Z 2941

Opdrachtgever:

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Ruimtecol fase 1
Indicatoren voor de fysische waterkwaliteit vanuit ecologisch perspectief: een kennisinventarisatie

Verslag

november 2000

WL | delft hydraulics

Z2941

57832
Z 2941
R0008151

Opdrachtgever:

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Ruimtecol fase 1
Indicatoren voor de fysische waterkwaliteit vanuit ecologisch perspectief: een kennisinventarisatie

M.B. de Vries, A. Crosato en C. Jeuken

Verslag

november 2000

WL | delft hydraulics

WL | delft hydraulics

OPDRACHTGEVER: RWS - RIKZ (Middelburg)

TITEL: Ruimtecol fase 1. Kennisinventarisatie werkdocument.

SAMENVATTING:
Het rapport is het voorlopige resultaat van de eerste fase van het Ruimtecol project. Het project is een onderdeel van het overkoepelende project RUIMTECOL dat door RWS-RIKZ is geformuleerd binnen het WONS-kader.

RIKZ heeft het project RUIMTECOL geformuleerd, waarin de kennis van relaties tussen menselijke activiteiten en het ecologisch functioneren wordt ontwikkeld en bruikbaar en beschikbaar wordt gemaakt voor beheer- en beleidsmakers. Binnen RUIMTECOL is het deelproject PROCES opgezet met als doel: het presenteren van (combinaties van) systeemparameters die de potentie van een systeem aangeven om bepaalde ecotopen/habitats te vormen. Deze systeemparameters worden gebruikt om ecologische streefbeelden te maken, en de mate van succes in het realiseren van die streefbeelden te evalueren.

Binnen het kader van fase 1 van het project is de doelstelling ingeperkt tot:
1. Inventarisatie van de bestaande kennis en opinies in relatie tot het RUIMTECOL project;
2. Op basis van de inventarisatie een meest belovende aanpak afleiden;
3. Formuleren van een voorstel voor vervolgonderzoek dat moet leiden tot een uitwerking van de voorgestelde aanpak.

In dit rapport wordt een overzicht gegeven van de kennis die beschikbaar en mogelijk bruikbaar is om één of meer generieke graadmeters te ontwikkelen die fysische eigenschappen van een getijdewatersysteem koppelt aan de potenties voor ontstaan en het instandhouden van een bepaald areaal aan fysiotopen. Die potenties kunnen worden bepaald door zowel natuurlijke factoren als antropogene invloeden. In dit rapport wordt beschreven wat de huidige staat van de kennis is aan de hand van een analyse van studies die in Nederland maar ook in het buitenland zijn uitgevoerd. Met behulp van interviews en een workshop is getracht de inzichten te toetsen en de haalbaarheid en bruikbaarheid van graadmeters te omschrijven.

Belangrijk resultaat is de conclusie dat mogelijk één of meer graadmeters ontwikkeld kan worden die gebaseerd zijn op analyse van de morfologische vorm van een gebied en de beschikbare energie. De relatie tussen een op fysische karakteristieken gebaseerde graadmeter en de biologie is nog niet voldoende duidelijk en moet verder worden uitgewerkt

REFERENTIES: De offerte is opgesteld op grond van RIKZ offerte aanvraag "RIKZ/OS/2000/60102". Contactpersonen bij RIKZ zijn J. Graveland en B. Kornman.

VER.	AUTEUR		DATUM	OPMERK.	REVIEW		GOEDKEURING	
0 final	M.B. de Vries	MV	9-2-01		Takam		T. Schilperoort	

PROJECTNUMMER:		Z2941						
TREFWOORDEN:		Graadmeter, fysiotoop, ecotoop, morfologie, dynamiek, getijdewateren						
INHOUD:	TEKST	37	TABELLEN	4	FIGUREN	14	APPENDICES	5
STATUS:	☐ VOORLOPIG		☐ CONCEPT		☒ DEFINITIEF			

Inhoud

Samenvatting 1

1 Inleiding 1

1.1 Doel van RUIMTECOL fase 1 2

1.2 Opzet van het rapport 2

2 Projectaanpak 3

3 State of the art 5

3.1 Introduction 5

3.2 The physiotope description 6

3.2.1 Introduction 6
3.2.2 Methodologies 6
3.2.3 Relevant parameters for the description of physiotopes 7

3.3 Spatial and temporal scales 9

3.3.1 Introduction 9
3.3.2 Scale concepts in biology and morphology 11

3.4 Characterization of estuaries and tidal basins 13

3.4.1 Introduction 13
3.4.2 Mega-scale characterization 14
3.4.3 Characterization of river reaches and theoretical morphodynamics 15
3.4.4 Extension of the approach to tidal areas 17
3.4.5 Scour near dikes and tendency towards a single channel system. 23

4 Interviews 24

4.1 Analyse van de interviews 25

4.1.1 Algemene kennis 25
4.1.2 Gebiedsspecifieke kennis 26
4.1.3 Ecotopensystemen 27

4.2 Conclusies van de interviews 29

4.2.1 Schaalniveau 29
4.2.2 Methodiek 30

5 Workshop Ruimtecol ... 31

5.1 Inleiding Ruimtecol project ... 31

5.2 Opzet fase 1 (dit project) ... 31

5.3 Huidige stand van kennis ... 31

5.4 Resultaten interviews ... 32

5.5 Synthese en discussie ... 33

5.6 Conclusies ... 34

5.7 Afronding huidige project ... 34

6 Overwegingen bij het definiëren van graadmeters ... 35

6.1 Algemeen ... 35

6.2 De betekenis voor het ecologisch functioneren ... 36

6.2.1 Tijd- en ruimteschalen in morfologie en ecologie ... 38

6.2.2 Toepassing ... 39

7 Openstaande vragen (tentatief) ... 40

7.1 In dit project ... 40

7.2 Breder kader Ruimtecol ... 40

References ... Lit.–1

Appendices

A Algemeen ... A–1

B De resultaten van de schriftelijke interviews ... B–1

C Uitwerking van dynamiek vanuit een biologisch standpunt ... C–1

D Beschikbare data en modellen voor onderbouwing van een concept ... D–1

E Ecotopenbenaderingen ... E–1

Samenvatting

Voorliggend rapport is het voorlopige resultaat van de eerste fase van het Ruimtecol project. In dit rapport wordt een overzicht gegeven van de kennis die beschikbaar en mogelijk bruikbaar is om één of meer generieke graadmeters te ontwikkelen die fysische eigenschappen van een watersysteem koppelt aan de potenties voor ontstaan en het instandhouden van een bepaald areaal aan fysiotopen. Die potenties kunnen worden bepaald door zowel natuurlijke factoren als antropogene invloeden. In dit rapport wordt beschreven wat de huidige staat van de kennis is aan de hand van een analyse van studies die in Nederland maar ook in het buitenland zijn uitgevoerd. Met behulp van interviews en een workshop is getracht de inzichten te toetsen en de haalbaarheid en bruikbaarheid van graadmeters te omschrijven.

Belangrijk resultaat is de conclusie dat mogelijk één of meer graadmeters ontwikkeld kan worden die gebaseerd zijn op analyse van de morfologische vorm van een gebied en de beschikbare energie. De relatie tussen een op fysische karakteristieken gebaseerde graadmeter en de biologie is nog niet voldoende duidelijk en moet verder worden uitgewerkt.

1 Inleiding

Het project is een onderdeel van het overkoepelende project RUIMTECOL dat door RWS-RIKZ is geformuleerd binnen het WONS-kader.

Rijkswaterstaat is onder meer verantwoordelijk voor het beheer van de ecosystemen in het Nederlandse kust-, Wadden- en Deltagebied. Het menselijk gebruik van onze kustgebieden neemt toe (bijv. door scheepvaart, visserij, recreatie). Het ecologisch functioneren van de zoute watersystemen komt daarmee steeds meer onder druk te staan. In het beleid van Verkeer en Waterstaat staan integraal waterbeheer en behoud en herstel van ecosystemen in de zoute wateren centraal. Om een goed beheer en beleid te kunnen voeren is kennis nodig van relaties tussen menselijke activiteiten en het ecologisch functioneren.

Elke Regionale Directie van RWS moet de komende jaren voor elk watersysteem een integraal streefbeeld maken, waarin de wensen zijn aangegeven met betrekking tot ecologie en menselijke gebruiksvormen. De Specialistische Diensten van RWS zullen in WONS-kader een methodiek ontwikkelen om het maken en evalueren van die streefbeelden te vergemakkelijken. Een systematiek om de ecologische potenties van een systeem vanuit de fysica (morfologie, hydrodynamiek, zout) aan te geven en de mate van succes van het realiseren van een streefbeeld (tussen- en einddoelen) te evalueren vormt daar een onderdeel van.

RIKZ heeft het project RUIMTECOL geformuleerd, waarin de kennis van relaties tussen menselijke activiteiten en het ecologisch functioneren wordt ontwikkeld en bruikbaar en beschikbaar wordt gemaakt voor beheer- en beleidsmakers. Binnen RUIMTECOL is het deelproject PROCES opgezet met als doel: het presenteren van (combinaties van) systeem-parameters die de potentie van een systeem aangeven om bepaalde ecotopen/habitats te vormen. Deze systeemparameters worden gebruikt om ecologische streefbeelden te maken, en de mate van succes in het realiseren van die streefbeelden te evalueren. In de context van dit project wordt het begrip 'dynamiek' veelvuldig gebruikt en het is belangrijk om het hier duidelijk te specificeren. Met dynamiek wordt bedoeld: het voortdurend verschijnen en verdwijnen van fysiotopen op een tijdschaal van jaren en decennia en een ruimteschaal van kilometers. Het streven is om aan de hand van graadmeters de dynamiek van een systeem te kwantificeren en de fysische kwaliteit aldus te bepalen. Bovendien is het streven om deze graadmeters in evaluaties en discussies ten behoeve van beheer en beleid eenzelfde positie te geven als momenteel de chemische waterkwaliteit inneemt. Dit is het uiteindelijke doel van RIKZ, waarbij het ontwikkelen van graadmeters (het doel van dit project) het middel is hiervoor.

De offerte is opgesteld op grond van RIKZ offerte aanvraag "RIKZ/OS/2000/60102". Contactpersonen bij RIKZ zijn J. Graveland en B. Kornman.

1.1 Doel van RUIMTECOL fase 1

Binnen het kader van fase 1 van het project is de doelstelling ingeperkt tot:

1. Inventarisatie van de bestaande kennis en opinies in relatie tot het RUIMTECOL project;
2. Op basis van de inventarisatie een meest belovende aanpak afleiden;
3. Formuleren van een voorstel voor vervolgonderzoek dat moet leiden tot een uitwerking van de voorgestelde aanpak.

1.2 Opzet van het rapport

In achtereenvolgende hoofdstukken komen de volgende onderwerpen aan bod:

1. Aanpak
2. Status van de kennis in zoet en zout
3. Interviews
4. Resultaten workshop
5. Overwegingen bij het definiëren van graadmeters
6. Globale onderzoeksvragen

Niet alle hoofdstukken zijn in dit conceptrapport volledig uitgewerkt. Hoofdstuk 3 (status van de kennis) is geschreven in de Engelse taal. In overleg met de opdrachtgever wordt besloten om dit hoofdstuk in de definitieve rapportage wel of niet alsnog te vertalen in het Nederlands.

2 Projectaanpak

Centraal in dit project staat de identificatie van bestaande kennis over de relaties tussen de fysica en dynamiek van een systeem en de daaruit voortvloeiende potenties voor de ecologie. Uitgangspunt is dat de fysische eigenschappen en de daaraan gerelateerde dynamiek van een systeem het ontstaan, voorkomen en verdwijnen van ecotopen bepaald. De eigenschappen van een fysiotoop en de dynamiek bepalen dus de randvoorwaarden voor de biologische ontwikkeling van een gebied. Een fysiotoop wordt gedefinieerd als een gebied met fysische eigenschappen die vallen in daarbij behorende ranges van waarden. Het Ruimtecol project beoogt te komen tot definitie van fysische graadmeters die deze dynamiek van het systeem kwantificeren, zodanig dat het aansluit bij de huidige beleidskaders.
In het project wordt sterk de nadruk gelegd op de uitwerking van de bestaande concepten die het mogelijk zouden kunnen maken om de dynamiek in het fysische systeem in relatie tot potenties voor de fysiotopen en de biologische ontwikkeling binnen die fysiotopen te meten en te beoordelen.

Allereerst zullen we ons op de fysica van het systeem richten; de variabelen die de randvoorwaarden voor de ecologie definiëren zullen worden geïnventariseerd en een keuze zal gemaakt worden uit de meest sturende processen en factoren. Hierbij zullen we ons voornamelijk richten op de Westerschelde en in mindere mate de Waddenzee, omdat in deze gebieden momenteel veel onderzoek naar fysische forcering van de ecologie wordt gedaan. Aansluiting wordt gezocht bij de vergelijkbare ontwikkelingen die gaande zijn in het rivierengebied. In de beschrijving van de huidige kennis wordt verder gebruik gemaakt van onderzoek verricht in het kader van Delft Cluster en Doelfinanciering Biogeomorfologie. Hiernaast worden vergelijkingen gemaakt met wetenschappelijk onderzoek in binnen- en buitenland.

Er zal in de beschrijving van de huidige kennis veel aandacht worden besteed aan de relevante tijd- en ruimteschaal. Immers, de beheerder en de beleidsmaker hebben eigen wensen wat betreft de meest bruikbare tijd- en ruimteschalen van een graadmeter en het fysische systeem zelf heeft op basis van zijn eigenschappen ook een karakteristieke tijd- en ruimteschaal. Bij de definities van graadmeters spelen deze overwegingen een belangrijke rol.

In dit rapport wordt op basis van de inventarisatie van de kennis een aanzet gegeven voor een generieke aanpak gebaseerd op de morfologische processen en beschikbare energie in getijdewateren. Deze aanpak bouwt verder op het werk van RIZA/ALTERRA en Seminara (zie § 5.5). Belangrijke uitgangspunten bij deze aanzet zijn de generieke toepasbaarheid, meetbaarheid en voorspelbaarheid van benodigde data. Vraagpunten bij de aanzet zijn de keuze van tijd- en ruimteschaal en de uitwerking van een hierop gebaseerde graadmeter.

Een belangrijk punt is, om tijdig vast te stellen wat de betekenis van de aanpak en de hierop gebaseerde graadmeters is voor de biologische componenten in een systeem en welke informatie voor een voor biologie betekenisvolle graadmeter nog moet worden toegevoegd.

De bovenstaande stappen moeten uiteindelijk leiden tot de definitie van één of meerdere praktische graadmeters, die iets zegt over de relatie tussen ontwikkeling in de abiotiek van een watersysteem en de daar te verwachten verdeling van fysiotopen. We sluiten zoveel mogelijk aan bij soortgelijke concepten voor zoetwatersystemen. Toegevoegd is de invloed van tijd- en ruimteschalen in het systeem die mede de randvoorwaarden voor beheer, beleid en biologische ontwikkeling.

Gewenste eigenschappen van deze graadmeters/meetlatten zijn:

- Gebaseerd op meetbare en voorspelbare parameters
- Relatie met (potentiële) ontwikkeling van biologische gebiedseigenschappen
- Het moet een eenduidige waarde opleveren
- Het moet toepasbaar zijn voor beheerders
- Het moet periodiek een waarde kunnen berekenen/bepalen om de evolutie van het systeem te volgen

3 State of the art

3.1 Introduction

A water-body system can deteriorate due to chemical pollution of water and sediment, but also due to morphological changes which are undesirable from an ecological perspective. A water body that consists of clean water and sediment can at the same time be morphologically altered and can cause a strongly negatively impact on the biological component. For this reason we can regard some morphological changes as morphological deterioration. Chemical pollution is easily quantifiable and many standards are currently available (e.g. for every pollutant acceptability limits are listed). However, purely hydro-morphological deterioration is at present still difficult to quantify.

Chemical pollution often has a visible and direct effect on water bodies and organisms, such as the appearance of dead fish, algal blooms or odour, and impacts on humans, such as the deterioraton of drink water quality and the presence of pollutants in edible fish. The effects of morphological changes are slow and thus not immediately visible. They can manifest themselves after a long period in the form of alterations in the typical succession stages of salt marshes, such as the lack of young salt marshes, or as erosion of banks and of intertidal areas. For this reason efforts were first concentrated in identifying and treating chemical pollution, which can be compared to an acute disease of water bodies. Only at a later stage have we realized the importance of recognizing and treating morphological deterioration too.

For management purposes it is important to be able to measure also the *morphological quality* of a water system, which would allow to quantify the level of damage caused exclusively by changes of hydromorphology and establish acceptability limits. For this purpose it is necessary to identify a number of easily-assessable parameters, which can be used as indicators of their morphological quality and allow for its quantification. Furthermore it is necessary to define a reference situation, which is the basis for this quantification. The reference situation can be a chosen configuration of the landscape (pure geo-morphology), in the past or at present, or indirectly represented by the presence of some organisms which are sensitive to changes in the hydromorphology of their habitats.

In most cases the parameters used as indicators for morphological quality should be relevant also for the biology. Nevertheless, next to features of biological relevance there are also important aspects of pure social relevance, which are based on considerations for human preferences only. Therefore morphological deterioration should not be always related to the local biology, since the loss of certain pure abiotic characteristics (landscape) can also be, per se, undesirable. For an overall description of the aspects to be taken into account for the evaluation of nature in coastal zone reference is made to Ruijgrok (1999).

This chapter deals with the assessment of the current knowledge to be ultimately used for the quantification of the morphological quality of the Dutch coast. The study aims at the

selection of the most promising approaches for the assessment of the morphological state in a simple way. It also includes a quick insight into the parameters which have proved to be important for the definition of the ecotopes in tidal areas (in order not to forget biology) and into the "scale issue", which deserves attention in this type of studies.

The assessment of the state of the art is based on literature selected on its relevance for applications to the Dutch Coast.

The following issues have been selected:

- promising approaches for the characterisation of estuaries and tidal basins,
- spatial and temporal scales,
- methodologies for the discrimination of different physiotopes/ecotopes,
- relevant parameters for the description of physiotopes/ecotopes,
- analogous work carried out on rivers (this issue has been selected for its potentiality on the development of new approaches and methodologies).

3.2 The physiotope description

3.2.1 Introduction

Some indicators of morphological quality which allow for the quantification of its deterioration could be found among those parameters which are important for the description of the local ecotopes. Several studies have been dealing with the determination of the parameters to be used for the differentiation of ecotopes or physiotopes (with a link to the local ecology) of water bodies. The importance of this studies lies not only in the selected parameters, but also in the methodology adopted. For this reason this section has been subdivided in two subsections, one for the methodologies adopted and one for the selected parameters.

3.2.2 Methodologies

Here the methodologies adopted in the projects INTRMUD by Crosato et al. (1999), BEON by de Jong et al. (1998) and for the characterization of river reaches by Schoor et al. (1999) are shortly described.

In the frame of the project INTRMUD, Crosato et al. (1999) dealt with the development of a general methodology for the selection of the parameters (descriptors) and for the assessment of the class boundaries to be used for the distinction of the different types of intertidal flats (physiotopes) in the Western Scheldt estuary.
Methodology:

The descriptors should be independent and measurable. If one of the parameters is found to be important, but not easily measurable, it should be substituted by a combination of related parameters which are easily measurable. In this case it is necessary to study the inter-relations between various parameters. When this is done, the intertidal flat descriptors may result to be inter-related (not independent from each other), since some of them represent *all together* one non-easily measurable parameter.

The work should include the following steps:

- pre-selection of independent parameters governing the functioning of the intertidal flat system (kept as general as possible),
- analysis of field data, with the aim of establishing the role of each parameter for the intertidal flat functioning and definition of combined parameters,
- use of scatter plots (one point in a scatter plot represents one measuring station, its co-ordinates being the measured values of the parameters to be compared) and exclusion laws, as the simplest method to define the class boundaries separating the different types of intertidal flats.

In the framework of the project BEON, de Jong et al. (1998) made a general selection of parameters to define and distinguish the different ecotopes in the Wadden Sea at the large scale, their aim being the mapping of ecotopes. For the definition of the ecotopes they considered and mapped a large number of abiotic parameters. Since their mapping is based on abiotic descriptors, the result can be better regarded as physiotope mapping rather than ecotope mapping. Due to lack of data the definition of the class boundaries is for a large part based on literature. This type of work is necessary for the assessment of the current situation and can be very useful for management purposes, because it gives a clear vision of location and extension of the different physiotopes.

Schoor et al. (1999) based the definition of physiotopes and ecotopes typical of the riverine environments on the comparison between the present and past situations. The interventions to preserve or restore naturality can be better planned when the character of the river, now completely altered by human works, is reconstructed by means of historical analyses. The comparison of historical maps (since 1780 A.D.) allowed for a better understanding of the changes occurred and their causes (Maas et al., 1997). Next to the study of historical maps Schoor et al. (1999) have also adopted a simple methodology, developed by Lambeek & Mosselman (1998), for the characterisation of river trajects. They had observed that in the past the Dutch rivers did not present the same type of geomorphology (presence of bars, side channels, islands) for their whole course and concluded that it was necessary to deal with separate river trajects. The methodology for the characterisation of river trajects is described in Subsection 3.4.3.

3.2.3 Relevant parameters for the description of physiotopes

Table A.1 allows for a comparison between the parameters selected:

- for an estuary in New Zealand - (Bell et al./Legendre et al. 1997),
- for the Midden Western Scheldt, Molenplaat intertidal flat (Crosato et al., 1999),
- for the Wadden Sea (Wintermans et al. 1996).

All works deal with the distinction of homogeneous zones (physiotopes or ecotopes) having a typical extension of the order of several hectares (large parts of intertidal flats). They are typical meso-scale studies (see next section). Crosato et al. (1999) and Bell et al./Legendre et al. (1997) studied the homogeneous units on data with a resolution of 10-100 m.

BEON project (Wintermans 1996)	NEW ZEALAND (Bell/Legendre 1997)	INTRMUD project (Crosato 1999)
• current velocity • bed friction due to wave action (storm conditions)	• current velocity • wind-waves (work done during a tide)	• current velocity • wind + ship waves (energy dissipation due to oscillating motion and breaking)
• bathymetry (inundation time)	• water depth • inundation time	• water depth • depth-tide ratio (inundation time)
	• energy dissipation per unit of area at the bed • suspended solids concentrations	• energy dissipation rate per unit of area at the bed • bedforms
• mud content • silt content • median grain size	• sediment characteristics (grain size distribution)	• silt content
• sedimentation-erosion • salinity • water exchange	• sediment reworking (erosion)	• bed elevation changes (sedimentation-erosion) • bottom slope

Table 1 Ecotope descriptors selected in the frame of three independent projects.

