gaan.

Conclusie hypothese A-9:

Hypothese A-9 wordt niet verworpen.

Ook de uitspraken betreffende het ondiepwatergebied kennen een grote onzekerheid. Er kan geen eenduidige conclusie worden getrokken.

Geulen

Evenals bij de platen bevat MOVE hypothesen die voorspellingen doen over zowel de inhoud van de geulen, als de areaaloppervlakte van de geulen. De hypothesen betreffende de inhoud gaan over de hoofdgeulen, de nevengeulen en de kortsluitgeulen. Een toename van de geulen betekent per definitie een toename van de hydrodynamiek. Dit heeft negatieve gevolgen voor de ecologische natuurlijkheid.

Hypothese I-4:

Het watervolume onder NAP -2m in de hoofdgeul van het westelijk deel van de Westerschelde zal toenemen met 8-28 Mm³.

Toelichting bij hypothese I-4:

Hoewel geen verandering in areaal geul in het westelijk deel wordt verwacht, wordt door de verdieping van de geul (en eventuele verlenging) toch een toename van de inhoud verwacht.

Conclusie hypothese I-4:

Hypothese I-4 wordt niet verworpen.

Hypothese I-5:

Het watervolume onder NAP -2m in de nevengeulen in het westelijk deel van de Westerschelde zal afnemen met 22-52 Mm³.

Toelichting bij hypothese I-5:

In de kortsluit- en nevengeulen in het westelijk deel zal in de toekomst (vanaf 1997) meer worden gestort. Dit zal leiden tot afname van de inhoud.

Conclusie hypothese I-5:

Hypothese I-5 wordt niet verworpen.

Hypothese A-13:

Het areaal geulen in het westelijk deel van de Westerschelde zal gelijk blijven.

Toelichting bij hypothese A-13:

De huidige (in 1996 aanwezige trend) was een verruiming van de geulen in het westen. Deze verruiming zal worden tegengewerkt door stortingen in dit gebied. Verwacht wordt dat er netto geen verandering zal optreden. Door natuurlijke fluctuaties kan wel toe- of afname van 50 hectare optreden.

Conclusie hypothese A-13:

Hypothese A-13 valt niet te beoordelen en wordt dus niet verworpen.

Hoewel netto geen verandering in het areaal geulen in het westelijk deel van de Westerschelde wordt verwacht (hypothese A-13) wordt wel verwacht dat inhoud van de nevengeulen en de kortsluitgeulen af zullen nemen. Afname van kortsluitgeulen is een afname van de nog bestaande morfologische dynamiek en daarmee een afname van de fysische natuurlijkheid. Echter, uitspraken over de inhouden en arealen van de geulen kennen een grote onzekerheid.

Hypothese I-6:

Het watervolume onder NAP -2m in de hoofdgeul van het middendeel van de Westerschelde zal gelijk blijven.

Toelichting bij hypothese I-6:

Momenteel is er sprake van enige verruiming. Door stortingen in het middendeel zal deze verruiming worden tegengewerkt. Hierdoor wordt geen verdere verruiming verwacht. Door natuurlijke fluctuaties kan nog wel toe- of afname optreden van circa 7 Mm³.

Conclusie hypothese I-6:

De inhoud lijkt toch toe te nemen. Hypothese I-6 wordt mogelijk verworpen.

Hypothese I-7:

Het watervolume onder NAP -2m in de nevengeulen in het middendeel van de Westerschelde zal afnemen met 3-17 Mm³.

Toelichting bij hypothese I-7:

Door toename van de stortingen in het middendeel zal de inhoud van de nevengeulen afnemen.

Conclusie hypothese I-7:

Hypothese I-7 wordt niet verworpen.

Hypothese A-14:

Het areaal geulen in het middendeel van de Westerschelde zal gelijk blijven.

Toelichting bij hypothese A-14:

Ook in het middendeel is in de laatste decennia verruiming opgetreden. Gezien de laatste ontwikkelingen in debietverdeling en debietveranderingen én de toekomstige hogere stortingen wordt geen verdere verruiming verwacht. Door natuurlijke fluctuaties kan wel toe- of afname van 50 hectare optreden.

Conclusie hypothese A-14:

Hypothese A-14 wordt niet verworpen.

Hoewel netto geen verandering in het areaal geulen in het middendeel van de Westerschelde wordt verwacht (hypothese A-14) wordt wel verwacht dat inhoud van de nevengeulen en de kortsluitgeulen af zullen nemen. Afname van kortsluitgeulen is een afname van de nog bestaande morfologische dynamiek en daarmee een afname van de fysische natuurlijkheid. Echter, uitspraken over de inhouden en arealen van de geulen kennen een grote onzekerheid.

Hypothese I-8:

Het watervolume onder NAP -2m in de hoofdgeul van het oostelijk deel van de Westerschelde zal toenemen met 65-95 Mm³.

Toelichting bij hypothese I-8:

Allereerst zullen de drempels worden verdiept. Na het verdiepen zal het getijvolume in het oostelijk deel toenemen. De geulen zullen zich na verloop van tijd aanpassen aan deze grotere hoeveelheden en zich verruimen.

Conclusie hypothese I-8:

Hypothese I-8 is niet te beoordelen en wordt daarom niet verworpen.

Hypothese I-9:

Het watervolume onder NAP -2m in de nevengeulen in het oostelijk deel van de Westerschelde zal toenemen met 8-22 Mm³.

Toelichting bij hypothese I-9:

In het oostelijk deel wordt in de toekomst (vanaf 1997) minder gestort. Hierdoor zullen de neven- en kortsluitgeulen zich verruimen.

Conclusie hypothese I-9:

Hypothese I-9 wordt niet verworpen.

Hypothese A-15:

Het areaal geulen in het oostelijk deel van de Westerschelde zal toenemen met 200 tot 300 hectare.

Toelichting bij hypothese A-15:

De drempels in het oosten zullen worden verlaagd. Dit zal tot toename van het getijvolume leiden. De geul zal zich gaan verruimen totdat er een nieuw evenwicht wordt bereikt. Hierdoor zal de geul zich gaan verruimen totdat weer een evenwichtssituatie is ontstaan.

Conclusie hypothese A-15:

Hypothese A-15 wordt niet verworpen.

De hypothese voor het oostelijk deel is dat de areaal-oppervlakte van de geulen significant toe zullen nemen. Dit zou dan ten koste van de platen en het ondiepwatergebied gaan. Dit wordt bevestigd door de hypothesen A-12 (platen) en A-9 (ondiep water). Het zou een achteruitgang betekenen van de ecologische natuurlijkheid. De hypothese I-9 voorspelt dat de kortsluitgeulen toe zullen nemen. Dit is positief voor de morfologische dynamiek en daarmee voor de fysische natuurlijkheid. Echter, de reden hiervan is dat er meer gestort gaat worden in het westen, waar de kortsluitgeulen af zullen nemen. De hypothese I-5 voorspelt dit inderdaad. Echter, ook hier geldt dat uitspraken over de inhouden en arealen van de geulen een grote onzekerheid kennen.