The parameters listed by Crosato et al. (1999) were used to discriminate physiotopes/ecotopes on intertidal areas in the Midden Western Scheldt, that is at the meso-scale. When the scale of the study is larger than the meso-scale, that is when the whole estuary is considered or when more estuaries are compared to each other, also other parameters become important. They are: salinity, tidal range, suspended solids, water temperature, exposure to storms, anthropogenic disturbance. These, together with the parameters listed in Table 1, allow for the distinction of physiotopes/ecotopes at the macro and mega scale, these are the scales of the RUIMTECOL studies.

The ecotope descriptors listed in Table 1 have been chosen independently and for three different situations, nevertheless they are similar. The selections can therefore be assumed generally valid and the same parameters be used as base for the selection of the ecotope descriptors at the meso scale for the Dutch coast in general.

Crosato et al. (1999) found that *energy dissipation rate* is one of the most important parameters. Its range of values was subdivided in classes, each class being relevant for a certain type of biogeomorphological situation. This class subdivision was carried out based on field measurements. Due to the fact that energy dissipation rate is not easily quantifiable, it became necessary to replace this parameter with a combination of other parameters. With this purpose the inter-relations between energy dissipation rate and many other parameters were studied. The result was that for the Molenplaat intertidal flat most of the relevant classes in which energy dissipation rate had been subdivided could be derived as a function of: *erosion/sedimentation*, presence of *ripples*, *silt content*, *current velocity* and *wave height*. This result cannot be extended to all the tidal basins of the Dutch coast, because it is strongly site-dependent. The local soil characteristics, for instance, do not only depend on the local energy, but also on the type of sediment available. Therefore when trying to

eliminate the energy dissipation rate parameter from the group of ecotope descriptors for another tidal basin, more analyses, based on local data, are necessary.

Another result of Crosato et al. (1999) was that only the combination of *several* parameters could lead to an effective discrimination of intertidal flats. Besides energy dissipation, other important parameters were: the depth to tide ratio (an indirect measure of *inundation time*) and *bed elevation changes* (erosion/sedimentation). The subdivision in different typologies which was obtained for the Molenplaat intertidal flat (Western Scheldt) on the basis of the selected parameters and class boundaries reproduced well the subdivision in ecotopes independently carried out by Fred Twisk (RIKZ, unpublished work) on the basis of biological data only. This supports the selection of parameters and their subdivision in classes.

Legendre et al. (1997) used the physical parameters selected by Bell et al. (1997) to study the factors controlling the distributions and the presence of two benthic species, the bivalves *Macomona liliana* and *Austrovenus stutchburyi* on an intertidal flat in New Zealand. Their main result is that different factors are controlling the spatial distributions of the two species and, within the same species, of adults and juveniles. The latter were found more dependent on the considered physical variables. The most significant parameter for the bivalves was *inundation time*. Another significant parameter for the adults was *bottom elevation*. This parameter on the temporal scale of several years (duration of life of adults) reflects the action of many hydrodynamic variables, such as the effects of storms, as well as of some biological interactions, such as predation by birds, that may be important determinants for the bivalve distributions.

3.3 Spatial and temporal scales

3.3.1 Introduction

Scale issues are important for both geomorphology (de Vriend, 1991, 1998, Stive & de Vriend, 1995)) and biology (Schneider, 1994, and Haury et al., 1997). Blöschl & Sivapalan (1995) give a good review of scale issues in hydrological modelling which can be (not in all aspects) generalised for both geomorphology and biology. They remind that each component of a research cycle has its own temporal and spatial scales and distinguish the scales of processes, observations, modelling and policies.

Process scale
The process scale is the scale of the natural processes. Some processes exhibit (one or more) preferential scales, in the sense that certain length- or time-scales are more likely to occur than others. The preferred scales are also called the *natural scales*. For coastal inlets and tidal basins we find the following coupling between morphological processes and scales:

- micro-scale: evolution of bottom ripple and dune structures due to flow and waves;
- meso-scale: evolution of channels and shoals, ebb and flow chutes, channel-flat exchange;
- macro-scale: evolution of ebb-tidal delta, channel branching, channel meandering;

- mega-scale (this is the scale of the whole system): morphologic interaction between coastal inlet, tidal basin and adjacent coast.

Observation scale
The observation scale has two aspects: the spatial/temporal extent of data sets (coverage) and the spacing between samples (resolution) or the volume/time of a sample.

Process versus observation scale
Ideally processes should be observed at the scale they occur, but this is not always feasible. Processes larger than the coverage appear as trends in the data, whereas processes smaller than the resolution appear as noise. Day et al. (2000) illustrate the typical problem which can occur in the latter case: a misleading in the interpretation of causes and effects, in their case the causes of loss of marshes in the Mississippi Delta.

Modelling scale
Modelling does not only relates to computer simulations, but includes conceptual modelling as well. The modelling scale is partly related to the processes and partly to the applications of the models. Models are also dependent on the observations for the description of the process and for the calibration, but often the modelling scale is much smaller or much larger than the observation scale. In those cases a *scaling operation* is needed, where "to scale" means "to zoom" or to "reduce/increase" in size. Thus *upscaling* means transferring information from a smaller to a larger scale (it is also referred as *aggregation*), while *downscaling* means the opposite, that is transferring information from a larger to a smaller scale. De Vriend (1991, 1998) deals with the scaling procedures related to the modelling of large-scale (long-term) morphological evolutions.

Policy scale
The policy scale is the spatial and temporal scale used by the authorities responsible for the management of the system and is often different from the process, observation and even from modelling scales. In order to be able to give an answer to the many questions posed by the decision makers, often upscaling and downscaling procedures are needed. These transfer the information from processes/observation/modelling scales to the policy scale. Bierkens et al. (2000) treat the problems related to upscaling and downscaling operations and provide a good overview of this type of procedures.

Biogeomorphology is a relatively young discipline, in which the biological and the hydromorphological aspects of a system are treated as fully coupled. Biogeomorphological studies are therefore typically multidisciplinary and thus complicated by the (often non-clear) inter-relations between the features of the two disciplines. With respect to scale interactions, for instance, biogeomorphological studies necessarily include the typical temporal and spatial scales of both the biological and the hydromotphological component of the system.

In recent years the importance of scale has been increasingly recognised (Legendre et al. 1997, Schneider, 1994) as an essential aspect of understanding the biological processes. Legendre et al. (1997) state: "Scale is one of the critical factors in ecology because our perception of most ecological variables and processes depends upon the scale at which

variables are measured. A conclusion obtained at one scale may not be valid at another scale without sufficient knowledge of scaling effects; this is a source of misinterpretation for many ecological problems". The scale issue is therefore a rather new and important subject and deserves much attention for the progress of biogeomorphological studies.

3.3.2 Scale concepts in biology and morphology

Theoretical concepts and techniques for the treatment of spatial and temporal scales are handled in both morphology and biology, but not always in the same way. Differences are found in the way of defining spatial scales, as well as in the relation between spatial and temporal scales.

Definition of spatial scales
In hydro-morphology it is often customary to define scales relatively to the dimensions of the water body, even though in doing this there is no general accord. This is done especially for the river systems, where, for example, the meso-scale is the scale of the water depth and the macro-scale is that of the river width. For the mega- and micro-scale there is no standard definition, even though mega-scale is often referred as the distance over which the drop of water level equals the water depth. In biology, scales are often defined in an absolute way and expressed in quantities, such as meters or hectares, as for instance "the surface occupied by salt marshes". Klijn (1994, 1997) uses a hierarchical approach to define ecosystems in relation to their typical spatial-scale (i.e. ecoregions, ecodistricts and ecoseries), which can be used for ecological land classification.

Relation between spatial and temporal scales
For hydro-morphological processes, time scales and space scales are strongly linked. Phenomena and processes with small time-scales also have small space-scales, and phenomena with large time-scales also have large space-scales (de Vriend, 1991, 1998, and Blöschl & Sivapalan, 1995), see Figure 1 and Figure 2.

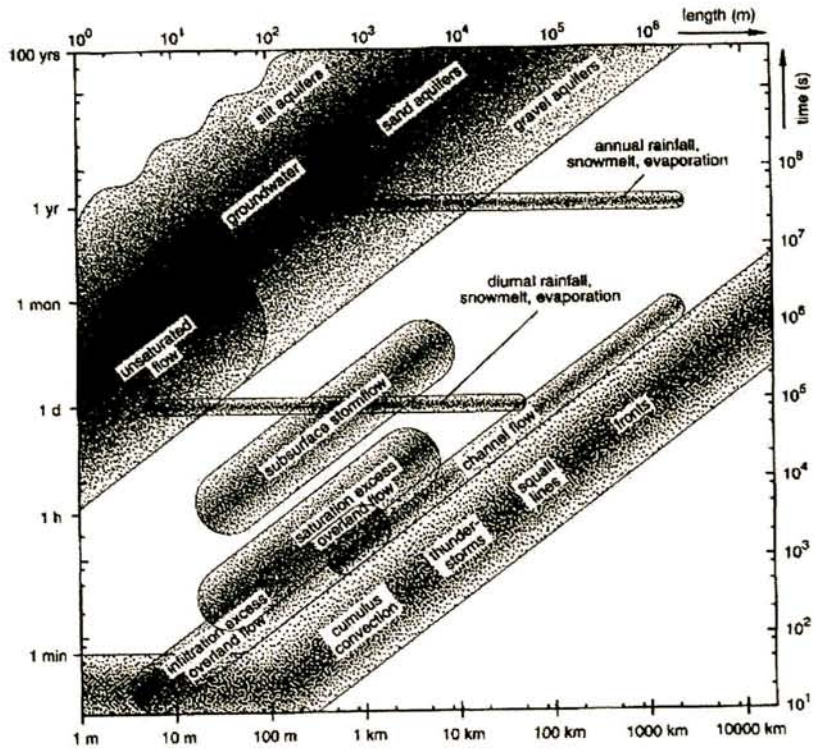


Figure 1 Hydrological processes at ranges of characteristic space/time scales after Blöschl & Sivapalan (1995).

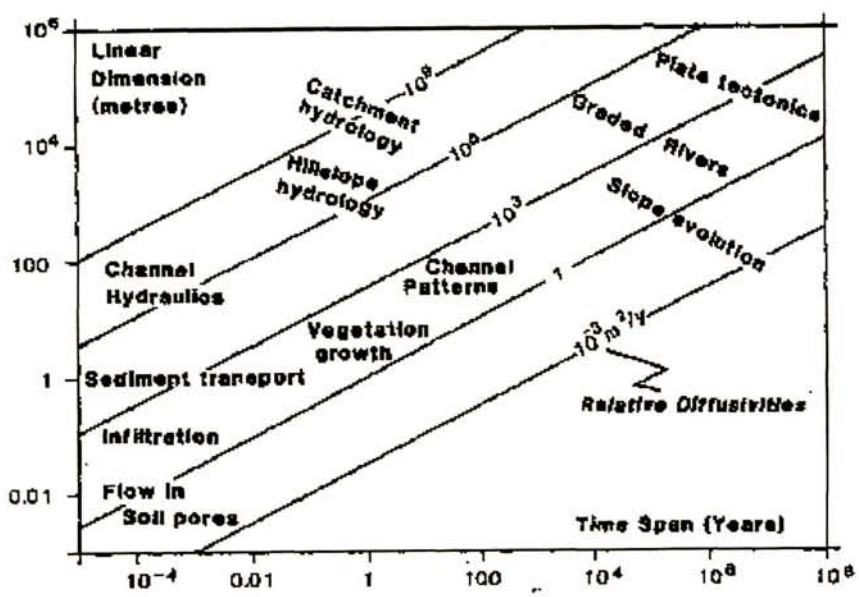


Figure 2 Relations between temporal and spatial scales after Kirkby (1990).

In geomorphology the linkage between spatial and temporal scale is formed by sediment transport. For the development or migration of a small bedform only a small amount of sediment needs to be transported, which can occur relatively fast. The development or migration of a large bedform requires transport of a large amount of sediment and hence a much longer time. The fact that a single process (sediment transport) is the decisive factor for the speed of processes on all scales makes that the relation between time scales and

space scales can be plotted nicely along a line in a graph, see Figure 3. This is much less so in biology, where more than one process plays a role in the dynamics of a biological population (growth, colonisation, mortality and migration).

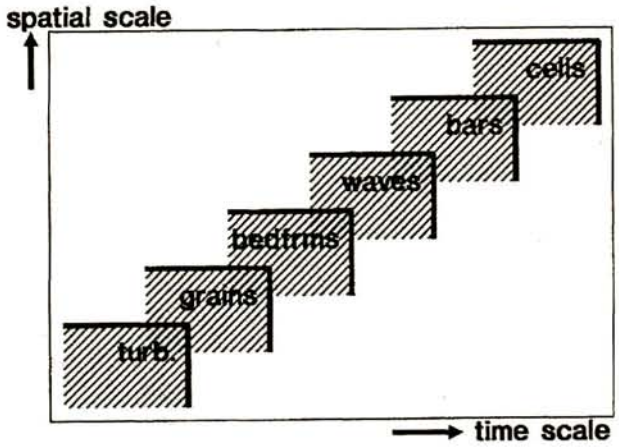


Figure 3 Scale cascade after de Vriend (1998).

Scale interactions
Different processes can have dynamic interactions when they operate on more or less the same spatial and temporal scales. Processes on a very small scale appear as noise in the interactions with processes on larger scales, but they can also produce residual effects on larger scales (they should not be neglected!). Their effect can be accounted for by proper averaging procedures (upscaling). Processes on a much larger scale can be treated as slowly varying or constant features. They define scenarios for field parameters and extrinsic conditions when studying their effects on processes on smaller scales (downscaling). For example when considering sea level rise due to climatic change, the sea level can be assumed constant when studying the morphological developments within a decade, but not within a century. For hydromorphological modelling the combinations of processes operating at different scales have been treated by de Vriend (1991). They are referred to as techniques for *scale interactions*. These techniques cannot simply be extended to biology as well, due to the differences between the two disciplines.

3.4 Characterization of estuaries and tidal basins

3.4.1 Introduction

The importance of characterizing tidal water systems on thier hydromorphological aspect using some quantifiable key-parameters lies in the potentiality for:

1. a quick description of the water system under study, which is simply given by its position in a classification scheme or graph;
2. the rough assessment of the morphological changes caused by the modification of one or more key-parameters, which can be extracted from the change of position within the classification scheme or graph.

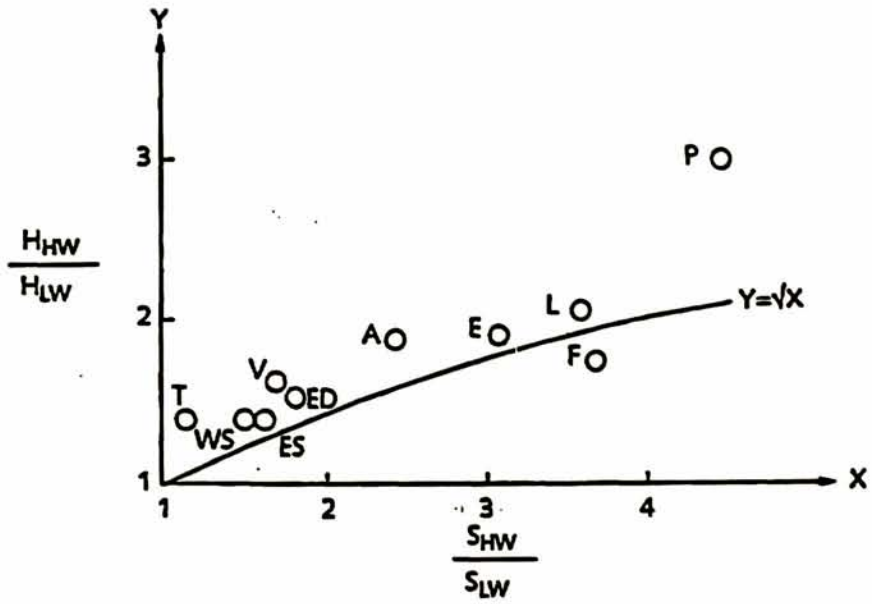
The classification of a water system as a whole is here referred as *mega-scale characterization*. The change of position within the classification scheme of a considered tidal basin or estuary can be regarded as the quantification of changes of its *morphological quality* occurring at the mega-scale. We suggest to consider the work of Dronkers (1998) as the basis for the development of a mega-scale characterization of the Dutch estuaries and tidal basins, see 3.4.2.

Characterization can regard also single parts of a water system. This allows for a deeper insight into the considered system, since a single part of the system can change due to the modification of one or more key-parameters, without necessarily changing the character of the whole system. The classification of parts of the systems is here referred as *macro-scale characterization*. This type of classification has been recently carried out for the non-tidal reaches of the Dutch Rhine branches (Schoor et al., 1999) and is currently extended also to the reaches which are influenced by the tide (Middelkoop & Schoor, 2000). For the extension of this to the tidal basins we suggest to consider the recent works of Seminara & Tubino (1996) and Schuttelaars (1997), as well as the approach of Dronkers (1998).

The typical spatial scale of single ecotopes/physiotopes on intertidal areas is the hundreds of meters (surface up to hundred hectares). For their classification we advise to consider the parameters listed in Table 1 (or a selection of them which is supported by data) and the methodology adopted by Crosato et al. (1999) for the definition of the class boundaries to be used to discriminate them from each other. The classification of single tidal channels, which occur at the same spatial scale as the single ecotopes/physiotopes, can be based on the work of Jeuken (2000). Both approaches deal with *meso-scale characterization*.

3.4.2 Mega-scale characterization

Dronkers (1998) and de Vriend et al. (1998) developed a theory based on the definition of morphological equilibrium of which the results can be used to characterize tidal basins based on two simple parameters, the *ratio between high water depth and low water depth* and the *ratio between high water surface and low water surface*. His approach can be used for a first characterization of the systems and can give also an indication on their being in morphological equilibrium or not.



ED = Ems Dollard, L = Lauwers inlet, F = Frysian inlet, P = Pinke inlet, A = Ameland inlet, V = Vlie inlet, E = Eijerland inlet, T = Texel inlet, WS = Western Scheldt, ES = Eastern Scheldt.

Figure 4 Relation between depth and surface of channels for the Dutch tidal basins after de Vriend et al. (1998).

This approach can be used for both mega-scale (whole tidal basin) and macro-scale (parts of a tidal basin) characterizations.

3.4.3 Characterization of river reaches and theoretical morphodynamics

A recent trend in river management in the Netherlands is to create secondary channels in the floodplains with the purpose of reducing extreme flood levels and restoring nature. Key physical parameters, as well as historical data, provide clues on the suitability of river reaches for secondary channels. This is the essence of a geomorphological and ecological classification for non-tidal reaches of the Dutch Rhine branches, recently developed by RIZA, Alterra and WL | Delft Hydraulics (Maas et al, 1997; Lambeek & Mosselman, 1998; Schoor et al, 1999). Currently this classification is being extended to reaches of the tidal rivers of the Dutch Northern Delta Basin (Middelkoop & Schoor, 2000).

The classification of non-tidal reaches of the Dutch Rhine branches is based on:

- identification of former geomorphological and ecological units on historical maps;
- reconstruction of historical values of physical parameters from historical maps, cross-sections and water level records;
- calculation of present values of physical parameters using the one-dimensional computer model SOBEK.

The physical parameters are combined into key-parameters for a classification diagram. The appropriate key-parameters have been selected by considering that macro-scale river patterns depend basically on three factors: flow strength, sediment transportability and bank strength (Schumm, 1985; Ferguson, 1987). The balance between bank strength and flow strength can be represented by the *width-to-depth ratio* of the summer bed. The balance

between flow strength and sediment transportability can be represented by the *Shields parameter*, which is an indicator of the *degree of morphodynamic activity*. It appeared, however, that using *stream power* instead of the Shields parameter gave the same results, which means that differences in sediment transportability are not important for the identification of distinct reaches of the Dutch Rhine branches. Stream power is an indicator of the *degree of hydrodynamic activity*. Figure 5 shows the resulting classification diagram. It includes zones of different bar types, which have been derived from theoretical morphodynamics (Struiksma et al, 1985; Colombini et al, 1987; Struiksma & Crosato, 1989). The occurrence of certain geomorphological and ecological units appears to be correlated with these bar-type zones:

- Zone D. River reaches with only *steady local bars* caused by geometrical constraints (a change of curvature, a groin).
- Zone C. River reaches with *steady bars* caused by geometrical constraints. In this case the influence of the geometrical constraint is felt also downstream, in the form of alternating pools and shoals (Crosato, 1990).
- Zone B. River reaches with *steady bars and migrating alternate bars* in their straight reaches. The migrating bars are due to an inherent morphodynamic instability.
- Zone A River reaches with *migrating alternate bars and steady islands* in the middle of their straight reaches. The reaches with side channels and islands are therefore expected to belong to class A.

Schoor et al. (1999) replace the descriptions of the different bar types by labels of "very low", "low", "intermediate" and "high" morphodynamics. In this context, high morphodynamics does not refer to active erosion and sedimentation but to a high degree of *spatial heterogeneity*. In this definition of "morphodynamics" no temporal variations are involved: a more heterogeneous reach does not necessarily have a higher dynamical behaviour.

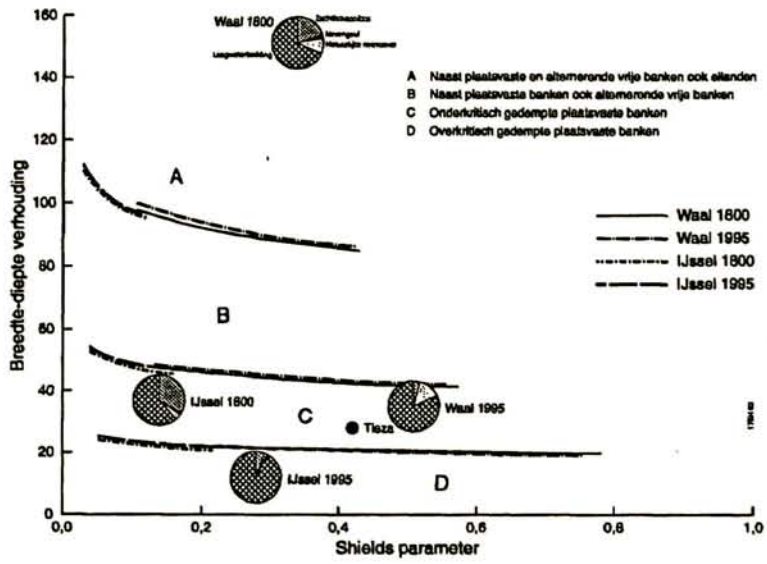


Fig. 6.2 Classificatie van riviertrajecten in relatie tot de indelingskenmerken breedte-diepteverhouding en Shields parameter

Figure 5 Classification diagram for non-tidal reaches of the Dutch Rhine branches.

From Figure 5 it is evident that the most recent situations belong to zones D or C, which are characterized by less heterogeneity. This is due to river canalization.

Other studies that are worth mentioning here as examples of studies that have been carried out for riverine systems and which are similar in their aims to those in RUIMTECOL, are the studies "Water Mondriaan" and "Morfologie Natuurlijk". The "Watermondriaan" was a method set up to visualise the developed methodologies for evaluation of physiotope development (see http://waterland.net/rikz/wsv/waterdialoog/mondriaa.htm). The Water Mondriaan is a schematic map of the water systems in the Netherlands. The colours in the Water Mondriaan provide the user with an overview of the condition of the Dutch 'water' input (see Figure 6). The way the "Watermondriaan" has been set up forces the policy developer to think about the usage of a target descriptor as a method of assessing the quality and development of a physiotope. The second study worth mentioning is "Morfologie Natuurlijk". This study was carried out by Schoor & Sorber (1998) and addressed the issues of which morphological processes form certain natural elements within the riverine system and whether these processes can still be of influence following certain measures. The report specifies where these processes still occur and how they may be stimulated.

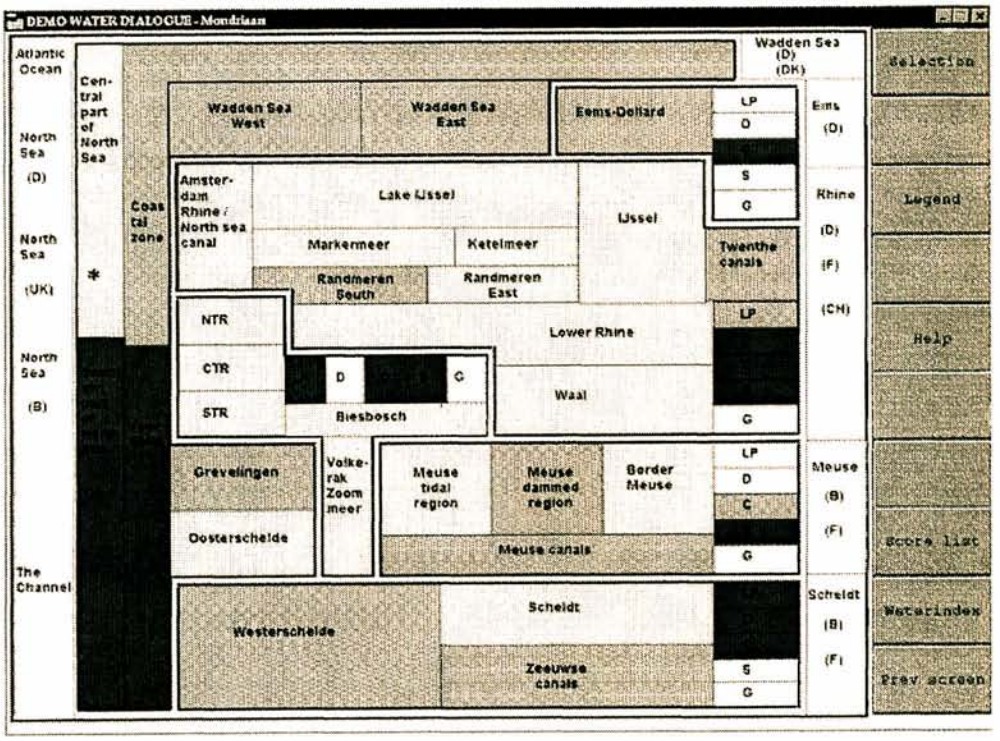


Figure 6 The Water Mondriaan: a schematic map of a Dutch water systems (see http://waterland.net/rikz/wsv/waterdialoog/mondriaa.htm)

3.4.4 Extension of the approach to tidal areas

Extension of the classification to reaches of the tidal rivers of the Dutch Northern Delta Basin is a current topic of research (Middelkoop & Schoor, 2000). At this moment, the *ratio*

of river discharge volume to tidal volume is thought to be the most promising additional key-parameter, since this parameter is correlated with slack water occurrence, salinity, stratification and silt concentrations.

Another approach for the identification of meaningful classification parameters is to *select key-parameters from theoretical morphodynamics*. Seminara (1994, 1998) presents good reviews of the present state of the art. Recently he has advanced the theory of estuarine morphodynamics, finding that *width-to-depth ratio*, *tidal range-to- depth ratio*, *Shields parameter*, *grain diameter-to-average depth ratio* are the key-parameters (Seminara & Tubino, 1996, 1998).

The essence of theoretical morphodynamics is that *techniques of mathematical analysis* are applied to the physical laws of nature, regarding water flow and sediment transport. In these techniques, the bed topography and the associated flow field of a channel are seen as combinations of undulations in longitudinal and transverse direction. This way of thinking includes also the possibility of having a flat bed and a straight flow, when all the undulations have zero amplitude.

The mathematical techniques yield information on *size* (wave length in transverse and longitudinal direction and, if a non-linear analysis is carried out, also amplitude), *growth rate* and *travel speed* (celerity) of these undulations.

The *growth rate* is the speed of the morphological changes in the vertical direction. Every type of undulation, which is distinguished by its *wave lengths* (or *wave numbers) in transverse and longitudinal direction* (see Figure 7), has its own growth rate. The wave number in transverse direction (cross-section) is normally indicated with the term "mode", see Figure 7. The growth rate can be computed as a function of the key-parameters listed above. The *growth rate* is an indicator of whether the considered perturbations of the bed (undulations with an extremely small amplitude) can indeed develop into a series of shoals (bars). The term "bar" is used in river morphodynamics and has a similar meaning as "shoal", term typically used for the estuarine systems. Positive growth rates imply that a flat alluvial bed is *unstable* and develops into the corresponding undulations, forming a series of shoals. Negative growth rates imply that a flat alluvial bed is *stable,* that is the considered perturbations are suppressed. Zero growth implies that the perturbation remains unchanged in its amplitude, while it might migrate along the channel. It is possible that a channel is stable for any kind of undulation. This is a situation comparable to that of the river reaches of zone D of Figure 5.

Celerity should not be confused with growth rate. Celerity is the speed of migration of the shoals/bars along the channel. The undulations can develop in the vertical direction and become a series of shoals even when their celerity is zero. In this case the shoals remain in the same position and do not migrate (steady shoals).

Seminara & Tubino (1996, 1998) performed a theoretical analysis to investigate the formation of shoals in estuarine channels due to system instability, "free bars". "System" indicates the union of flow, sediment motion and bottom dynamics. Seminara &Tubino do not deal with shoals which form due to strong geometric changes, which they call "forced

bars", such as the shoals which are formed inside channel bends or next to a groin, for this we refer to Crosato (1990).

The analysis of Seminara & Tubino is applicable to single parts of an estuary having length of the same order of magnitude of the width (hence less then ten times the width), that is the macro-scale. Their assumptions are:

1. the estuary has a slowly varying width;
2. the estuary has an infinite length;
3. the bottom is cohesionless;
4. the sediment is transported as suspended load (mainly) and as bed load;
5. the flow is due to a symmetric tidal wave (no residual current, no river discharge);
6. the banks of the estuary are fixed;
7. the interactions between the channel and the adjacent intertidal areas are disregarded.

All these assumptions lead to a strongly simplified model, where nevertheless the major parameters affecting the morphological behavior are retained.

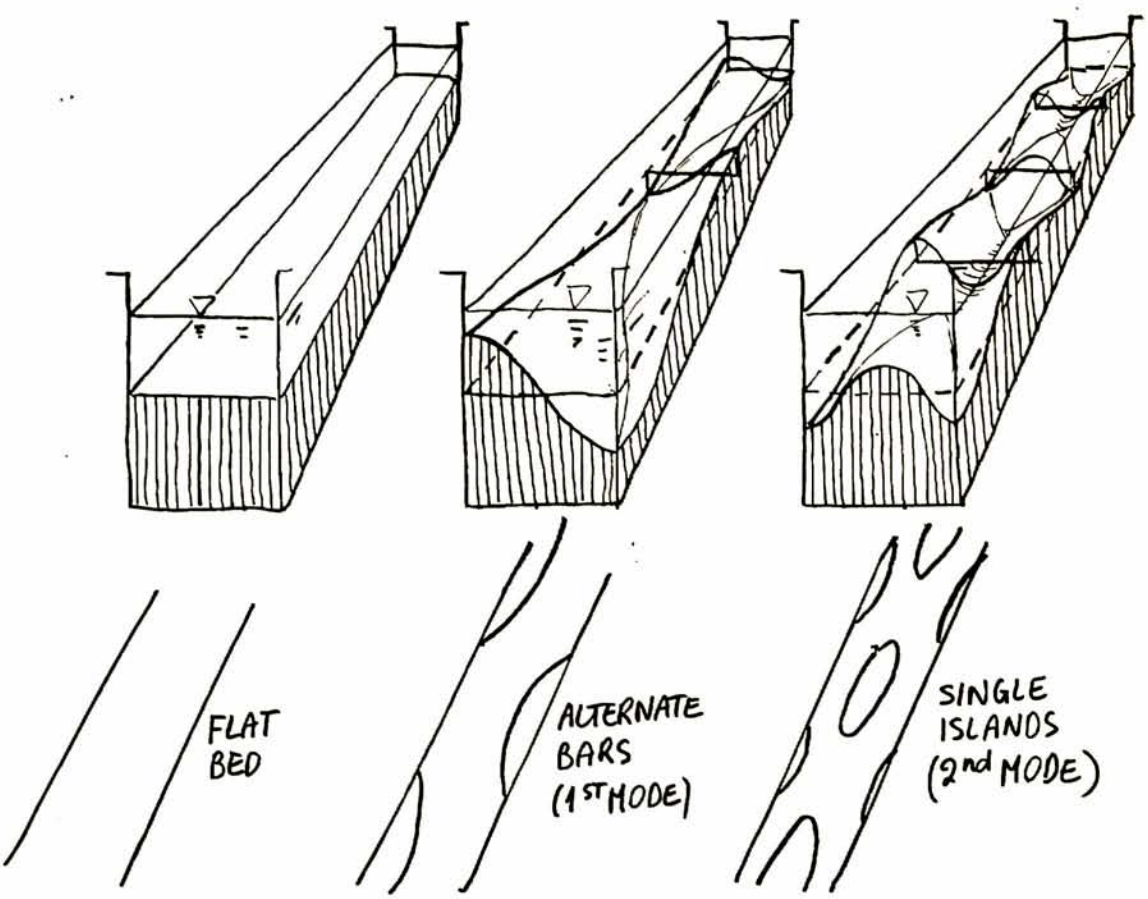


Figure 7 Schematisation of channel bed.

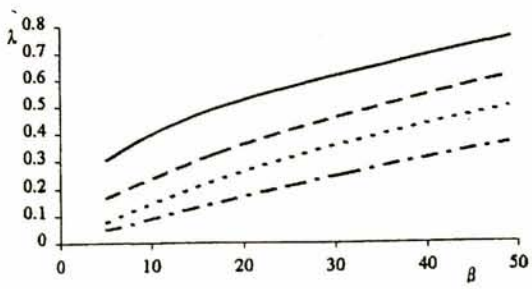
Seminara & Tubino determined the growth rate of the undulations of the alternate-, and braid- bar type in an analytical way. With the growth rate, they determined also the wave lengths of those undulations which are unstable and tend to grow, as a function of the following key-parameters: *width-to-depth ratio*, *tidal range-to- depth ratio*, *Shields parameter*, *grain diameter-to-depth ratio*. Their work is based on a linear analysis, in which

"alternating shoals/ bars" are indicated with mode m=1, "single islands" with mode m=2 (see Figure 7), "single islands together with bars" with mode m= 3, "multiple islands" with mode m > 3. In general undulations having mode equal to/larger than two are by them referred as "braid-bar undulations".

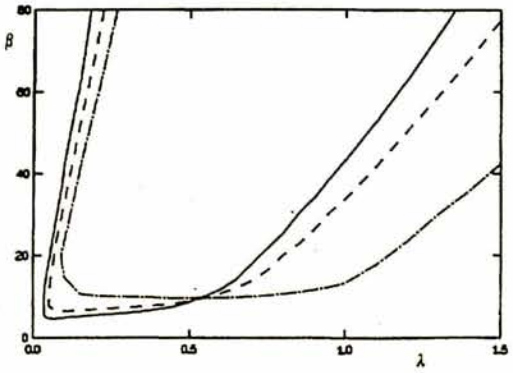
The results of Seminara & Tubino can be summarized as follows.

- The governing parameter is the *width-to-depth ratio*: β, the larger is β the more the system is unstable and tends to develop undulations, the larger is β the higher is the mode of the undulations which have the tendency to develop. Summarizing, with increasing width the system shows an increasing morphological heterogeneity.
- The undulations do not migrate, which was to be expected, due to the assumption of a symmetric tidal wave without river discharge. Seminara & Tubino expect migration when the flow has a preferential direction (tidal wave asymmetry or presence of river discharge).
- The net growth of the unstable undulations (or decay, if stable) occurs over several tidal cycles.
- The form of sediment transport plays an important role: for dominant suspended load (large values of the maximum value of the Shields parameter, or "maximum Shield stress", θ_0) the system tends to be unstable, i.e. undulations tend to form also for relatively small width-to-depth ratios, but they have longer wave lengths, sometimes too long to be able to develop. For dominant bed load the system presents a critical value of the width-to-depth ratio, below which no instability occurs.
- Important parameters are also: the *tidal range-to depth ratio* and the *main diameter-to-depth ratio*. The first is reflected in the maximum Shield stress, the higher the tidal range the higher the Shields stress (see above). However the parameter tidal range-to-depth ratio cannot fully replace the Shields parameter and for this reason both parameters should be considered. The main diameter-to-depth ratio partly counterbalances the effects of Shields stress.

Seminara & Tubino provide *stability curves*, establishing a relation between undulations, indicated by their mode and wave number in longitudinal direction, λ, and the channel width-to-depth ratio, β. The lines indicate stability, see Figure 8. In general for every reach of the estuary a different graph should be made, with a single value of the maximum Shield parameter, that is the mean value of the reach under study. In this case the graph contains one line only.



A
The wave number in longitudinal direction, λ , of undulations of the alternate bar type (mode 1) characterized by maximum growth is plotted versus the width-to-depth ratio for the following Shield stress values:
—— $\theta_0 = 0.2$
----- $\theta_0 = 0.5$
..... $\theta_0 = 1.0$
-.-.-. $\theta_0 = 2.0$
The particle Reynolds number is equal to 4
The diameter-to-depth ratio is equal to 10^{-4}



B
Stability curves. The lines indicate the zero growth rates of undulations of the alternate bar type (mode 1) having wave number in longitudinal direction λ as a function of the width ratio, for different values of the Shield stress:
—— $\theta_0 = 0.1$
----- $\theta_0 = 0.8$
-.-.-. $\theta_0 = 0.55$
The particle Reynolds number is equal to 4
The diameter-to-depth ratio is equal to 2×10^{-5}
Inside the curves the system is unstable, outside it is stable. The undulation which most probably develops is the one having the highest growth rate (see above). Below a certain value of the width ratio the system is always stable. The other modes exhibit similar curves, characterized by higher values of the width ratio (they develop for higher values of the width ratio).

Figure 8 Stability curves and maximum growth rates after Seminara & Tubino (1998).

The model of Seminara & Tubino can best be applied to *long estuaries* having a funnel shape, such as the Western Scheldt, even though it retains aspects that operate also in closed tidal basins, such as the Wadden Sea (see below).

In the most eastern part of the Western Scheldt we can observe the absence of instability bedforms ("free bars"), here only shoals inside channel bends are present. This type of shoals is due to strong geometrical changes, such as bends, and not to instability. Moving westwards the channel presents increasing levels of instability, starting with the development of alternating bars (mode 1), which is followed by the formation of single islands (mode 2). The wider western parts of the Western Scheldt show single islands with bars (mode 3). The theoretical results of Seminara & Tubino support this behavior, which is governed by the widening of the estuary.

Schuttelaar & Swart (1999) developed a model to study inherent instability in tidal basins of finite length which operates at the same spatial scale. Their model adopts similar techniques as that of Seminara & Tubino (1996, 1998), but instead of a channel infinitely long with a slowly varying width they assumed that:

- the length in landwards direction of the tidal basin is short when compared to the tidal wave-length.

The assumptions 2 (no width changes), 3, 4, 5, 6 and 7 of Seminara & Tubino apply also for the model of Schuttelaar & Swart.

The model of Schuttelaar & Swart is complementary to that of Seminara & Tubino, since it considers those basins in which the tide cannot indefinitely propagate, such as the tidal basins of the Wadden Sea. Their work can therefore give an insight on the role of the length of the tidal basins and on the effects of size reduction on the morphological character of a tidal basin. Unfortunately Schuttelaar & Swart do not provide analytical solutions of the equations describing the effects of the governing parameters on growth rate and wave lengths, since they studied the effects of the various parameters in a computational way. It is therefore difficult to deeply analyze the effects of the single parameters in the context of the formation of shoals and channels. Their computational results on the Frisian inlet (Wadden

Sea) confirmed that an instability phenomenon is the responsible for the formation of the braiding of shoals and channels within the tidal basin. They found that

- the *width-to-length ratio* is an important parameter for the description of the local morphology, since it determines the mode of the unstable undulations;
- other parameters contribute to the mode of the unstable undulations, they are:
  the parameter representing the energy dissipation averaged over the tidal cycle, r;
  the parameter which weights the bed load with respect to suspended load, λ;
  the parameter which weighs the grain size, δ;
- similar to that of Seminara & Tubino their model simulates shoals which do not migrate;
- the non-linear model developed by Schuttelaar (1997) simulates channel bifurcation near the sea-side of the tidal basin when more modes are unstable. This bifurcation seems to be caused by a self-organizing character of the system and not by extrinsic conditions.

The parameter r is comparable to the tidal range-to-depth ratio of Seminara & Tubino, the parameter λ to the maximum Shields stress, θ_0 (which also weighs bed load to respect to suspended load transport), the parameter δ to the main diameter-to-depth ratio. The work of Schuttelaar & Swart do not give any insight into the role of the width-to-depth ratio, since they did not test the effects of changing the average water depth while keeping the length and the width of the tidal basin as constant. Furthermore they performed no computational tests on the role of the tidal range. Summarizing, the work of Schuttelaar & Swart adds one important parameter to the list of the parameters to be taken into account for the macro-scale characterization of tidal basins, that is the *width-to length ratio*.

If we analyze in a *very rough way* the morphological characteristics of a typical tidal basin of the Wadden Sea, the first characteristics that we should consider are: the finite length of the basin and the sudden change of the inlet channel width at its inner and outer sides. Both features invalidate the strict application of the theory of Seminara & Tubino, but based on their results, together with those of Schuttelaar & Swart, and considering analogies with rivers we can assume:

- the absence of instability and therefore of bars/shoals inside the inlet channel, if this is narrow enough. This assumption is based on considerations on the low width-to-depth ratio and on the predominant bed load transport within the inlet;
- the existence of shoals due to strong changes of geometry (forced bars) at the inner shore of the barrier islands. The abrupt change of geometry can also force the development of other shoals within the tidal basin (for an analogy with rivers we refer to Crosato, 1990);
- the initial bifurcation of the inlet channel (Schuttellar, 1997);
- a strongly heterogeneous character of the morphology within the tidal basin, due to the very high width-to-depth ratio, where a "multiple island configuration" should be expected.

Summarizing the parameters which have been found relevant for the characterization of the tidal basins at the macro scale are:

- WIDTH-TO-LENGTH RATIO
- WIDTH-TO-DEPTH RATIO
- TIDAL RANGE-TO-DEPTH RATIO

- MAXIMUM SHIELD STRESS
- MAIN DIAMETER-TO-DEPTH RATIO.

3.4.5 Scour near dikes and tendency towards a single channel system.

Bank stabilisation leads to deeper bend scour (narrowing due to stopping of channel migration is one of he possible mechanisms). The phenomenon has been experimentally studied by Friedkin (1945), see Figure 9 for the river Mississippi and observed in nature by Nanson & Hickin (1983). Near the dike where the extra scour is formed the velocity increases (Mosselman et al. 2000). The channel conveys more and more water in its deeper part, while the secondary channels (if any) at other side convey less water and tend to silt up.

Van Veen (1950) also noted a general tendency of channel deepening near stabilised banks. He ascribes this deepening to bank turbulence.

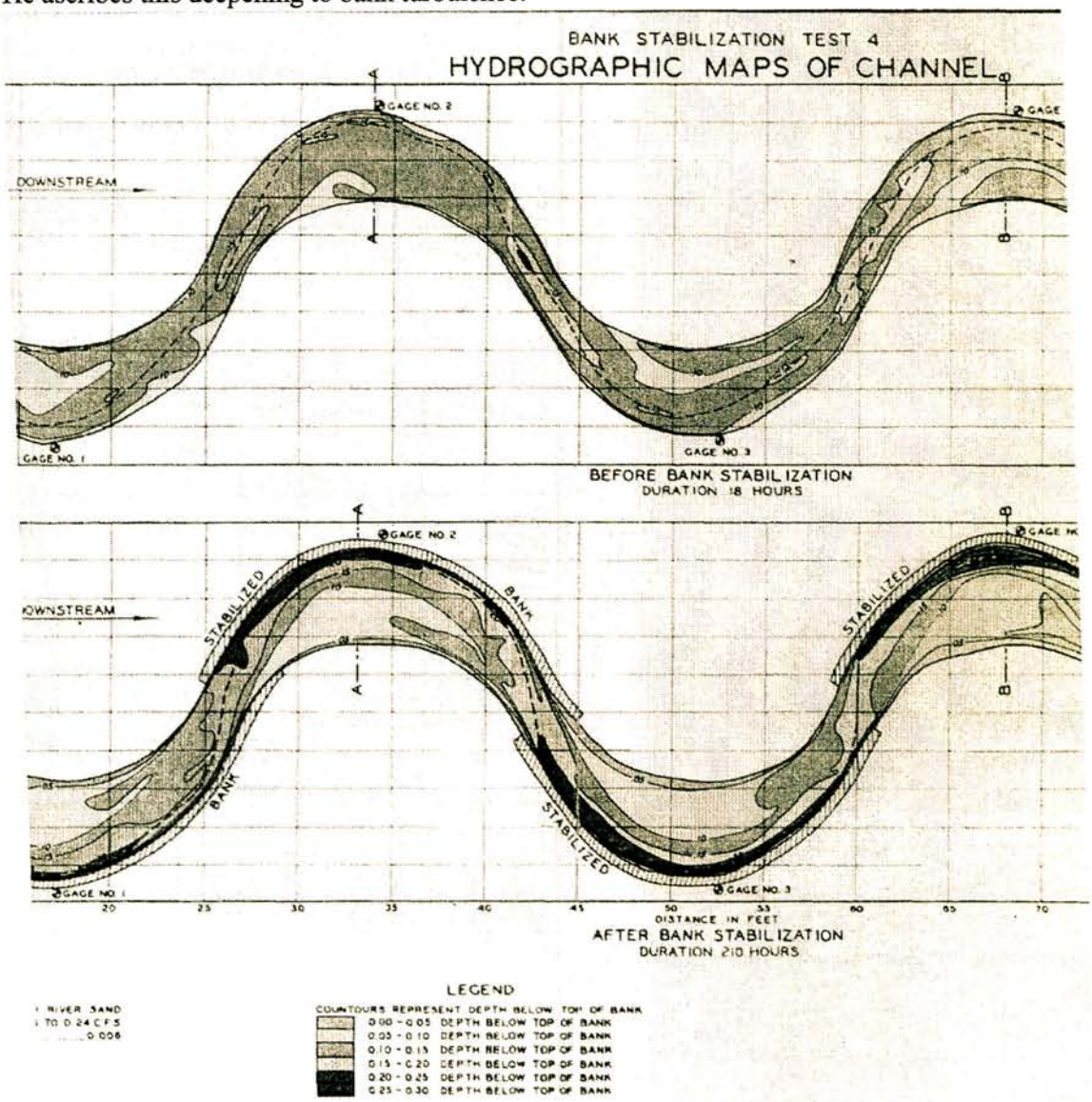


Figure 9 Scour caused by embanking, results of flume tests carried out by Friedkin (1945)

4 Interviews

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste resultaten van de interviews die in het kader van het project zijn gehouden. De aanpak van WL was om onder andere door middel van interviews met gerichte vragen, de kennis, meningen, suggesties, etc. van deskundigen te inventariseren. Tijdens de interviews werden de volgende invalshoeken gehanteerd (die konden dienen als leidraad door de vragen):

- historische analyse voorkomen van fysiotopen en bijbehorende fysische karakteristieken in een bepaald systeem (de geschiedenis van de geologische vorming kan als indelingsprincipe dienen (Leewis, Dankers en Jong 1998);
- analyse van verschillende estuaria, aldaar voorkomen van fysiotopen en bijbehorende fysische karakteristieken;
- successie/cyclus van fysiotopen;
- analyse van externe forcing: natuurlijk (meteo, getij), antropogeen zacht (baggeren/-storten), antropogeen hard (bedijking).

In de interviews zijn de vragen zo geordend en gesteld dat ze op deze invalshoeken ingaan, zodat de vragen niet alleen resulteren in een lijst van sturende fysische factoren, maar ook de onderlinge weging en wisselwerking worden meegenomen. De vragen werden in drie thematische groepen ingedeeld:

1. algemene vragen over de fysische factoren en processen, die sturend zijn in de vorming van fysiotopen in zoute ecosystemen
2. vragen over gebiedsspecifieke kennis
3. vragen met betrekking tot ecotopensystemen

In Bijlage 1 worden de vragen opgesomd zoals die schriftelijk aan de deskundigen zijn gesteld. In Bijlage 2 wordt er een overzicht gegeven van de antwoorden op deze vragen. Hierin worden de directe antwoorden per vraag weergegeven. Vervolgens volgt hieronder een analyse van de antwoorden uit de schriftelijke interviews en de besprekingen die met overige deskundigen tijdens plenaire sessies zijn gevoerd en de daaruit volgende conclusies.

Er zijn vier plenaire sessies geweest waarbij de volgende deskundigen werden geïnterviewd:

- RWS-RIKZ - Haren: Wim Wolff, Albert Oost, Herman Mulder en Mindert de Vries
- RWS-RIKZ - Middelburg: Peter Hermans, Fred Twisk, Dick de Jong, Tammo Bult, Mindert de Vries en Sharon Tatman
- RWS-RIZA - Lelystad: Noël Geilen, Joost Backx en Mindert de Vries
- ALTERRA - Wageningen: Henk Wolfert en Mindert de Vries

4.1 Analyse van de interviews

De interviews waren vooral bedoeld om erachter te komen waar de eventuele benodigde kennis aanwezig is en om deze kennis te inventariseren. Bovendien waren de interviews een belangrijk instrument voor het proces van conceptvorming gedurende het project.

Een eerste algemene conclusie kan direct worden afgeleid uit de resultaten van de interviews. De vragen werden door biologen en morfologen beantwoord. Er was duidelijk te zien dat beide groepen deskundigen wat moeite hadden met de vragen uit de andere discipline. Bijvoorbeeld de morfologen hadden moeite met het beantwoorden van de vragen gegroepeerd onder het thema Ecotopensysteem. Hoewel dit natuurlijk niet een verrassende conclusie is, blijkt hier wel uit dat een dergelijk project en vraagstelling als RUIMTECOL, met een hoog multidisciplinaire gehalte, toch conceptueel moeilijk is te doorgronden.

4.1.1 Algemene kennis

Een belangrijk doel van dit project was het identificeren van relevante fysische factoren die sturend zijn voor de vorming van fysiotopen. Over het algemeen waren de deskundigen het er over eens dat de meest belangrijke fysische factoren in de vraagstelling al waren genoemd, i.e. gegroepeerd onder hydrodynamica, morfodynamica en zoutdynamica. Een toevoeging door een deskundige betrof een uitbreiding van de categorie morfodynamica met de 'morfologische karakterisering' van een systeem. Hierbij kan een systeem worden gekarakteriseerd op basis van (de aanwezigheid van):

- één/meer-geulenstelsel, vorm van het geulsysteem: parallel georiënteerde (Westerschelde, Eems Dollard, Oosterschelde) of vertakkende geulen (Wadden zee inlets);
- Relatieve areaal ondiepwatergebied, intergetijdegebieden, schorren. Waarschijnlijk hebben systemen met vertakkende geulpatronen een relatief groter areaal intergetijdegebied;
- Ligging van de fysiotopen ten opzichte van het geulstelsel: gelegen naast een binnenbocht (sedimentatie) of buitenbocht (erosie) van een geul. Daarmee samenhangend:
- het voorkomen van geulmigraties en de opbouw/afbraak van intergetijde gebieden.

Een ander punt dat hiermee samenhangt is de karakterisering van de getijgolf (staand, lopend, gedeeltelijk staand) en de stroom-asymmetrie op de platen en opbouw van intergetijdegebieden. Zowel de morfologische als de getijgolf karakterisering kunnen als grootschalige randvoorwaarden voor fysiotopen worden gezien die per systeem kunnen verschillen.

Het streven is om een generieke methodiek te ontwikkelen. Tijdens de plenaire sessies kwam dit streven vaak naar voren, hoewel er tegelijkertijd werd onderkend dat het waarschijnlijk erg moeilijk zal zijn om een generiek systeem te ontwikkelen dat bijvoorbeeld in zowel de Westerschelde als de Waddenzee toepasbaar is. Om een voorbeeld te geven, werd het belang van golfwerking genoemd. In de Waddenzee heeft de golfwerking mogelijk een belangrijker effect dan in de Westerschelde, omdat het systeem 'smal' is geworden. Daarentegen hebben winterse stormen wel grotere effecten op de morfologie in de Westerschelde. Om deze, en alle andere effecten generiek te maken, moet je de juiste parameters identificeren en kwantificeren.
Een mogelijke oplossing in het streven om een generieke methodiek is om zoveel mogelijk met geaggregeerde parameters te werken om het geheel overzichtelijk te houden en de

graadmeters zo generiek mogelijk te maken. Bijvoorbeeld door een vertaalslag van stroomsnelheden en golfwerking naar bodemschuifspanning te maken (ook al impliceert dit het maken van aannamen). Energie dissipatie snelheid is nog een voorbeeld van een geaggregeerde parameter welke meetbaar is (weliswaar indirect) en een zeer bruikbare parameter blijkt te zijn in de bestudering van biogeomorfologie (oftewel de interactie tussen de biologie en sturende fysische factoren).

Er was onduidelijkheid over het begrip dynamiek tijdens de plenaire sessies. Er werd gewaarschuwd voor de verschillende betekenissen en gebruik van de term 'dynamiek'. 'Dynamiek' wordt vaak gebruikt voor de omschrijving van de korte termijn stabilisatie van het substraat (bijvoorbeeld zoals gebruikt door proces-morfologen) waarbij het substraat op een tijdsschaal van een dag grote veranderingen kan ondergaan (i.e. het heeft een hoge *bruto* dynamiek). Maar het is tevens mogelijk dat er op een langere termijn geen netto veranderingen in het systeem te vinden zijn (*netto* dynamiek = 0). Het werd duidelijk dat het begrip 'dynamiek' goed omschreven moet worden en het gebruik van begrippen zoals 'hoge' of 'lage dynamiek' door alle deskundigen (over alle disciplines) vanaf het begin duidelijk afgesproken moeten worden.

4.1.2 Gebiedsspecifieke kennis

Over het algemeen was men het erover eens dat de morfodynamiek en hydrodynamiek de meest belangrijke factoren waren voor de sturing van fysiotopenvorming in alle gebieden die betrekking hebben op dit project.

Een nevendoel van de interviews was om zoveel mogelijk gebiedsspecifieke kennis te inventariseren. Vooral voorbeelden van antropogene factoren die de biologie beïnvloeden zijn belangrijk voor dit project. Voorbeelden (en bijkomende vragen) die werden genoemd en bediscussieerd tijdens de interviews waren onder meer:

- de garnalen visserij heeft in het Duitse wad de *Sabellaria* riffen vernield en ze komen al lang niet meer voor op het Nederlandse wad. Deze verstoring van bodemleven door de visserij is mogelijk niet reversibel. De verdwijning van de mosselbanken in het wad hebben niet tot meetbare effecten op bijvoorbeeld het zwevende stofgehalte geleid. Onbekend is wat de uitgebreide zeegrasvelden voor invloed op de omgeving in de Waddenzee hebben uitgeoefend.
- de aanleg van de afsluitdijk heeft een impact gehad op de morfologie. Leidt dit tot vorming van kwelders bij Harlingen?
- de impact van baggeren is gering in de Eems-Dollard. Is dit wel meetbaar? Wat is er precies aan de hand in de Dollard? Is de erosie van de Dollard gerelateerd aan het baggerwerk?
- er is een impact door het vastleggen van de koppen van eilanden. De geulen kunnen zich nu niet meer verplaatsen en er is sprake van een soort cyclus in de afwisseling van neven- en hoofdgeulen.

Zoals blijkt zijn er nog veel vragen verbonden aan deze processen van menselijke beïnvloeding op de biologie. Men was het erover eens dat het erg moeilijk zal zijn om deze antropogene effecten met behulp van graadmeters te vertalen. Een volgend probleem dat tijdens de interview ter sprake kwam is de koppeling van onnatuurlijke (menselijk handelen) en natuurlijke factoren die fysiotopenvorming bepalen binnen het geheel aan

processen. Menselijk ingrijpen in systemen (bijvoorbeeld effect van schelpdiervisserij op de bodem) is soms moeilijk te kwantificeren en te vertalen naar practische tools of methodieken die ontwikkeld kunnen worden ten behoeve van het verkrijgen van graadmeters.

Een belangrijk aspect voor het ontwikkelen van een methodiek voor het evalueren van fysische graadmeters is de tijd- en ruimteschalen waarop de processen zich afspelen. Deze vraag werd ook uitvoerig bediscussieerd tijdens de interviews. Uit de (schriftelijke) interviews kwam over het algemeen naar voren dat voor de meeste fysische processen in de estuaria en kustzone een tijdsschaal van enkele maanden tot decennia en een ruimteschaal van een hectare tot enkele km^2 geldt. Deze tijd- en ruimteschaal komt overeen met de binnen de morfologie gehanteerde mesoschaal. Op deze schalen kunnen de belangrijkste processen die sturend zijn voor de fysiotopenvorming, zoals het ontstaan, migreren en verdwijnen van kortsluitgeulen, sedimenttransport over de platen, plaat-geul uitwisseling van sediment, enz. worden bestudeerd.

4.1.3 Ecotopensystemen

Tijdens de eerste plenaire sessies in RIKZ-Middelburg en RIKZ-Haren was de gedachte dat de vorm van de bodemtopografie de kans op het voorkomen en het type fysiotoop bepaalt. Deze gedachte leidde tot een introductie van het concept zoals afgebeeld in Figure 13. Uit de discussies over het concept volgden aanvankelijk de volgende stellingen:

- morfologische factoren en processen bepalen het voorkomen van fysiotopen;
- de vorm van de bodemtopografie bepaalt de verdeling van de oppervlakte van fysiotopen;
- de snelheid en richting van verandering van de bodemtopografie bepaalt de tijdsduur dat een fysiotoop bestaat op een bepaalde locatie;
- de schaal van het systeem bepaalt de morfologische tijdschaal en de schaal van de fysiotopen.

Uit deze stellingen werd afgeleid dat via de geologie en geometrie van de bodemtopografie (oftewel via een historische analyse van een gebied) de aard van de fysiotopen verder kan worden bepaald. Bovendien moet er goed nagedacht worden over ruimte- en tijdschalen; door interacties op verschillende schalen worden de oorzaak-gevolg ketens bepaald.

Tijdens de discussie bij RIKZ-Haren werd bevestigd dat het niet mogelijk is om op grond van de fysica alleen het voorkomen van soorten op een gegeven plaats en tijd te voorspellen. Immers, hiervoor spelen andere processen nog een rol (events, biologie-biologie interacties). Wat wel tot de mogelijkheden behoort is het aangeven van de kans dat een specifieke ecotoop binnen de randvoorwaarden van de fysiotoop kan ontstaan (gegeven de tijd- en ruimteschalen). Hoewel het wel klopt dat de biologie en events een rol spelen, zullen we er niet verder in detail hierop ingaan omdat het processen zijn die zich niet op de tijd- en ruimteschalen afspelen waarin we zijn geïnteresseerd.

Een uitzondering ligt misschien bij de interactie van de fysica en de biologie: er is vastgesteld dat ecotopen bij lage energie kunnen ontstaan maar die zelf ook de ontwikkeling van de bathymetrie kunnen beïnvloeden door (tijdelijke) stabilisatie van het sediment.

Hiervoor zijn aanwijzingen gevonden bij de interactie van de morfologie en stabiliteit van bodems op platen en de rol van vegetatie bij schor/kwelder-vorming.

Een suggestie was om op grond van nog te ontwikkelen graadmeters de kansen van voorkomen van fysiotopen te onderbouwen tegenover beheer- & beleidsmakers. De waarde/klasse van (een combinatie van) de graadmeters zegt iets over de aard van het gebied en kan worden geïnterpreteerd als een indicatie voor het aantreffen van bepaalde fysiotopen. Hiervoor is het noodzakelijk om de voor een graadmeter benodigde informatie op de juiste tijd- en ruimteschaal te leveren. Het gaat dan bij de beheerder met name om uitspraken op een tijdschaal van jaren tot enkele decennia voor een ruimtelijke meso-schaal. Om op deze tijd- en ruimteschalen graadmeters te kunnen kwantificeren zijn mathematische modellen nodig die de juiste parameter kwantificeren. Mogelijk is het model ESTMORF bruikbaar, maar tijdens de discussie in RIKZ-Middelburg werd er betwijfeld of het model op voldoende detail-niveau ontwikkeling van het systeem kan weergeven. Er werd gesuggereerd dat men, aan de hand van modellen, wel goede voorspellingen van evenwichtssituaties in een estuarium kan verkrijgen (weliswaar afhankelijk van de beschikbaarheid van goede historische data), maar dat we minder goede voorspellingen kunnen doen op tussenliggende tijdschalen .

Een bijkomend probleem van ESTMORF is dat het geschikt is voor de toepassing van berekening en voorspelling van de morfologie in geulen, maar minder geschikt voor gebruik op hoogwater arealen (platen), omdat een aantal processen ontbreken (met name invloed van vegetatie). Het is dus nog moeilijk om de effecten van bijvoorbeeld events en processen die veel invloed hebben op hoger gelegen gebieden goed te voorspellen. Bovendien worden golven ook niet gemodelleerd, waardoor de lokale effecten van golfslag niet worden geëvalueerd. Dit is mogelijk geen probleem op een ruimtelijke mesoschaal.

Om op een mesoschaal met behulp van één of meerdere graadmeters de kans op het voorkomen en de mogelijke grootte van de oppervlakte van een fysiotoop te schatten is dus een empirische basis nodig. In deze fase van de ontwikkeling van een methodiek is het allereerst noodzakelijk om de empirische basis voor graadmeters te identificeren (i.e. welke data is belangrijk?) en daarna een uitgebreide analyse te doen van de beschikbare historische data binnen een gebied. Een goede en praktische methode om de belangrijkste parameters te kwantificeren is beschreven in het project INTRMUD (Crosato et al. 1999). Hiernaast kan worden aangesloten bij het werk dat in opdracht van RIZA rond classificatie van geomorfologie van rivieren wordt verricht.

Tenslotte, op de vraag wat de deskundigen vonden van het doel van dit project reageerde men uiteenlopend. Sommigen vonden het inderdaad wel ambitieus en vonden daarom dat in de volgende fase, niet teveel onderscheidende graadmeters moeten worden geselecteerd en gekwantificeerd om toe te passen binnen een instrument. Het te ontwikkelen instrument moet vooral worden gebaseerd op graadmeters die makkelijk meetbaar zijn en al gemeten worden en er moet van bestaande mathematische modellen gebruik gemaakt worden. Verder vond men het een lastige, maar nuttige uitdaging, temeer er op dit moment geen soortgelijke studies of instrumenten in ontwikkeling zijn.

4.2 Conclusies van de interviews

Op basis van de discussies met de deskundigen en de analyse van de schriftelijke reacties werden de volgende conclusies getrokken.

Over het algemeen waren de deskundigen het er over eens dat de meest belangrijke fysische factoren, de hydrodynamische en morfodynamische factoren en processen zijn. Zoutdynamiek is minder van belang voor de sturing van fysiotopenvorming maar wel voor biologie

Het werd bevestigd dat het niet mogelijk is om op grond van de fysica alleen het voorkomen van soorten op een gegeven plaats en tijd te voorspellen. Bijvoorbeeld biologische interacties spelen in sommige gebieden ook een rol (bijvoorbeeld bij schor- en kweldervorming). Het zal waarschijnlijk wel mogelijk zijn om te bepalen wat de kans is dat een specifieke ecotoop binnen de randvoorwaarden van de fysiotoop kan ontstaan gegeven de tijd- en ruimteschalen van de belangrijkste processen. Maar biologische interacties zijn waarschijnlijk alleen belangrijk op kleinere tijd- en ruimteschalen, i.e. in tegenstelling tot de schalen waarin we in dit project zijn geïnteresseerd.

Met het gebruiken van de modellen als mogelijke instrumenten voor het ontwikkelen en toepassen van graadmeters zijn onderzoekers beperkt door de beschikbaarheid van de data en kennis. Mogelijk zijn beschikbare modellen bruikbaar, maar er is een analyse noodzakelijk van ontbrekende processen en bruikbaarheid binnen gewenste tijd- en ruimteschalen.

4.2.1 Schaalniveau

De definitie van tijd- en ruimteschaal was een belangrijk punt van discussie. Men was het erover eens dat de te gebruiken tijd- en ruimteschaal voor de uitwerking van een methodiek, het best overeen komt met de binnen de morfologie gehanteerde mesoschaal. Een geschikte tijdsschaal zou kunnen zijn tussen enkele jaren en enkele decennia. Op deze schalen kunnen de belangrijkste processen die sturend zijn voor de fysiotopenvorming worden bestudeerd.

Een belangrijke conclusie dat volgde uit de interviews was dat de schalen waarop we de graadmeters kunnen baseren (en dus de mate waarin de fysica, biologie of interacties ertussen een rol spelen) afhankelijk zijn van de vraagstelling; i.e. een beleidmaker is over het algemeen geïnteresseerd in een geheel watersysteem, waarbij een beheerder misschien meer is geïnteresseerd in een subgebied van bijvoorbeeld een estuarium. Pas als we de toepassing van een graadmeter weten, kunnen we beslissen welke en in welke mate biologische en fysische processen en parameters (en de te meten streefwaardes) meegenomen moeten worden in de ontwikkeling van de graadmeters. Het is dus goed mogelijk dat biologische processen, die weliswaar op een relatieve kleine schaal afspelen, toch belangrijk kunnen zijn en een onderdeel moeten vormen van de graadmeters.

Voorspellingen over de kans op voorkomen van fysiotopen op basis van in de Nederlandse kustwateren en estuaria kunnen voorlopig worden gemaakt met gebruik van modellen die op grove ruimte- en tijdsschaal worden toegepast. De potentie of kans op fysiotoopvorming

kan dan worden berekend door middel van het kwantificeren en classificeren van combinaties van graadmeters.

4.2.2 Methodiek

De methodiek moet het volgende omvatten:

- Definitie van mogelijk graadmeters;
- Onderbouwing van graadmeters door analyse van historische fysische en biologische gegevens en analoge systemen;
- Toepasbaar op morfologische mesoschaal of groter;
- Toepasbaar voor een tijdsschaal van jaren tot enkele decennia.

5 Workshop Ruimtecol

In dit rapport is tot nu toe beschreven wat de huidige staat van de kennis is aan de hand van een analyse van studies die in Nederland maar ook in het buitenland zijn uitgevoerd. Vervolgens is er tijdens de projectuitvoering getracht om met behulp van interviews deze huidige staat van de kennis verder aan te vullen en ideëen voor het ontwikkelen van een methodiek van één of meerdere graadmeters te krijgen. De volgende stap was het organiseren van een workshop waarbij is getracht de inzichten te toetsen en de aanpak van het project te toetsen.

De tekst in dit hoofdstuk is in grote lijnen het verslag van de workshop.

5.1 Inleiding Ruimtecol project

Aanleiding is het ontbreken van graadmeters die de kwaliteit van een watersysteem en de daaraan gerelateerde potentie voor fysiotopenontwikkeling van een gebied kunnen aangeven als basis voor beleidsvorming. Dit is in tegenstelling met bijvoorbeeld waterkwaliteit, waar vele graadmeters ter beschikking staan en waardoor het beleid kan worden aangestuurd (zie bijvoorbeeld vierde Nota Waterhuishouding). Doel van het Ruimtecol project is dan ook om dit in relatie tot fysiotopenontwikkeling in de komende jaren te realiseren. Door Jaap Graveland wordt ook de studie 'Morfologie natuurlijk' (Schoor & Sorber 1998) en de 'Water-mondriaan' (zie § 5.5) genoemd als mogelijk voorbeeld van bruikbare aanpak.

5.2 Opzet fase I (dit project)

Tot nu toe is een inventarisatie van kennis gemaakt en zijn interviews uitgevoerd. Dit heeft geleid tot een concept rapportage. Naar aanleiding van de conceptrapportage is gebleken dat nog sterk vanuit specifieke biologische randvoorwaarden is geredeneerd. Om te komen tot één of meerdere globale maatlatten, zou dit niet noodzakelijkerwijs de beste aanpak zijn. Om deze reden is opnieuw bekeken in de aanloop tot de workshop, in hoeverre er beschikbare concepten zijn die op grond van de fysische eigenschappen van een systeem mogelijk tot een bruikbare globale maatlat kunnen leiden die iets zegt over de potentie van een gebied voor fysiotopenontwikkeling. Deze maatlatten zouden idealiter voor elk willekeurig (zout water) getijdegebied moeten kunnen worden toegepast, op een ruimteschaal van hele watersystemen of grote delen daarvan (een getal voor de Waddenzee en/of voor elk afzonderlijk getijdebekken). De tijdschaal van de maatlatten is bepaald op het meten van veranderingen/processen die zich afspelen op een tijd van enkele jaren tot enkele decennia.

5.3 Huidige stand van kennis

Door Henk Wolfert is toegelicht op welke wijze door ALTERRA in samenwerking met onder instituten (o.a. WL) in opdracht van RIZA wordt gewerkt aan een geomorfologische

analyse van riviertakken om een uitspraak te kunnen doen over de potenties van het gebied voor fysiotopen. Op basis van een landschapsecologische benadering heeft ALTERRA door bestudering van historische veranderingen in het rivierenlandschap en kwantificering van daarmee samenhangende rivierkundige parameters een indeling van riviertakken voorgesteld. Deze indeling geeft aan of bepaalde morfologische processen kunnen optreden in specifieke riviertakken. Deze processen zijn gerelateerd aan vorm en beschikbare (stromings-)energie. De (mogelijk) optredende processen hebben vervolgens een betekenis voor de daar zich ontwikkelende natuur. Op dit moment wordt door ALTERRA in opdracht van RIZA de methodiek toegepast voor het benedenrivieren gebied, waar getij een rol speelt.

Door Alessandra Crosato is een uitwerking gepresenteerd van de kennis van WL op het gebied van biogeomorfologie. Hierbij werden enkele resultaten gepresenteerd van het INTRMUD-project, waarin onderzoek is gedaan naar de relatie tussen vorm en biologische functie van mudflats en de fysische omgeving. Hieruit werden belangrijke sturende factoren afgeleid. Alessandra presenteerde vervolgens de benadering van G. Seminara, die een stabiliteitsanalyse voor getijde systemen heeft uitgewerkt. Deze methodiek geeft een indicatie van de mogelijke morfologische vorm van een gebied op basis van morfologische en energie-beschikbaarheid karakteristieken (zie Seminara en Tubino 1998). De methodiek geeft een analyse van een eindsituatie en zegt niets over veranderingen in de loop van de tijd. Tenslotte werd door Alessandra een aantal voorbeelden aangereikt waarmee het belang van de schaalkeuze voor analyse van processen en data werd onderstreept.

Opmerkingen naar aanleiding van de beide presentaties

1. Methodiek van ALTERRA/RIZA is bruikbaar voor riviertakken, fysiotopen zeggen hier vaak iets over de te verwachten biologie als je de inundatie frequentie kent. Invloed van getij maakt de benadering waarschijnlijk meer gecompliceerd.
2. De stabiliteitsanalyse voor de Westerschelde van Schuttelaars (..) is mogelijk op de methodiek van Seminara gebaseerd (Seminara en Tubino, 1998).
3. In hoeverre zegt de morfologische vorm van een getijdegebied iets over de fysiotopen?
4. In hoeverre zeggen fysiotopen iets over de potenties voor ecologie? Is plaatoppervlakte een goede graadmeter? Voor wat?
5. Is er in andere landen ervaring opgedaan met toepassing van de Seminara-methodiek? (Seminara en Tubino, 1998)
6. Meetlat/Graadmeter is nodig op watersysteemniveau (zie ook bijvoorbeeld de Watermondriaan § 5.5).
7. Bepaalde natuur hoort bij bepaalde fysische omgevingen, meer dynamische processen is niet voor elk natuurlijk systeem gewenst. Immers, een van nature stabiel systeem heeft ook zijn eigen natuur met bijbehorende waarde (bijvoorbeeld Grevelingen). Dit houdt in dat een graadmeter geijkt moet worden aan een referentiebeeld van een vergelijkbaar systeem.

5.4 Resultaten interviews

Uit de interviews komen de volgende relevante opmerkingen naar voren:

- Meenemen antropogene factoren in de meetlatten:

De meetlatten moeten gevoelig zijn voor de antropogene verstoringen die in een systeem kunnen worden verwacht.

- Koppelen antropogene invloed aan fysische parameters:
  Het is hiervoor nuttig om na te gaan welke processen/parameters door welk type van antropogene verstoringen worden beïnvloedt.
- Fysische verschillen tussen systemen:
  Watersystemen verschillen onderling sterk in hun fysische eigenschappen door hun specifieke geometrie en verschillende randvoorwaarden. Een meetlat moet enerzijds voor verschillende systemen bruikbaar zijn en anderzijds kunnen worden gespecificeerd/gekalibreerd per systeem.
- Wat is 'dynamiek'?
  De dynamiek van een systeem is verschillend, afhankelijk van de tijd- en ruimteschaal waarop naar het systeem wordt gekeken. Dynamiek hoeft niet hetzelfde te worden 'gevoeld' door verschillende soorten en levensgemeenschappen. Het optreden van een getijcyclus in relatie tot stroomsnelheid en waterhoogte is een ander soort dynamiek dan het optreden van onvoorspelbare events zoals stormen. Dynamiek is een mate van variabiliteit in tijd van allerlei eigenschappen van een watersysteem.
- (On)bruikbaarheid van modellen:
  Sommige modellen zouden gezien hun tijd- en ruimteschaal bruikbaar kunnen zijn voor de kwantificering van een meetlat. Het is nog niet duidelijk in welke mate beschikbare modellen de noodzakelijke fysische parameters kunnen berekenen.
- Meetbaarheid van meetlat, empirische basis:
  Het belang van een meetlat die een empirische basis heeft, die kan worden getoetst aan historische ontwikkelingen door middel van beschikbare data mogelijk aangevuld door modelberekeningen wordt door de geïnterviewden onderstreept.
- Biologische – fysische interacties:
  Op het niveau van watersystemen wordt niet verwacht dat de biologie een rol speelt in de aansturing/bepaling van de fysische eigenschappen van het systeem en dus van de waarde van de meetlat. Echter, naarmate de ruimteschaal van de toepassing kleiner wordt neemt mogelijk de waarschijnlijkheid en de sterkte van deze interactie toe. Een vraag daarbij is of een grootschalig proces als verlanding alleen met behulp van vegetatie kan optreden. Zo ja, dan is er in sommige gevallen toch een invloed van biologische interacties op de schaal van watersystemen te verwachten.

5.5 Synthese en discussie

De gezochte graadmeters moeten toepasbaar zijn op watersysteemniveau. De graadmeters mogen opgebouwd zijn uit onderdelen die op een kleinere ruimteschaal zijn bepaald. De graadmeters moeten gevoelig zijn voor veranderingen in het systeem op een tijdschaal van enkele jaren tot enkele decennia. De graadmeters moeten zijn gebaseerd op direct meetbare parameters of op parameters die via een (empirisch) model kunnen worden bepaald. De graadmeters moeten kunnen worden getoetst aan een referentiebeeld.

Het systeem zoals dat voor de rivieren wordt toegepast is een goed uitgangspunt voor de definitie van de meetlatten op basis van meetbare grootheden. Van belang is te constateren

dat de aanpak van Seminara (Seminara en Tubino, 1998) hier goed bij aansluit. De benadering van Seminara (Seminara en Tubino, 1998) is systeemonafhankelijk en is gebaseerd op meetbare parameters. Op grond van de vorm wordt een verdeling van fysiotopen afgeleid (in het rivierengebied door analyse van typische systemen en historische veranderingen). De bruikbaarheid hiervan moet nog voor getijdewateren worden aangetoond. Een uitdaging is om de tijd-as in de methodiek te krijgen, omdat hiermee de koppeling met het effect van beheersmaatregelen kan worden verkregen. Hiernaast ontbreekt nog de relatie van de Seminara methodiek met de betekenis voor de ecologie. Hiervoor is mogelijk per levensgemeenschap een aantal extra parameters nodig die specifieke informatie relevant voor de biologie toevoegen (bijv. beheer, zoutgehalte, watertype, grootte). Door te bepalen hoe lang een bepaalde vorm/fysiotopen-verdeling kan worden gehandhaafd in een gebied is extra informatie beschikbaar over de verwachte 'levensduur' van een fysiotoop. Dit bepaalt dan onder meer de kwaliteit van het gebied voor de biologie.

De benadering van Seminara is als het ware een soort van theoretische onderbouwing van de praktische aanpak van ALTERRA/RIZA. Dit concept is tijdsonafhankelijk. De ruimteschaal wordt in feite bepaald door de variabiliteit van het beschouwde systeem in de ruimte. Dit geldt voor beide benaderingen. In RUIMTECOL zullen we ons in eerste instantie richten op de praktische aanpak zoals al is toegepast voor de rivieren en bekijken hoe toepasbaar dat is voor het kustsysteem.

5.6 Conclusies

Belangrijkste conclusie van de workshop is, dat de benadering van RIZA/ALTERRA en Seminara (Seminara en Tubino 1998) zicht biedt op de ontwikkeling van één of meerdere meetlatten, die zijn gebaseerd op meetbare grootheden en begrip van de relatie tussen vorm van een systeem en de fysische forcering. De relatie met fysiotopenverdeling en betekenis voor de biologie moet nog worden onderzocht in getijdewateren. Ook de beperkingen van de benaderingen in relatie tot tijd- en ruimteschaal is nog onbekend.

In de volgende fasen van het Ruimtecol project zullen onderzoeksvragen worden uitgewerkt die tot onderbouwing en uitwerking van de bovenstaande conclusie moeten leiden.

5.7 Afronding huidige project

In dit stadium van het project wordt de kennisinventarisatie als afgerond beschouwd. In een apart op te leveren rapport (de Vries et al. 2001) wordt de kennisinventarisatie samengevat. Bovendien wordt in dit rapport een hypothetische case beschreven waarmee vragen aan de benadering werden gesteld, die de uitwerking van de meetlatten verder richting moeten geven. Vervolgens wordt het vervolg van dit project in een workshop met de opdrachtgever vorm gegeven (deze workshop zal in februari 2001 plaatsvinden).

6 Overwegingen bij het definiëren van graadmeters

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het literatuur onderzoek en de interviews gebruikt om een voorzet te geven voor een nadere uitwerking van de graadmeters, waarbij de belangrijkste overwegingen worden aangegeven.

6.1 Algemeen

De graadmeters die in het project RUIMTECOL worden nagestreefd moeten iets zeggen over de relatie tussen de abiotiek en de te verwachten verdeling van fysiotopen in een watersysteem. De beoogde ruimteschalen zijn die van het totale systeem en delen daarvan. De tijdschaal waarop de graadmeters van toepassing zouden moeten zijn variëert van jaren tot decennia.

In de voorgaande hoofdstukken is aangegeven dat de werken van Seminara en Tubino (1998) en Dronkers (1998) mogelijkheden kunnen bieden voor het definiëren van fysische graadmeters voor getijsystemen op deze ruimteschalen. De belangrijkste parameters die uit deze studies naar voren komen zijn samengevat in tabel 2 samen met een vereenvoudigde fysiotopen indeling (voor de gedachtevorming).

Seminara & Tubino (1998)	Dronkers (1998)	Fysiotopen[1]
Breedte/diepte verhouding Getij-amplitude/diepte Shields parameter D_{50}/water diepte	S=wateroppervlak op hoog water/water oppervlak op laag water H=waterdiepte bij hoog water/waterdiepte bij laag water	Schorren Hoge platen (NAP-HW) Lage platen (LW-NAP) Geulen (beneden LW)

Table 2 Fysische systeem parameters

[1] Deze verdeling kan worden verfijnd conform de Jong e.a. (1998).

Deze parameters kunnen voor delen van een watersysteem en een systeem als geheel worden bepaald. Het kwantificeren van de parameters op systeem niveau biedt de mogelijkheid om verschillende watersystemen met elkaar te vergelijken. Het toepassen op delen van een systeem kan inzicht geven in de ruimtelijke variabiliteit binnen een systeem.

Voor een nadere uitwerking waarbij één of een combinatie van fysische parameters wordt gebruikt als graadmeter voor fysiotopen is een tweetal vragen van belang:
1. Hoe begrens je een watersysteem en wat is een logische onderverdeling in deelsystemen?
2. In hoeverre is het voorkomen en de verdeling van fysiotopen in een watersysteem en veranderingen daarin in de tijd, te relateren aan de fysische parameters? Met andere

woorden: horen de beoogde ruimteschaal en tijdschaal van de graadmeter bij elkaar en zegt dat dan iets over de verdeling van fysiotopen?

Het begrenzen van een systeem en het identificeren van deelsystemen kan worden gebaseerd op geomorfologische gronden, zoals dat bijvoorbeeld door Alterra/Riza is gedaan voor het rivierengebied en door Jeuken (2000) voor de Westerschelde. Een uiteenzetting van de morfologische eigenschappen en het gedrag van het geulsysteem in de Westerschelde laat zien dat de bochtgroep ('estuarine section') een prominente ruimteschaal is in de Westerschelde (Jeuken, 2000). Deze bestaat uit een gekromde ebgeul met daarnaast een rechte vloedgeul. Deze twee hoofdgeulen worden veelal gescheiden door langgerekte plaatgebieden en verbonden door kleinere kortsluitgeulen. In totaal kunnen in de Westerschelde zes bochtgroepen worden onderscheiden, die elk als deelsysteem zouden kunnen worden beschouwd in een verkennende studie naar graadmeters voor de verdeling van fysiotopen. Voor elke bochtgroep kunnen op eenvoudige wijze de benodigde fysische parameters worden bepaald.

De onderverdeling in fysiotopen kan worden ontleend aan eerdere studies (Vroon e.a., 1997 en referenties daarin), of indien nodig uit dieptekaarten worden bepaald. Ook voor situaties in het verleden (1955/1957) is deze informatie beschikbaar zodat op een relatief snelle wijze een basis dataset kan worden gecreëerd die kan worden geanalyseerd om vraag twee te beantwoorden.

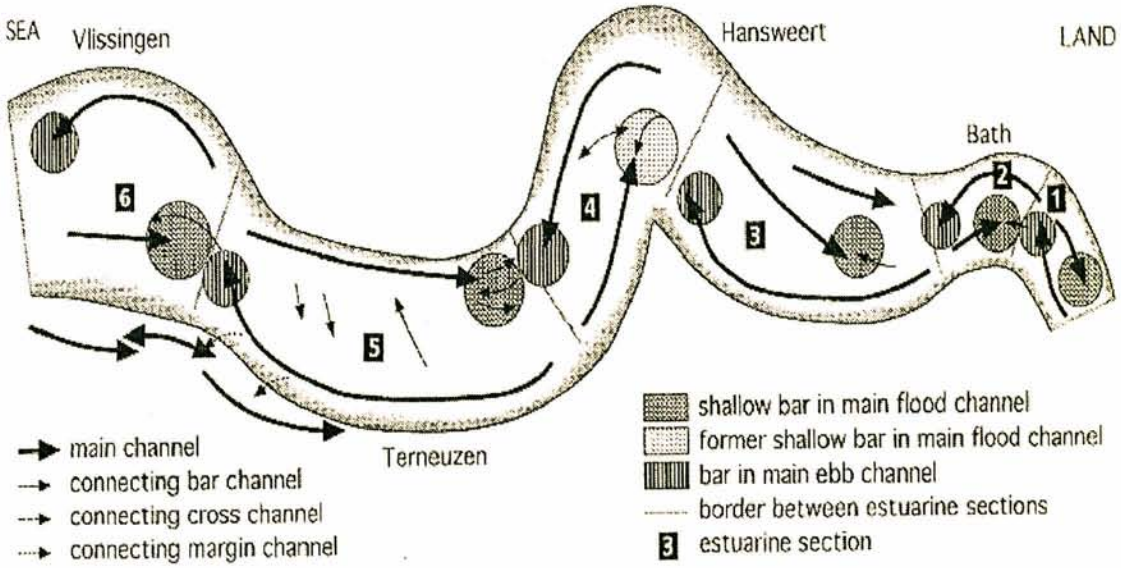


Figure 10 'Estuarine sections' in een deel van de Westerschelde

6.2 De betekenis voor het ecologisch functioneren

Het in deze studie beschreven concept gaat uit van fysische processen die invloed uitoefenen op het ecologisch functioneren. Het ecologisch functioneren van een watersysteem kan goed worden uitgedrukt in ecotopen. Een beschrijving in ecotopen is een gangbare en waardevolle methode om habitats van soorten en menselijke invloeden in ruimtelijke componenten te beschrijven. Een integratie van abiotische, biotische en antropo-

gene kenmerken van een watersysteem is in Figure 11 als volgt weergegeven:

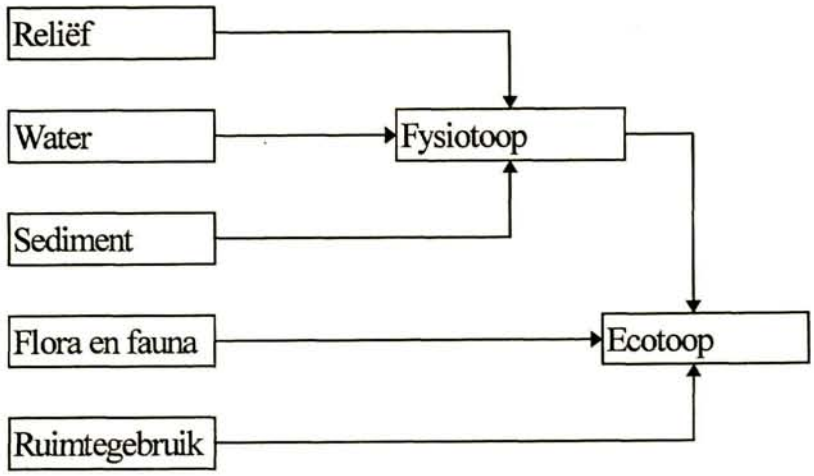


Figure 11 Integratie van abiotische, biotische en antropogene kenmerken.

Volgens Figure 11 wordt een fysiotoop beschreven door de combinatie van reliëf (morfologie: platen, geulen), water (hydrodynamica: diepte, stroomsnelheid, inundatie) en sediment (korrelgrootte, nutriënten, kwaliteit). De combinatie van fysiotopen met kenmerken over de flora en fauna en het menselijk gebruik leidt tot de beschrijving in ecotopen.

Fysiotopen en ecotopen zijn beschreven voor de Westerschelde (zie b.v. Vroon et al., 1997). Dit betreffen dan eenheden als geulen, ondiepe gebieden, hoogdynamische intergetijdegebieden, laagdynamische intergetijdegebieden, slibrijke gebieden, schorren en strand en duinen. De ruimtelijke maat bij deze eenheden is relatief klein: op een plaat kunnen verschillende ecotopen worden onderscheiden. De ruimtelijke maat bij het in deze studie beschreven concept is groter. Dit concept is werkzaam op de schaal van hoofdonderdelen van een heel watersysteem (bv. getijdelta's in de Waddenzee).

Met dit concept kan een beeld worden gegeven van een watersysteem in termen van diversiteit aan fysiotopen. Uitgaande van fysiotopen kan vervolgens een stap worden gemaakt naar ecotopen en het ecologisch functioneren van een watersysteem. Het concept is bruikbaar om aan te geven of de diversiteit in fysiotopen in een watersysteem groot is of niet. Het geeft aan wat de potenties zijn voor geomorfologische en hydrodynamische heterogeniteit, die van groot belang is voor het ecologisch functioneren van een systeem en de bijbehorende biodiversiteit. Een systeem bijvoorbeeld met een grote breedte/diepte verhouding is in staat een meergeulen-systeem te vormen, hetgeen betekent dat er meer gradiënten in waterdiepte, slibgehalte en dynamiek te vinden zijn. Zal op de een of andere wijze de breedte/diepte verhouding drastisch afnemen, dan kan het systeem migreren naar een één-geulsysteem met een minder grote ruimtelijke heterogeniteit in fysiotopen.

6.2.1 Tijd- en ruimteschalen in morfologie en ecologie

Een belangrijke vraag is op welke tijd- en ruimteschaal het belangrijk is om geomorfologische en ecologische processen in hun samenhang te beschouwen. Eén van de manieren om dit te analyseren is het 'informatie criterium' (Phillips 1995). Het informatie criterium is er op gebaseerd dat informatie niet wordt getransporteerd in de ruimte in een hoger tempo dan in de tijd. Mondiale klimaatmodellen maken hiervan algemeen gebruik, dat wordt het Courant-Friedrichs-Lewy criterium genoemd. Met het informatie criterium wordt een modelrandvoorwaarde opgelegd die stelt dat veranderingen in een landschap zich niet sneller voordoen dan ze feitelijk doen. Dit informatie criterium kan ook gebruikt worden om morfologische en ecologische koppelingen in samenhang te zien.

Stel dat op de schaal van morfologische veranderingen, de ecologische responsen sneller zijn dan de morfologische:

$$\Delta t_e \leq \Delta s_e / c$$

en:

$$\Delta t_g \geq \Delta s_g / m$$

Hierin zijn Δt_e en Δt_g de ecologische en geomorfologische tijdstappen [dimensie tijd], de Δs-en de ruimtelijke resolutie [dimensie oppervlakte], c is de snelheid van de snelste ecologische respons [dimensie oppervlakte/tijd] en m is de snelheid van de langzaamste geomorfologische respons [dimensie oppervlakte/tijd]. Deze vergelijkingen stellen dat de ecologische tijdstap altijd kleiner is dan de ruimtelijke schaalresolutie gedeeld door de snelste ecologische veranderingen en dat de morfologische tijdstap altijd groter is dan de ruimtelijke schaalresolutie gedeeld door de langzaamste morfologische veranderingen.

Hieruit wordt afgeleid dat:

$$\frac{\Delta t_g}{\Delta t_e} \geq \frac{c}{m} \frac{\Delta s_g}{\Delta s_e}$$

Als we nu aannemen dat we zijn geïnteresseerd in een bepaalde landschappelijke eenheid, zodat $\Delta s_g = \Delta s_e$, dan zien we dat de tijdstappen voor geomorfologische verandering groter zijn dan die voor ecologische verandering met een factor c/m.

Maar we kunnen het probleem ook op eenzelfde tijdschaal behandelen, zodanig dat:

$$\frac{\Delta s_g}{\Delta s_e} \leq \frac{m}{c} \frac{\Delta t_g}{\Delta t_e}$$

Nu moeten geomorfologische responsen worden behandelt op een meer gedetailleerde ruimtelijke schaal dan ecologische responsen met een factor m/c.

6.2.2 Toepassing

Stel dat we de invloed van bodemdaling in de Waddenzee op kokkelbanken willen beschouwen. In dit geval kijken we naar dezelfde ruimtelijke resolutie, dus $\Delta s_g/\Delta s_e = 1$. Als we aannemen dat de ecologische tijdstap 1 jaar is (Δt_e), dan is de bijbehorende morfologische tijdstap een factor c/m groter. Veronderstel dat de groei van een kokkelbank maximaal 46 km^2/jaar is (waargenomen in de Waddenzee van 1991 tot 1993; Tydeman 1996) en dat de verandering in areaal ondiepe gebieden 0.15 km^2/jaar is (maximale afname in de Waddenzee als gevolg van zeespiegelstijging; Eysink 1998). Dit betekent dat de morfologische tijdstap een factor 307 groter is. Met andere woorden, voor het modelleren van bodemdaling en het areaal kokkelbanken is een morfologisch model nodig met tijdstappen van ruim 300 jaar.

Of veronderstel dat we de ecologische en morfologische veranderingen beschouwen in eenzelfde tijdsinterval. Dan is de bijbehorende ruimtelijke morfologische eenheid een factor m/c kleiner dan de ecologische eenheid. Stel dat de ecologische ruimteschaal een hectare is. Dan zouden de morfologische verschijnselen op een schaal van 32m^2 onderzocht moeten worden.

Beide modelaanpakken klinken onzinnig en we kunnen dus wellicht concluderen dat de effecten van bodemdaling op het areaal kokkelbanken in tijd en ruimte niet aan elkaar gekoppeld zijn. Oftewel, in een studie betreffende de toename van het areaal kokkelbanken in een periode van enkele jaren kan bodemdaling, vanwege het grote verschil in tijdschaal gerust buiten beschouwing worden gelaten. Echter, een vergelijking tussen huidig potentieel areaal aan mosselbanken en een toekomstig potentieel areaal aan mosselbanken kan, als de toekomst maar op een morfologische tijdschaal wordt gekozen, niet zonder een beschouwing van bodemdaling.

7 Openstaande vragen (tentatief)

De vragen die volgen uit dit project worden hieronder opgesomd. Deze vragen kunnen worden meegenomen naar de vervolgfase van het RUIMTECOL*PROCES project.

7.1 In dit project

In dit project is het volgende bereikt:

1) uitbreiding onderbouwing aanpak met een hypothetische case, waarin duidelijk wordt welke informatie nodig is en welke vragen nog moeten worden gesteld en welke antwoorden verwacht mogen worden. Dit kan worden gerealiseerd door een selectie van een tweetal locaties in Westerschelde en de Waddenzee waarvoor de ontwikkeling van in hoofdstuk 6 genoemde parameters in de loop van de tijd kan worden bepaald;
2) terugmelding naar experts teneinde haalbaarheid/zinnigheid/bruikbaarheid van concept te testen.

7.2 Breder kader Ruimtecol

De vragen die uit de workshop volgden waren (en die verder onderzocht moeten worden):

1) Is een combinatie van de benaderingen van RIZA/ALTERRA en Seminara bruikbaar voor classificatie van getijdewateren? Hierbij gaat het om analyse van de toepasbaarheid voor verschillende systemen en de best bruikbare ruimteschaal.
2) Is het mogelijk om het concept te koppelen aan het effect van beheersmaatregelen. Is het hiervoor nodig om een tijdschaal aan het concept toe te voegen? Zo ja, hoe moet dat dan?
3) Wat zegt het concept over de potentie van het gebied voor natuur(ontwikkeling). Is er additionele informatie nodig, zo ja welke?
4) Voor beoordeling van de waarde van een meetlat is een referentiewaarde nodig. Deze zijn mogelijk systeemafhankelijk. Valt bepaling hiervan ook binnen de scope van Ruimtecol?
5) Zijn er modellen of datasets beschikbaar om een kwantificering van mogelijke meetlatten te realiseren? Binnen een watersysteem, tussen watersystemen?
6) Wat is de gevoeligheid en betekenis van mogelijke meetlatten, enerzijds voor effect van ingrepen en anderzijds voor gevolgen voor natuur.

References

Literatuur van hoofdstuk "State of the art"

A.S. Bass & R.E.Turner (1997), "Relationships between salt marsh loss and dredged canals in three Louisiana estuaries, Journal of Coastal Research, Vol. 13, No. 3, pp. 895-903.

R.G. Bell, T.M. Hume, T.J. Dolphin, M.O. Green & R.A. Walters (1997), "Characterisation of physical environmental factors on an intertidal sandflat, Manukau Harbour, New Zeeland", Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 216, pp. 11-31.

G. Blöschl & M. Sivapalan (1995), "Scale Issues in Hydrological Modelling: A review", Hydrological Processes - An International Journal, Vol. 9, also in: J.D. Kalma & M. Sivapalan (eds.), *Advances in hydrological processes, Scale issues in hydrological modelling,* John Wiley & Sons, ISBN 0-471-95847-6.

M.F.P. Bierkens, P.A. Flinke & P. de Willigen (2000), "Upscaling and downscaling methods for environmental research", Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (NL), 190 p + CD-ROM.

M. Colombini, G. Seminara & M. Tubino (1987), Finite-amplitude alternate bars. J. Fluid Mech., vol.181, pp.213-232.

A. Crosato, M.B. de Vries, K. Kuijper (1999), "A tool for intertidal flat classification", WL | DELFT HYDRAULICS, Report Z2037.50, August 1999.

A. Crosato, M.B. de Vries & S. Tatman (2000), "Analysis Biogeomorphological Interactions in the Western Scheldt", WL | DELFT HYDRAULICS, Report Z2837.

J.W. Day Jr., G.P. Shaffer, L.D. Britsch, D.J. Reed, S.R.Hawes & D. Cahoon (2000), "Pattern and process of land loss in the Mississippi Delta: a spatial and temporal analysis of wetland habitat change", Estuaries, Vol. 23, No. 4, pp. 425-438.

S. Dittmann (ed.) (1999), "The Wadden Sea Ecosystem. Stability properties and mechanisms", Springer, ISBN 3-540-65532-8.

J. Dronkers (1998), " in: J. Dronkers & M. Scheffers (eds.) *Physics of Estuaries and Coastal Seas*, Proceedings of the Biennal Conference on Physics of Estuaries and Coastal Seas, the Hague, Netherlands, 9-12-Sept. 1996, Balkema.

K.R. Dyer, M.C. Christie, N. Feates, M.J. Fennessy, M. Pejrup & W. van der Lee (2000), "An investigation into processes influencing the morphodynamics of an intertidal mudflat, the Dollard estuary, The Netherlands: I. Hydrodynamics and suspended sediment", Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 50, pp. 607-625.

K.Essink (1992),"Multifunctional use of the Wadden Sea aiming for high natural value", Netherlands Institute for Sea Research, Publicationn Series No . 20, pp.35-42.

R.I. Ferguson (1987), Hydraulic and sedimentary controls of channel pattern. In: River channels; Environment and Process, Ed. K. Richards, Basil Blackwell, pp.129-158.

J.F. Friedkin (1945), "A laboratory study of the meandering of alluvial rivers", U.S. Army Engrs., Waterways Exp. Stn., Vicksburg.

L.R. Haury, J.A. McGowan & P.H. Wiebe (1997), "Patterns and processes in time-space scales of plankton distributions" in: J.H. Steele (ed.), *Spatial pattern in Plankton Communities*, Plenum Press, New York and London, pp. 277-327.

S.W.E. Huijs (1995), "Geomorfologische ontwikkeling van het intergetijde-gebied in de Westerschelde 1935-1989", Institute For Marine and Atmospheric Research Utrecht (*in Dutch*).

M.C.J.L. Jeuken (2000), "On the morphologic behaviour of tidal channels in the Westerschelde estuary", PhD thesis, University of Utrecht, ISBN 90-6266-192-0.

D.J. de Jong, N. Dankers, R.J. Leewis (1998), "Naar ecologische kaarten van de Waddenzee", BEON Rapport nr. 98-13 (*in Dutch*).

M. Kirkby (1990), "The landscape viewed through models", in: Zeitschrift fur Geomorphologie, supp.-Bd. 79, pp. 63-81.

F. Klijn (1997), "A hierarchical approach to ecosystems and its implications for ecological land classification; with examples of ecoregions, ecodistricts and ecoseries of the Netherlands", Thesis Leiden University (NL).

J. van de Koppel, P.H.J. Herman, P. Thoolen & C.H.R. Heip (in press), "Do multiple stable states occur in natural ecosystems? Evidence from a tidal flat", Ecology.

Lambeek, J.J.P. & E. Mosselman (1998), Huidige en historische rivierkundige parameters van de Nederlandse Rijntakken. Rapport Q2382, WL | Delft Hydraulics (*in Dutch*).

P. Legendre, S.F. Thrush, V.J. Cummings, P.K. Dayton, J. Grant, J.E. Hewitt, A.H. Hines, B.H. McArdle, R.D. Pridmore, D.C. Schneider, S.J. Turner, R.B. Whitlatch & M.R. Wilkinson (1997), "Spatial structure of bivalves in a sandflat: Scale and generating processes", Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 216, pp. 99-128.

G.J. Maas, H.P. Wolfert, M.M. Schoor & H. Middelkoop (1997), "Classificatie van riviertrajecten en kansrijkdom voor ecotopen. Een voorbeeldstudie vanuit historisch-geomorfologisch en rivierkundig perspectief", DLO-Staring Centum, Wageningen, Rapport 552 (*in Dutch*).

H. Middelkoop & B.G. Ruessink (2000), "Analyse historische waterstanden Maas - Benedenrivierengebied II", Centre for Geo-ecological Research, Report ICG 00/8 (*in Dutch*).

H. Middelkoop & M.M. Schoor (2000), "Naar een morfologische karakterisatie van het Nederlandse riviergebied. Discussie paper", umpublished work, personal communication.

E. Mosselman, T. Shishikura & G.J. Klaassen (2000), "Effect of bank stabilization on bend scour in anabranches of braided rivers", Phys. Chem. Earth (B), Vol. 25, No. 7-8, pp. 699-704.

G.C. Nanson & E.J. Hickin (1983), "Channel migration and incision on the Beatton River", Journal of Hydr. Engrg., ASCE, Vol.109, No.3, pp.327-337.

A.P. Oost (1995), "Dynamics and sedimentary development of the Dutch Wadden Sea with emphasis on the Frisian inlet. A study of the barrier islands, ebb-tidal deltas, inlets and drainage basins.", PhD Thesis, Universiteit Utrecht, faculteit Aardwetenschappen, Geologica Ultraiectina, No 126, ISSN 0072-1026.

E.C.M. Ruijgrok (1999), "Valuation of nature in coastal zones", PhD thesis, Vrije Universiteit de Amsterdam, Elinkwijk bv, Utrecht (NL).

D.C. Schneider, R. Walters, S. Thrush & P. Dayton (1997), "Scale-up of ecological experiments: Density variation in the mobile bivalve Macoma liliana", Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 216, pp. 129-152.

M.M. Schoor, H.P. Wolfert, G.J. Maas, H. Middelkoop & J.J.P. Lambeek (1999), "Potential for floodplain rehabilitation based on historical maps and present-day processes along the River Rhine, The Netherlands", in: S.B. Marriott & J. Alexander (eds.), *Floodplains: Interdisciplinary Approaches*, Geological Society, London, Special Publication, Vol. 163, pp. 123-137.

S.A. Schumm (1985), Patterns of alluvial rivers. Annual Review of Earth and Planetary Science, Vol.13, pp.5-27.

G. Seminara (1994), Invitation to river morphodynamics. Int. Conf. Nonlinear Dynamics and Pattern Formation in the Natural Environment, 1994, Noordwijk.

G. Seminara (1998), Stability and morphodynamics. Meccanica, Vol.33, pp.59-99.

G. Seminara & M. Tubino (1996), "Formation of tidal free bars", Extended abstracts of the 8th International Biennal Conference on *Physics of Estuaries and Coastal Seas*, pp-112-113.

A.J.F. van der Spek (1994), "Large-scale evolution of Holocene tidal basins in the Netherlands", PhD thesis University of Utrecht, The Netherlands, ISBN 90-393-0664-8.

M.J.F. Stive & H.J. de Vriend (1995), "Modelling shoreface profile evolution", Marine Geology, Vol. 126, pp. 235-248.

N. Struiksma, K.W. Olesen, C. Flokstra & H.J. de Vriend (1985), Bed deformation in curved alluvial channels. J. Hydr. Res., IAHR, Vol.23, No.1, pp.57-79.

N. Struiksma & A. Crosato (1989), Analysis of a 2-D bed topography model for rivers. In: River meandering, AGU, Water Resources Monograph 12, Eds. S. Ikeda & G. Parker, pp.153-180.

P.M.C. Thoolen, M.J. Baptist, P. Herman (1997), "BEON Habitat MICRO-MACRO" and "Comparing patterns in macrofauna structure at different scales: within tidal flats, between tidal flats and between estuaries", BEON Rapport nr. 98-14.

J. van Veen (1950), "Eb en vloedschaar systemen in de Nederlandse getijwateren", Journal of K.N.A.G., Vol. 2, part 67, pp. 303-325.

H.J. de Vriend (1998), "Large-scale coastal morphological predictions: a matter of upscaling?", Third Conference on Hydroscience and Engineering (ICHE 98).

H.J. de Vriend (1991), "Mathematical modelling and large-scale coastal behaviour. Part 1: Physical processes.", Journal of Hydraulic Research, Vol. 29, No. 6, pp. 727-740.

H.J. de Vriend, J. Dronkers, M.J.F. Stive, A. van Dongeren & J.H. Wang (1998), "Coastal inlets and tidal basins. Part one.", Technische Universiteit Delft, CTwa5303.

J. Vroon, C. Storm, J. Coosen (1997), "Westerscheldr, stram of struis?", Rapport RIKZ-97.023, (*in Dutch*).

G. Wintermans, N. Dankers, H. van der Veer, A.D. Rijnsdorp, P.I. van Leeuwen, B. Vingerhoed (1995), "Habitatkarakteristiken van de Nederlandse kustzone", BEON Rapport nr. 95-12, (*in Dutch*).

G.Wintermans, N. Dankers, R. Leewis, P. Molegraaf, D. De Nooyer, S. Reents, F. Staeyert, R. Wegman, E.M. Hartgers, P.D. de Jonge, A.D. Rijnsdorp, H.W. van der Veer, J.IJ. Witte, P.Herman, M.B. de Vries, P.M.C. Thoolen, M. Vonk, A. Baart, J. Boon (1996), "Habitatkartering en beschrijving van Nederlandse kustwateren", BEON Rapport nr. 96-5.

H.P. Wolfert (1998), "Geomofologische geschiktheid voor nevengeulen, strangen en moerassen in de riviertrajecten van de Rijntakken", Rapport 621, DLO-Staring Centrum, Wageningen, (*in Dutch*).

Literatuur (overige hoofdstukken)

Alcyon (..) *nog niet bekend*

Bal D., Beije H.M., Hoogeveen Y.R., Jansen S.R.J. & van der Reest P.J. (1995). *Handboek natuurdoeltypen in Nederland*. Rapport IKC Natuurbeheer nr. 11.

Claessens, J. (1994). *Overzicht van de tijwaarnemingen in het Zeescheldebekken gedurende het decennium 1981-1990.*

Crosato A., de Vries M., Tatman S. (2000). *Analysis Bio-geo-morphological Interactions in the Western Scheldt*- Z2837. WL rapport Z2837.

Crosato A., de Vries M., Kuijper K. (1999). *A tool for intertidal flat classification*. WL Rapport Z2037.50.

Dittmann S. (Ed.). (1999). *The Wadden Sea Ecosystem. Stability properties and mechanisms*. pp. 307. Springer.

Eysink, W.D. (1998). *Effecten van bodemdaling door gaswinning in en rond de Waddenzee*. WL rapport H3099.

Hartholt J.G. (1998a). *Ecotopen-GIS Noordzee. Rapportage tweede fase.* Werkdocument RIKZ/OS-98.103x

Hartholt J.G. (1998b). *Abiotische gegevens van de Noordzee: Kaarten van de abiotiek voor het maken van ecotopenkaarten*. Werkdocument RIKZ/OS-98.102x.

Huijs S.W.E. (1995). *Geomorfologische ontwikkeling van het intergetijdegebied in de Westerschelde. 1935-1989.* Rapport R95-3, RUU, Fakulteit Ruimtelijke Wetenschappen, Vakgroep Fysische Geografie.

de Jong D.J., Dankers N. & Leewis R.J. (1998). *Naar ecologische kaarten van de Waddenzee*. BEON rapport nr. 98-13.

Jonge V.N. de & Beusekom J.E.E. van (1995). *Wind- and tide induced resuspension of sediments and microphytobenthos in the Ems estuary.* Limnology and Oceanography, Vol 40. 766-778.

Kabuta S.H. & Duijts H. (2000).*Graadmeters voor de Noordzee. Eindrapport van het project Graadmeterontwikkeling Noordzee (GONZ III).* Rapport RIKZ-2000.022.

Klijn F., Pedroli B. & de Vries M. (1998). *Ecotopen: een blik terug en een blik naar voren*. WL rapport R3124.

Lambeek J.J.P. & Mosselman E. (1998). *Huidige en historische rivierkundige parameters van de Nederlandse Rijntakken*. WL rapport Q2382.

Leewis R.J., Dankers N. & de Jong D.J. (1998). *Naar een ecotopensysteem zoute wateren Nederland*. BEON rapport nr. 98-11.

Maas G.J. (1997). *Benedenrivier-Ecotopen-Stelsel. Herziening van de ecotopenindeling Biesbosch-Voordelta en afstemming met het Rivier-Ecotopen-Stelsel en de voorlopige indeling voor de zoute delta*. DLO-Staring Centrum, Wageningen in opdracht van RIZA. RWES rapport nr. 3.

Maas G.J. (2000). *Historische geomorfologie Maas en Benedenrivieren. Oude Maas, Merwede-Hollandse Biesbosch, Afgedamde Maas en Maaskant*. Alterra-rapport 075.

Maldegem D.C. van, Winder B. de, Arends, A. (1999). *Slib in de Westerschelde, een beschrijving van de troebelheid en slibverspreiding in de Westerschelde voor de periode december 1998 tot juli 1999.* Rapport RIKZ-99.026.

Middelkoop H. & Ruessink B.G. (2000). *Analyse historische waterstanden Maas - Benedenrivierengebied II.* Centre for Geo-ecological Research in opdracht van RIZA.

Oost A.P. (1995). *Dynamic and sedimentary development of the Dutch Wadden Sea with emphasis on the frisian inlet.*

Paalvast P., Iedema W., Ohm M. & Posthoorn R. (1998). *MER Beheer Haringvlietsluizen. Over de grens van zoet en zout. Deelrapport ecologie en landschap*. RIZA rapport 98.051.

Paterson D.M. & Black K.S. (1999). *Water flow, sediment dynamics and benthic biology*. Advances in Ecological Research. Vol. 29. 154-193.

Phillips, J.D. (1995). *Biogeomorphology and landscape evolution: The problem of scale*. Geomorphology 13. 337-347.

Raffaelli D. & Hawkins S. (1999). *Intertidal ecology*. pp. 356. Kluwer Academic Publishers.

Ridderinkhof H., Ham R van der & Lee W. van der (2000) *Temporal variations in concentration and transport of suspended sediment in a channel-flat system in the Ems-Dollard estuary.* Continental Shelf Research. Vol 20. 1479-1493.

Schuttelaar (..) *nog niet bekend*

Schoor M.M. & Sorber A.M. (1998). *Morfologie natuurlijk.* RWS - Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling - Lelystad. ISBN 903695231X

Schoor M.M., Wolfert H.P., Maas G.J., Middelkoop H. & Lambeek J.J.P. (1999). *Potential for floodplain rehabilitation based on historical maps and present-day processes along the River Rhine, the Netherlands.* 163. 123-137. In: Marriott S.B. & Alexander J. (eds.). (1999). Floodplains: Interdisciplinary Approaches. Geological Society, Special Publications.

Tydeman, P. (1996). *Ecologisch profiel van de littorale kokkelbank* (*Cerastoderma edule*). Rapport RIKZ-96.025.

Sistermans P. (1996). *Verandering van de morfodynamiek van de Weterschelde. Een kwantitatieve analyse.* Notitie NWL-96.51. Rijkswaterstaat, Directie Zeeland.

Vroon J., Storm C. & Coosen J. (1997). *Westerschelde, stram of struis?* Rapport RIKZ-97.023.

Waterbouwkundig Laboratorium, Flanders Hydraulics. (2000). *Onderzoek exogene factoren. Lange Termijnvisie Westerschelde. Cluster Morfologie.*

Wintermans G. *et al.* (1996). *Habitatkartering en beschrijving van Nederlandse kustwateren.* BEON rapport nr. 96-5.

WL rapport Z2878. (2000). *LTV - deel 1. Lange Termijnvisie Schelde-estuarium. Cluster Morfologie - uitvoeringsfase.*

Wolfert H.P. (1998). *Geomorfologische geschiktheid voor nevengeulen, strangen en moerassen in de riviertrajecten van de Rijntakken.* DLO-Staring Centrum, Wageningen. Rapport 621.

A Algemeen

1. Allereerst willen wij u een algemene vraag stellen over de fysische factoren en processen die u kent, die sturend zijn in de vorming van fysiotopen in zoute ecosystemen.
   Fysische en chemische factoren en processen die sturend zijn in de vorming van fysiotopen worden in zoute ecotopenstelsels onderverdeeld in:
   hydrodynamiek (o.a. stroomsnelheid, golfwerking, waterdieptes en inundatie frequentie)
   morfodynamiek (o.a. sediment transport, resuspensie, depositie, veranderingen van bodemhoogte, -samenstelling en -textuur.)
   zoutdynamiek (veranderingen in saliniteit).
   Zijn dit inderdaad de belangrijkste sturende faktoren? Denk bijvoorbeeld aan het volgende:
   - sedimentaanbod
   - invloed van biologie

   En externe forcing:
   - klimatologische factoren (bijvoorbeeld toekomstige (verwachte) klimatologische factoren, zoals zeespiegelrijzing)
   - antropogene factoren (zoals antropogeen zacht (baggeren/storten), antropogeen hard (bedijking)).
2. Waarom heeft u deze factoren en processen geselecteerd? Kunt u beredeneren waarom juist deze factoren/processen zo belangrijk zijn in de vorming van fysiotopen? Zijn het factoren/processen die u regelmatig meet of in het veld waarneemt?

Gebiedsspecifieke kennis

Wij willen met u graag over de volgende vragen discussiëren, in relatie tot het systeem of systemen (bijvoorbeeld estuaria) dat u het beste kent. Eén van de belangrijkste doelen binnen dit project is het vaststellen van fysische graadmeters bestaande uit (combinaties van) fysische grootheden met echte getalswaarden.

3. Welk systeem/systemen kent u het beste (naam, locatie, soort systeem)?
4. Welke fysische factoren en processen spelen een rol in uw systeem bij het vormen van fysiotopen? Noem ook extreme gebeurtenissen zoals overmatige regenval, storm, baggerwerkzaamheden, extreme temperaturen, visserij, etc.
5. Kunt u beredeneren waarom juist deze factoren/processen zo belangrijk zijn in de vorming van de fysiotopen in uw gebied?
6. Over welke tijd- en ruimteschalen gaat het eigenlijk m.b.t. de factoren en processen in uw systeem? Is dit afwijkend per fysiotoop?
7. Hoe kunnen de fysische **factoren** volgens u het best (direct of indirect) gekwantificeerd worden? Noem ook bijv. indirecte technieken waarbij biologie gebruikt wordt om morfologische factoren te bepalen? Kent u datasets die hier geschikt voor zijn? Beschikt u over kwantitatieve data (minimum en maximum waarden voor systeemparameters)?
8. Heeft u suggesties in hoeverre de dynamische **processen** die een rol spelen bij de vorming van de fysiotopen kunnen worden gekwantificeerd en gewaardeerd?
9. Kunt u een globale historische analyse maken van het voorkomen van fysiotopen en bijbehorende (veranderde) fysische karakteristieken in relatie tot externe forcing in uw geselecteerde gebied?

10. Waar wijkt uw gebied karakteristiek af van andere Nederlandse estuaria, en hoe is dit te zien in het voorkomen van fysiotopen
11. Kunt u per fysische factor meest belangrijke gebiedskenmerken en trends samenvatten die het huidige fysiotopen systeem veroorzaken.
12. Speelt biologische successie een rol in de vorming van de fysiotopen in uw gebied? Beïnvloedt dit de fysica van het systeem?

Ecotopensystemen

De volgende vragen hebben betrekking op de ontwikkeling en toepassing van een conceptueel morfologisch- en hydrodynamisch modelschema waarin de relatie kan worden aangegeven tussen de te vinden systeemparameters binnen een fysiotoop onderling en tussen deze parameters en de fysio- en ecotopen. Een modelschema is een eerste stap op weg naar een ecotopenstelsel van de Nederlandse kustwateren waarmee de relaties tussen menselijke activiteiten en het ecologisch functioneren inzichtelijk en evalueerbaar worden gemaakt voor beheer- en beleidsmakers.

13. Is het ecotopensysteem zoals voorgesteld door de Jong, Dankers en Leewis bruikbaar voor een classificatie en analyse van uw systeem (zie Figure 12)? Heeft u op- of aanmerkingen op dit ecotopensysteem?

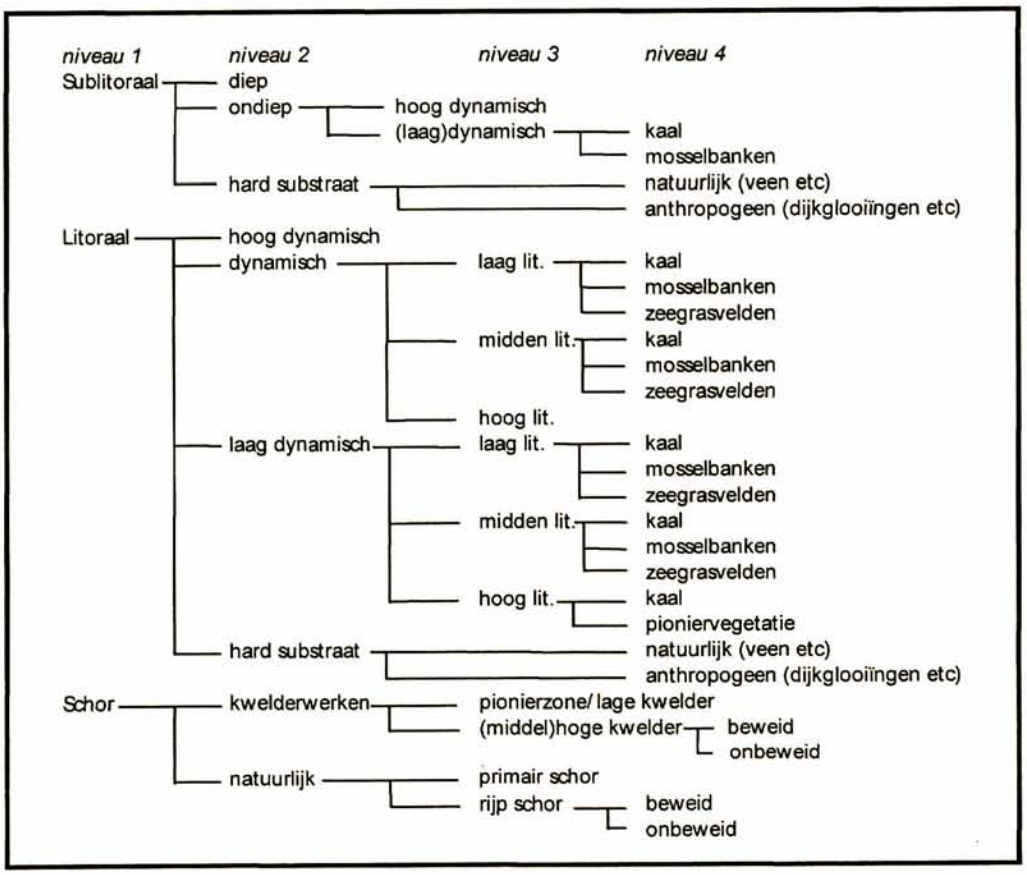


Figure 12 Hiërarchische indeling Ecotopen Zoute Kustgetijdenwateren (ECOKUST) (De Jong, Dankers en Leewis (1998). BEON 1998, RIKZ-rapport RIKZ-98.026)

14. Wat is volgens u het nut van zo'n ecotopensysteem?

15. Een ecotopensysteem is veelal gebaseerd op definitie van klassegrenzen voor fysische factoren. Denkt u dat dit systeem, in combinatie met andere tools, het potentieel voorkomen van fysiotopen kan voorspellen? Welke fysische factoren en klassegrenzen zijn volgens u zwak onderbouwd? En welke ontbreken nog?
16. Fysiotopen kunnen successies vertonen en komen variabel en cyclisch (bijvoorbeeld klimatologische cycli) voor in tijd en ruimte afhankelijk van de karakteristieken van het profiel (zie Figure 13). Welke dynamische fysische eigenschappen van het profiel bepalen het voorkomen en de successie van de fysiotopen?

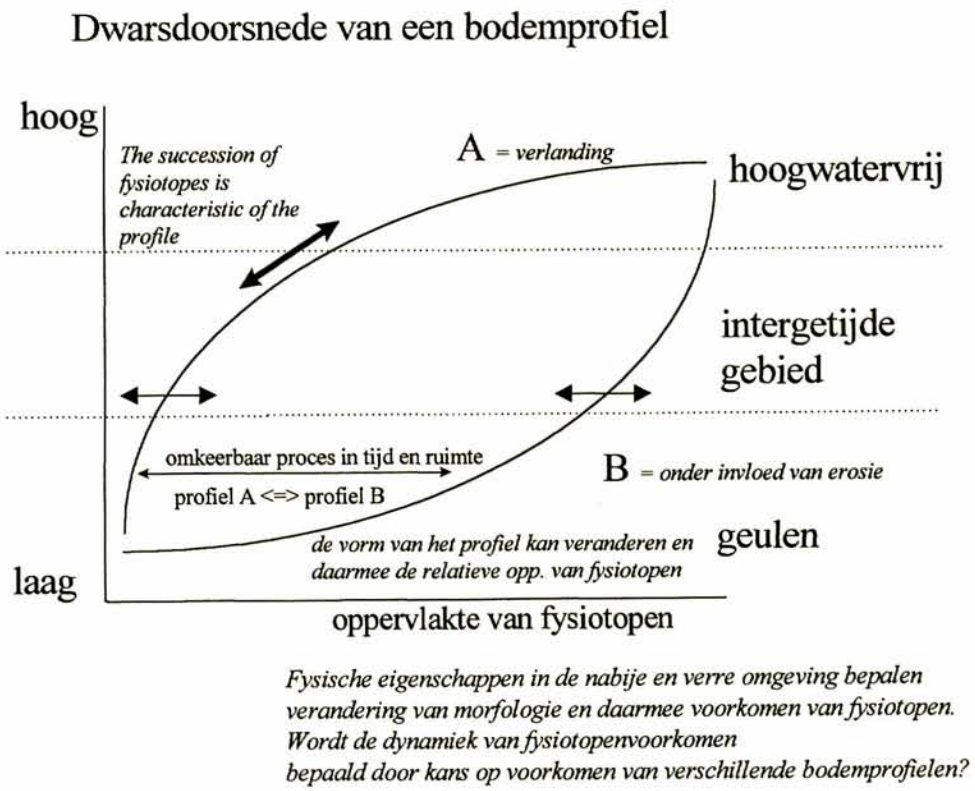


Figure 13

17. Op welke wijze denkt u dat dynamische processen (zie vraag 8) in een dergelijk ecotopensysteem kwantitatief kunnen worden verwerkt? Heeft u suggesties voor een pragmatische 'meetlat' van dynamiek?
18. Zijn de fysiotopen ecologisch relevant? Welke factoren ontbreken om van het fysiotopen systeem een ecotopensysteem (met kenmerkende planten en dierensoorten) te kunnen maken? Is dit noodzakelijk voor beleidsondersteuning in uw systeem?
19. Welke voorwaarden stelt de toepassing van zo'n systeem aan de kwantificering van fysische factoren in ruimte en tijd?
20. Bent u op de hoogte van datasets die kunnen worden gebruikt om zo'n systeem te valideren?

Tenslotte zouden wij graag willen weten wat u vindt van het doel en de aanpak van dit project om te komen tot een set van systeemparameters en graadmeters voor de Nederlandse kustwateren t.b.v. beheer- en beleidsevaluaties.

Wat is uw primaire reactie? Vindt u het te ambitieus? Heeft u op- of aanmerkingen? Kent u andere soortgelijke studies?

B De resultaten van de schriftelijke interviews

Vraag #	Antwoorden
1	• Ja, uitbreiding met morfologische karakteristieken. Zeespiegelrijzing is niet relevant op een tijdsschaal van maanden tot decennia. Probeer met geaggregreerde parameters te werken. • Het zijn conditionele factoren, ze zijn een goed compromis tussen meetbaarheid en belang voor biota. Kan nog uitbreiden met gebruik & beheer • In beginsel zijn alle factoren belangrijk. Kan nog uitbreiden met geologie en scheepvaart • Er zijn nog factoren die lokaal een rol spelen. Voor terrestrische fysiotopen is de lijst niet toereikend • Het is belangrijk om de interacties tussen de genoemde factoren te bestuderen, inclusief de tijd- en ruimteschalen. Een belangrijke parameter is energie dissipatie snelheid
2	• Energie dissipatie snelheid is indirect meetbaar en is gekozen n.a.v. een grootschalig onderzoek van (a)biotische factoren en interacties
3	• Westerschelde: 3 keer genoemd • Rivieren: Brahmaputra-Jamuna en Nederlandse Rijntakken • Waddenzee • Hollandse duingebieden
4	• Rivieren: Hydrodynamiek en morfodynamiek (voornamelijk erosie door zandtransport en antropogene factoren zoals landgebruik, infrastructuur constructie, scheepvaart) • Westerschelde, Waddenzee, Hollandse duinen: vooral antropogene factoren: bedijking, visserij invloeden, landbouw & beheer. De belangrijkste factoren zijn toch wel: Hydrodynamiek en sediment transport • Westerschelde: energie dissipatie snelheid, locale erosie, inundatietijd en -duur • Westerschelde: morfodynamiek (uitgesplitst in sediment transport en bodemverandering) en hydrodynamiek. Menselijke factoren: baggeren en storten (maar zelden in ondiepe gebieden), dijken, schelpwinning
5	• Rivieren: Hydrodynamiek en morfodynamiek zijn overduidelijk relevant. Invloed van de biologie betreft alleen de vegetatie en alleen daar waar het ondiep is (op platen) • Westerschelde, Waddenzee, Hollandse duinen: grootschalige transporten van water en sediment bepalen de morfologie, de rest is afgeleid hiervan • Het midden van de Westerschelde is gekarakteriseerd door hoge getijdesnelheden, gebrek aan vegetatie, korte strijklengte en de ligging in de buurt van een belangrijke scheepvaartroute
6	• Rivieren: voor wat betreft de bodemtopografie gaat het om tijdschalen van maanden, voor turbulentie e.d. gelden kleinere tijdschalen • Westerschelde: variërend van maanden tot decennia. • Westerschelde, Waddenzee, Hollandse duinen: per fysiotoop kunnen andere schalen van belang zijn, omdat andere factoren het fysiotoop beïnvloeden • Westerschelde: tijdens een onderzoek waarbij fysiotopen werden bestudeerd, was de ruimteschaal: hectare en de tijdsschaal: seizoenen
7	• Rivieren: afhankelijk van het doel: welke elementen of eigenschappen van een

	fysiotoop zijn van belang voor een ecotoop ? Een kwantificering gebeurt in fysische eenheden, met een goede omschrijving van de condities waaronder ze optreden (duur, herhalingstijd, ruimtelijke verdeling). Indirecte technieken: bijv. hoogteligging van platen of eilanden d.m.v. reflectie van vegetatie m.b.v. satelliet remote sensing • Westerschelde: direct en indirect op basis van standaar monitoring in het veld aangevuld met resultaten van modelberekeningen (waterbeweging en sedimenttransport) • Fysische factoren kun je het beste direct kwantificeren. • Energie dissipatie snelheid kun je alleen kwantificeren d.m.v. modelberekening of het kan empirisch worden benaderd d.m.v. aggregreren/combineren van verschillende parameters. Indirect: bijv. erosie snelheid benaderen a.d.h. van grootte van Mya arenaria schelpen
8	• Morfologische dynamiek: d.m.v. analyses met GIS van veldobservaties. Hydrodynamiek: omzetten van waterstanden en diepteinformatie in overspoelingsduur, combinatie waterstanden en windgegevens gebruiken als indicator voor stormen, modellen gebruiken om ruimtelijke en temporele variaties in golfhoogten, stroomsnelheden en bodemschuifspanningen en sedimenttransporten te bepalen • Voor rivieren wordt dynamiek o.a. gekarakteriseerd door het gebruiken van de relatie breedte-diepte verhouding/Shields parameter. Het is onduidelijk of dit bruikbaar is voor estuaria • Bepaal eerst op welke tijdschalen de processen afspelen, kies dan de frequentie, duren of intervallen die daar bij passen • Mathematische modellering
9	• Rivieren: veranderingen treden dermate snel op, dat ook fysiotopen van jaar tot jaar sterk veranderen (in omvang en in locatie) • Westerschelde: totale intergetijdegebied wordt gekenmerkt door opbouw (areaal en hoogte) en versteiling op een tijdschaal van decennia. Hoewel niet aangetoond lijkt dit verschijnsel samen te hangen met het uitbochten van het hoofgeulen systeem en het gedeeltelijk staande golf karakter van de getijgolf • Westerschelde, Waddenzee, Hollandse duinen: nee
10	• Rivieren: In het algemeen wijken rivieren af door ontbreken van getijdewerking, zout en significante hoeveelheden slib. In het voorkomen van fysiotopen is dit te zien in de samenstelling van het bodemmateriaal van het zomerbed (slibgehalte) en in de vegetatie op hoger gelegen delen en in uiterwaarden (slibgehalte, zout). • Westerschelde: heeft een uitgesproken regelmatig stelsel van geulen en platen. Consequenties: een regelmatig patroon van voor fysiotopen? • Westerschelde, Waddenzee, Hollandse duinen: onbekend • Westerschelde: een belangrijke karakteristiek is de grote menselijke beïnvloeding en in tegenstelling tot nabij gelegen estuaria is de macrofauna biomassa relatief laag.
11	• Te grote klus
12	• Geen idee • Ja, bij aanwas van land, door menselijke beïnvloeding (bevolking plant eerst rietachtige vegetatie, gevolgd door andere landbouwgewassen) • Westerschelde, Waddenzee, Hollandse duinen: ja, bij eerste fasen van successie zijn het vooral allogene processen (fysisch sturende processen) die belangrijk zijn. Daarna zijn het autogene (biologische processen zoals kolonisatie, competitie) die de volwassenheid van een ecotoop bepalen
13	• Rivieren: n.v.t.

	• Westerschelde, Waddenzee, Hollandse duinen: alleen toepasbaar op aquatische systemen. Er is een methodisch probleem: het is niet mogelijk uit fysische factoren af te leiden waar en waarom er bijv. zeegrasvelden voorkomen • Het is niet consequent om dynamiek op verschillende niveaus te zetten en om hard substraat naast dynamiek te zetten. De levensgemeenschappen op harde substraat zijn sterk afhankelijk van bijv. de dynamiek
14	• Het relatieve aandeel van elke ecotoop kan worden gekwantificeerd en de resulterende verdeling is dus een maat voor ecologische kwaliteit • Velerlei: voor beschrijving en voorspelling
15	• Dit zou a.d.h. van data uitgezocht moeten worden (de methodiek van INTRMUD is daarvoor geschikt). Er is een grote range aan fysische parameterwaarden (b.v. waterdiepten) mogelijk binnen ecotopen. Maar de vraag is of onderscheid binnen een dergelijke range wel van belang is voor het vaststellen van ecotopen. De definitie van de klassegrenzen van een fysiotoop zal in feite beïnvloed worden door de keuze van de definitie van de klassegrenzen van een ecotoop. • De indeling 'dynamiek' is zwak onderbouwd
16	• Veranderingen van het bodemprofiel door erosie en sedimentatie hangen af van gradiënten in de stroming (die veelvuldiger aanwezig zijn als de stromingsomstandigheden wisselen, b.v. door variërende afvoeren of getijdewerking) en de eigenschappen van het bodemmateriaal (sedimentkorrel-grootte) • Een belangrijk deel van cyclisch gedrag wordt deels verklaard uit een langzame 'rijping' door successie en sedimentatie en een snelle 'verjonging' door extreme gebeurtenissen (events)
17	• Eerst met INTRMUD-achtige aanpak belangrijkste parameters identificeren. Kwantitatieve waarden uitzetten in een diagram met klassegrenzen (gebaseerd op ecologische relevantie), of als invoer gebruiken voor een soort voorspellend ecotopenmodel op basis van "exclusion laws". Een enkel dynamiekgetal voor zowel hydrodynamiek, morfologische dynamiek en zoutdynamiek lijkt me niet goed mogelijk. Een zinvolle methode zal uiteindelijk op meerdere getallen gebaseerd moeten zijn, en dat zijn de hierboven vermelde "belangrijkste parameters". • De tijdsschaal is uitermate belangrijk. Misschien moet er meer gedacht worden in de richting van kansen: wat is de kans dat een fysiotoop zich in een bepaalde richting ontwikkeld?
18	• Fysiotopen zijn per definitie ecologisch relevant, want fysiotopen worden t.b.v. de ecologie gedefinïeerd • Het is noodzakelijk vast te houden aan de hiërarchie van fysische processen die sturend zijn voor de biologische verscheidenheid.
19	• Dat is niet te zeggen. Dat moet in een (pilot)toepassing blijken
20	• Nee, niet van ecologische gegevens
21	• Ecotoop/fysiotoop voorspelling en omgaan met dynamiek van dergelijke ruimtelijke eenheden staat nog in de kinderschoenen. Het is lastig, maar wel een uitdaging. Mogelijk zal het modelleren op iets stochastisch neerkomen • De vragen zijn (te) moeilijk, zeker voor beheerders • Het is ambitieus. Gevoelsmatig lijkt het mij belangrijk om niet te veel onderscheidende parameters te gebruiken. Voorts verdient het aanbeveling om relatief makkelijk te kwantificeren parameters te kiezen (gebaseerd op veldobservaties en bestaande modellen). • Eén deskundige kende twee soortgelijke studies die gericht zijn op rivieren.

C Uitwerking van dynamiek vanuit een biologisch standpunt

Dit hoofdstuk beschrijft een concept voor de beschrijving van dynamiek in ectopensystemen. Uitgangspunt hierbij is de aanname dat (dynamiek van) de morfologische en hydrodynamische omgeving de randvoorwaarden bepaalt voor de biologische ontwikkeling van het systeem. Daarnaast is de waterkwaliteit een belangrijke sturende factor voor de biologie. De relatie tussen dynamiek in het fysisch systeem en de potentiële biologische eigenschappen wordt uitgewerkt in het onderstaande concept. Hierbij is een vereenvoudiging gemaakt van de lijst fysische parameters die in hoofdstuk 3 werden genoemd.

Temporele en ruimtelijke dynamiek

De temporele dynamiek van fysische factoren is in deze studie gedefinieerd als de mate van verandering van een parameter P over een bepaalde periode t, dus $\Delta P/\Delta t$. Wanneer de veranderingen groot zijn in een relatief korte tijdsperiode spreken we van een hoge dynamiek. Eenzelfde definitie geldt voor de ruimtelijke dynamiek. De ruimtelijke dynamiek is hier gedefinieerd als de mate van verandering van een parameter P over een bepaalde afstand x, dus $\Delta P/\Delta x$. In deze studie is geprobeerd de dynamiek in tijd en ruimte zoveel mogelijk van elkaar te scheiden. Dit is niet altijd eenvoudig, omdat soms beide dimensies met elkaar samenhangen. Voor morfologische verschijnselen bestaat er een duidelijke koppeling tussen tijd- en ruimteschalen. Dit is onder andere beschreven in WL (2000). Voor andere parameters is er niet zo'n sterke koppeling.

Belangrijk bij het vaststellen van de grootte van de dynamiek voor fysische factoren is
1. de bandbreedte van veranderingen in de waarde voor de fysische factor (P) en
2. de tijd- en ruimteschalen (t en x) waarop deze veranderingen zich afspelen in het Westerschelde systeem.

Veranderingen in parameters spelen zich in principe af op allerlei tijdschalen en in allerlei ruimteschalen. Echter, bepaalde tijd- en ruimteschalen zijn meer relevant voor ecologische processen dan anderen. In de beschouwing van de dynamiek wordt daarom gekeken naar de *relevante* schalen voor variatie in dit systeem. Dit zou kunnen betekenen dat een dynamiek meetlat niet schaalbaar is, met andere woorden, een meetlat is alleen geldig voor een bepaalde tijd- of ruimteschaal. Bijvoorbeeld de saliniteit vertoont een dagelijkse variabiliteit op een bepaalde lokatie, maar ook een seizoensdynamiek tussen zomer en winter. In deze studie wordt de laatste dynamiek als meer relevant beschouwd en hiervoor wordt de temporele dynamiek gedefinieerd. Als gevolg hiervan is een verandering van de saliniteit op een bepaalde lokatie van 10 promille tussen de zomer en wintersituatie (dus 10‰ per 6 maanden) niet automatisch te schalen naar een andere tijdschaal, bijvoorbeeld 0.055‰ per dag.

Voor een aantal, voor het ecologisch functioneren relevante, fysische factoren wordt het volgende voorgesteld met betrekking tot de bandbreedte van verandering en de relevante temporele en ruimtelijke schalen:

Parameter	Eenheid	Bandbreedte	Tijdschaal	Ruimteschaal
Morfo-dynamiek	Δbodemhoogte in m	1 mm ophoging / erosie tot meters ophoging / erosie	enkele maanden tot 1 jaar	honderd meter tot een kilometer
Zout-dynamiek	Δsaliniteit in ‰	34‰ bij Vlissingen tot 10‰ bij Bath	half jaar	enkele tot 10 km
Getij-dynamiek	Δgetijhoogte in m	3.5m bij Vlissingen tot 4.5m bij Bath	dag	tientallen kilometers
Stromings-dynamiek	Δstroomsnelheid in m/s	0 - 2 m/s	dag	tientallen meters
Golf-dynamiek	Δenergie dissipatie (Watt/m^2)	0 - 5 W/m^2	dag	tientallen meters
Zwevend stof-dynamiek	Δgehalte in mg/l	0 - 500 mg/l	maanden	tientallen kilometers

Table 3

⇒ Discussievraag: Zijn dit inderdaad voor ecologische processen de meest relevante schalen?

⇒ Discussievraag: Is de beperkte schaalbaarheid inderdaad hierop van toepassing?

Dynamiekmeetlatten

Dynamiek zou in eerste instantie in drie klassen ingedeeld kunnen worden, laag, midden en hoog. Bijbehorende klassegrenzen zijn zo goed mogelijk gekwantificeerd. De grenzen in deze tabel zijn in grote mate arbitrair en zouden op basis van een data-analyse beter kunnen worden gekwantificeerd.

Morfodynamiek

Voor de morfodynamiek zou kunnen gelden dat een lage temporele dynamiek een verandering van bodemhoogte is van orde grootte millimeters per jaar en een ruimtelijke dynamiek van hellingen orde millimeters per meter. Deze schalen passen goed bij schorren. De middelgrote temporele dynamiek is orde grootte centimeters per jaar bij een helling van centimeters per meter. Deze schalen passen goed bij slikken en platen. De hoog dynamische omstandigheden zijn orde grootte meters per jaar verandering en hellingen van meters per meter. Dit zijn schalen die passen bij megaribbels en drempels. Bij morfodynamiek telt vooral de netto verandering in bodemhoogte maar ook op kortere tijdschaal en kortere ruimteschaal zou dit de bruto verandering kunnen zijn.

Reeds genoemd werd dat veranderingen in een (estuarium) systeem zich op verschillende tijd- en ruimteschalen afspelen. Ribbel-vorming op platen speelt zich af binnen enkele uren en op een schaal van enkele vierkante meters. Tegelijkertijd speelt de ontwikkeling van het gehele gebied zich af op een schaal van eeuwen. Hiertussen bevindt zich een hiërarchie van

morfologische ruimteschalen schalen die elk hun eigen tijdschaal vertonen. De onderstaande tabel geeft hiervan een overzicht.

Mega-schaal dynamiek	Veranderingen op de schaal van het hele estuarium of van de grootste compartimenten van het estuarium (zoals de Westerschelde zelf). De bijbehorende tijdschalen zijn vele eeuwen. De relevante natuurlijke ontwikkelingen en menselijke ingrepen (forcering) zijn zeespiegelrijzing, inpolderingen en doorgaande zandwinning.
Macro-schaal dynamiek	Veranderingen op het niveau van hoofd- en nevengeulen, zoals functiewisseling van de geulen. De bijbehorende tijdschalen zijn decennia. De relevante externe forcering bestaat uit verdiepingen, onderhoudsbaggerwerk, storten van baggerspecie, de 18.6 jarige cyclus van het getij en dergelijke.
Meso-schaal dynamiek	Veranderingen zoals het ontstaan, migreren en verdwijnen van kortsluitgeulen, sedimenttransport over de platen, plaat-geul uitwisseling van sediment, enz. De bijbehorende tijdschalen zijn jaren. Relevante externe forcering bestaat uit extreme condities, getijbeweging, baggeren, storten, zandwinning en invloed van biologie zoals vegetatie op schorren.
Micro-schaal dynamiek	Veranderingen op het niveau van beddingvormen, zoals megaribbels. Bijbehorende tijdschalen zijn dagen. Relevante externe forcering is alleen natuurlijk (getijbeweging, golfwerking, biologie).

Table 4 Definities en hierarchie van morfologische schalen

Gaande van grote naar kleine schaal kan men zich een beïnvloeding voorstellen waarin de hogere schaal steeds de randvoorwaarden van de lagere schaal bepaald. Sterker nog, als de tijdschalen sterk verschillen kan de hogere schaal als een constante factor worden beschouwd voor de lagere schaal. Verondersteld mag worden dat veranderingen op een lager schaalniveau een zekere beïnvloeding van het hogere schaalniveau vertonen. Interessant is dus de bestudering van de mega- en mesoschalen omdat hier zowel invloed naar de micro-schaal en naar de mega-schaal verwacht mag worden.

Zoutdynamiek

Voor de zoutdynamiek in de Westerschelde wordt uitgegaan van de variabiliteit in saliniteit die optreedt in de seizoenen, voornamelijk als gevolg van de verschillen in rivierafvoer van de Schelde. Voor de temporele zoutdynamiek op een specifieke locatie zou kunnen gelden dat een lage dynamiek is gedefinieerd als een verandering in saliniteit van ten hoogste enkele promille tussen zomer- en wintersituatie. Een middelgrote dynamiek ligt in de orde van enkele tot hooguit 10 promille verandering en een hoge dynamiek kan worden gedefinieerd als een verandering groter dan 10 promille.

Onder de ruimtelijke zoutdynamiek wordt verstaan een verandering in saliniteit over een bepaalde afstand op 1 tijdstip beschouwd, met andere woorden een gradiënt in zoutgehalte. De Westerschelde kan beschouwd worden als een goed gemengd systeem, zodat er geen gradiënten in de verticaal bestaan. In dit systeem worden voornamelijk de horizontale

gradiënten bedoeld. Ruimtelijk zeer dynamische systemen kunnen met name worden gevonden op plaatsen waar zoet water wordt gespuid op zout water. Voor de kwantificering wordt voorlopig voorgesteld om als lage dynamiek te hanteren een ruimtelijke verandering van hooguit enkele promille per kilometer, een middelhoge ruimtelijke dynamiek wordt gedefinieerd van enkele tot 10 promille per kilometer en een hoge ruimtelijke dynamiek is groter dan 10 promille saliniteitsverandering per kilometer.

Getijdynamiek

De getijbeweging in de Westerschelde wordt bepaald door vele getijcomponenten op korte (12.5 uur), middellange (spring- en doodtij) tot lange (18,6 jarige cyclus) tijdschalen. Voor wat betreft de temporele dynamiek zou deze op verschillende tijdschalen gedefinieerd kunnen worden, maar het meest relevant is de getijbeweging op de tijdschaal van twee maal per dag. De temporele getijdynamiek wordt gedefinieerd als de verandering in getijhoogte die optreedt per getijperiode voor een bepaalde lokatie. Het gaat hier dus niet om de grootte van de afwijking rondom de dagelijke getijverandering; dat is meer een maat voor de dynamiek van de dynamiek. Gaande van het riviertraject van de Schelde naar de zeemonding is er een duidelijk dynamiek in getijhoogte, die wordt veroorzaakt door de getijbeweging van zee, vernauwing van het estuarium en uitdoving in de rivier. Als mogelijke klassegrenzen worden voorgesteld 0-30cm per getij voor een lage dynamiek, 30-200cm per getij voor een middelhoge dynamiek en >200cm per getij voor hoog dynamisch getijdesysteem.

De ruimtelijke getijdynamiek wordt in deze studie gedefinieerd als de veranderingen in getijhoogte tussen lokaties onderling, als gevolg van verschillen in geometrie van het estuarium (vernauwing) of invloed van de zee. Zo is de getijhoogte bij Vlissingen 3.5m, maar bij Bath is het opgelopen tot 4.5m, waarna de getijhoogte afneemt gaandeweg de rivier op. Deze ruimtelijke gradiënten strekken zich doorgaans uit over grote afstanden (anders zou het hoogteverval resulteren in stroming van het water). Voorgesteld wordt om als klasse-indeling te hanteren: lage dynamiek 0-2cm/10km, middelhoge dynamiek 2-10cm/10km en een hoge dynamiek >10cm/10km.

Stromingsdynamiek

De stromingsdynamiek geeft aan welke variabiliteit er in de stroomsnelheden bestaan. Wanneer verschillende watersystemen met elkaar worden vergeleken zou er een onderscheid gemaakt kunnen worden tussen:

- Meer: geen getij, geen afvoer. Stroomsnelheden over het algemeen laag, hoger bij events als storm.
- Rivier: stroomsnelheid is gekoppeld aan de afvoerkarakteristieken en events.
- Estuarium, kustsysteem: stroomsnelheid is gekoppeld aan getijdebeweging en events.

Binnen het Westerschelde-estuarium kan nog een onderverdeling gemaakt worden. De stroomsnelheid varieert overal tussen 0 m/s bij kerend tij en een maximale stroomsnelheid bij eb en vloed. In de hoofdgeulen worden hogere maximale stroomsnelheden gemeten dan aan op slikken en platen. Bovendien bestaan er variaties in het dagelijkse maximum, dat voornamelijk verband houdt met afwijkingen van het dagelijks tij en ook invloeden van storm. In deze studie wordt voor de temporele dynamiek de overschrijding van een te kiezen grenswaarde voor de stroomsnelheid gekozen, bijvoorbeeld 1 m/s. Voorgesteld wordt voor een lage dynamiek 0-10 maal per jaar overschrijding van 1 m/s, een middelhoge

dynamiek 10-100 maal per jaar overschrijding van 1 m/s en een hoge dynamiek wordt gekenmerkt door meer dan 100 maal per jaar een overschrijding van 1 m/s.
De ruimtelijke dynamiek in stroomsnelheid zou voorgesteld kunnen worden als gradiënten in de stroming. De steilste gradiënten worden aangetroffen dwars op de stroomrichting en hangen vooral samen met de diepte. Parallel aan de stroomrichting worden geen grote gradiënten gevonden (mits er geen rare harde obstructies zijn). Vooralsnog wordt het als weinig zinvol beschouwd de ruimtelijke dynamiek in de stroomsnelheid te definiëren.

Golfdynamiek
De golfdynamiek is een maat voor de variabiliteit die optreedt in de kracht van golven. Een goede maat voor de kracht van golven in een ecotopensysteem is de bodemdissipatie in Watt/m^2, die samenhangt met de orbitaalsnelheid aan de bodem (tot de derde macht). De bodemdissipatie en orbitaalsnelheid worden bepaald door de combinatie van golflengte, golfhoogte en waterdiepte. Een lange deining kan ook bij lage golfhoogtes resulteren in hoge orbitaalsnelheden. In de Westerschelde komen deze lange golven alleen voor nabij de monding. In de rest van het estuarium komen korte golven voor (voornamelijk windgolven). De invloed van een korte golf op de bodemdissipatie is afhankelijk van de waterdiepte. Een vuistregel stelt dat als de significante golfhoogte minder is dan 1/3 van de waterdiepte, de orbitaalsnelheden nabij de bodem nagenoeg nul zijn. De golfhoogte in de Westerschelde hangt samen met de strijklengte die bij een bepaalde windrichting gehaald kan worden.
Als maat voor de dynamiek van de golven wordt voorgesteld om te werken met een overschrijding van een (nader te bepalen) maximale bodemdissipatie. Voor de Westerschelde is een bodemdissipatie van 1 W/m^2 al redelijk groot. Voorgesteld wordt voor een lage dynamiek 0-10 maal per jaar overschrijding van 1 W/m^2 , een middelhoge dynamiek 10-100 maal per jaar overschrijding van 1 W/m^2 en een hoge dynamiek wordt gekenmerkt door meer dan 100 maal per jaar een overschrijding van 1 W/m^2.
Op een grote ruimtelijke schaal kunnen verschillende systemen worden onderscheiden met verschillende eigenschappen voor de golfhoogtes.
De ruimtelijke golfdynamiek hangt zo sterk samen met de bodemhoogte dat hiervoor vooralsnog nog definities worden opgesteld.

Zwevend stofdynamiek
De zwevend stofdynamiek geeft aan welke variabiliteit er bestaat in de troebelheid van het water. Het zwevend stofgehalte in de Westerschelde hangt af van de afvoer van de Schelde, het troebelheidsmaximum als gevolg van saliniteitsverschillen en lokaal opgewoeld sediment, met name bij stormen. Voor de temporele dynamiek wordt de variabiliteit over tijdschalen van een maand beschouwd. Hiervoor wordt gekeken naar de veranderingen in het zwevend stofgehalte voor een bepaalde lokatie. Een lage dynamiek is gedefinieerd als een maandelijkse variatie van ten hoogste 20 mg/l, een middelhoge dynamiek tussen 20 en 100 mg/l en een hoge dynamiek wordt aangetroffen op plaatsen waar het zwevend stofgehalte in een maand tijd meer dan 100 mg/l verschilt.
De ruimtelijke dynamiek in het zwevend stofgehalte betreft de gradiënten in troebelheid. Wanneer bijvoorbeeld het zwevend stofgehalte nagenoeg gelijk blijft over grote afstanden (op 1 tijdstip) is de ruimtelijke dynamiek laag (flauwe gradiënt). Voorgesteld wordt de volgende klassegrenzen te hanteren: lage ruimtelijke dynamiek hooguit 20 mg/l verschil over een kilometer, middelhoge dynamiek 20-100 mg/l per kilometer en een hoge dynamiek >100 mg/l over een kilometer.

Parameter		Laag	Midden	Hoog
Morfo-dynamiek	Tijd	mm-cm/jaar	cm-dm/jaar	dm-m/jaar
	Ruimte	mm-cm/m	cm-dm/m	dm-m/m
Zout-dynamiek	Tijd	0-enkele ppt/half jaar	enkele-10 ppt/half jaar	>10 ppt/half jaar
	Ruimte	0-enkele ppt/km	enkele-10ppt/km	>10 ppt/km
Getij-dynamiek	Tijd	0-30cm/getij	30-200cm/getij	>200cm/getij
	Ruimte	0-2cm/10km	2-10cm/10km	>10cm/10km
Stromings-dynamiek	Tijd	0-10 keer per jaar overschrijding van 1 m/s	10-100 keer per jaar overschrijding van 1 m/s	>100 keer per jaar overschrijding van 1 m/s
	Ruimte			
Golf-dynamiek	Tijd	0-10 keer per jaar overschrijding van 1 W/m^2	10-100 keer per jaar overschrijding van 1 W/m^2	>100 keer per jaar overschrijding van 1 W/m^2
	Ruimte			
Zwevend stof-dynamiek	Tijd	0-20 mg/l/maand	20-100 mg/l/maand	>100 mg/l/maand
	Ruimte	0-20 mg/l/km	20-100 mg/l/km	>100 mg/l/km

Tabel 1 Klassegrenzen voor dynamiek in tijd en ruimte.

NB. In deze tabel proberen we de mate van verandering te kwantificeren. Voor zoutdynamiek betekent dit bijvoorbeeld dat dynamiek klasse 'Laag' zowel in een overwegend zoet als zout systeem kan voorkomen.

⇒ Discussievraag: Zijn dit correcte en hanteerbare dynamiekeenheden?

Levensgemeenschappen en dynamiek

De effecten van dynamiek op levensgemeenschappen zijn zeer afhankelijk van de gevoeligheid van levensgemeenschappen voor processen in bepaalde schalen. Wat door de ene levensgemeenschap als zeer dynamisch wordt ervaren wordt door een andere wellicht niet eens opgemerkt. Dit heeft te maken met de typische tijdschalen van levensgemeenschappen en de tijdschalen van de verandering van fysische parameters. Voor een aantal levensgemeenschappen is een indicatieve tijdschaal voorgesteld. Deze tijdschaal geeft de relevante tijd weer waarbinnen veranderingen binnen een levensgemeenschap (in populatie-opbouw of soortensamenstelling) zich voor kunnen doen.

Levensgemeenschap	Tijdschaal
Microfytobenthos	2 weken
Polychaeten	1 jaar
Kokkelbank	3 jaar

Vogels	decennium
Vissen	decennium
Schorren	decennia

Deze intrinsieke tijdschalen van levensgemeenschappen zijn bepalend voor de invloed die dynamiek uitoefent op de levensgemeenschappen. Volgens schaalregels zouden invloeden van een hogere schaal als (constante) randvoorwaarde voor een lagere schaal kunnen worden gezien. Bijvoorbeeld een bruto bodemhoogteverandering van orde grootte 10 centimeter per jaar op een plaat heeft op het habitat van een kokkelbank een grotere invloed terwijl dit van weinig invloed zou zijn op het habitat van microfytobenthos omdat voor de laatste gemeenschap de relevante tijdschaal veel geringer is en deze bodemhoogte-verandering bijna als constante randvoorwaarde kan worden beschouwd. Voor schorren zou een bruto verandering van 10 centimeter per jaar, met een netto verandering van nul centimeter, als ruis kunnen werken, zonder een effect te sorteren. Een netto verandering van een centimeter per jaar zou daarentegen wel een invloed kunnen hebben.

Ook voor ruimteschalen kennen we typische schalen van levensgemeenschappen en de ruimteschalen van de verandering van fysische parameters. Voor een aantal levensgemeen-schappen is een indicatieve ruimteschaal voorgesteld. Deze schaal geeft de relevante ruimte weer waarbinnen veranderingen binnen een levensgemeenschap (in populatie-opbouw of soortensamenstelling) zich voor kunnen doen. Voor sommige levensgemeenschappen gaat deze ruimtelijke schaal de schaal van de Westerschelde vele malen te boven. Populatie-veranderingen voor trekvogels bijvoorbeeld kunnen zich uitstrekken tot de arctische toendra waar misschien in een bepaald jaar een hogere predatie op jongen door sneeuwvossen is doordat het aan konijnen ontbreekt. Voor deze studie wordt de Westerschelde schaal als grootste schaalniveau gehanteerd.

Levensgemeenschap	Ruimteschaal
Microfytobenthos	microschaal
Zoobenthos	micro-mesoschaal
Schorren	meso-macroschaal
Broedvogels, standvissen	macro-megaschaal
Trekvogels, trekvissen	veel groter

N.B. De gehanteerde definities voor schaalniveau's zijn dezelfde als de morfologische ruimteschalen.

De consequentie van de verschillen in ruimtelijke schalen voor levensgemeenschappen is bijvoorbeeld dat een verandering op mesoschaal sterke invloed heeft op lokaal voorkomende schorren en benthos-gemeenschappen maar minder op de hogere ruimteschaal van broed- en trekvogels in het gebied.

⇒ Discussievraag: Vanuit de levensgemeenschappen redenerend zou het zo kunnen zijn dat iedere levensgemeenschap zijn eigen specifieke tijd- en ruimteschalen voor dynamiek kent. Dit zou dynamiekmeetlatten per levensgemeenschap opleveren. Is dat zo?

Relativiteit van dynamiek

De invloed die dynamische veranderingen kunnen uitoefenen op soorten of levensgemeenschappen is afhankelijk van de grootte van die verandering ten opzichte van de soort of levensgemeenschap. Dit kunnen we verduidelijken aan de hand van een voorbeeld van een saliniteitsgradient. Wanneer een steile saliniteitsgradient langzaam over een gebied trekt is de verandering in saliniteit op een lokatie x groot. Deze verandering in saliniteit is ook groot wanneer een flauwe saliniteitsgradient snel over een gebied trekt. Met andere woorden, een hoge dynamiek kan veroorzaakt worden door een combinatie van temporele en ruimtelijke dynamiek en hangt af van het standpunt van de waarnemer. Daar bovenop geldt dat de invloed die dynamiek heeft afhankelijk is van de eigenschappen van de waarnemer. Dit benoemen we in deze studie als de relativiteit van dynamiek.

Dynamiek-klassegrenzen zijn geldig voor afgebakende relevante tijd- en ruimteschalen en zijn niet schaalbaar niet hogere of lagere schaalniveau's. Bijvoorbeeld voor morfodynamiek bestaat er in werkelijkheid variabiliteit op iedere denkbare schaal, van uur tot eeuw, en van cm^2 tot km^2, maar er kan een keuze gemaakt geworden voor de meest relevante schalen voor het ecosysteem. Met de keuze van deze relevante dynamiekschalen hangt de invloed van de dynamiek op de levensgemeenschappen samen. Voor morfodynamiek is bijvoorbeeld een keuze gemaakt voor dynamiek op een tijdschaal van maanden tot een jaar en op een ruimteschaal van het micro-meso systeem (beddingvormen, plaat-geul complexen). Sommige levensgemeenschappen hebben intrinsieke tijd- en ruimteschalen die bij de fysieke tijd en ruimteschalen passen, terwijl anderen er buiten vallen. Microfytobenthos bijvoorbeeld valt binnen de relevante ruimteschaal, maar buiten de relevante tijdschaal. Het is dan ook minder gevoelig voor dynamiek in de tijd (die voor microfytobenthos te langzaam gaat) dan in de ruimte. Schorren gaan beide relevante fysieke schalen te boven en zijn daarom minder gevoelig voor deze dynamiek.

⇒ Discussievraag: Wanneer we uitgaan van beperkte schaalbaarheid zitten we dus met een beperkt invloedsgebied van dynamiek. Wat voor consequenties heeft dat?

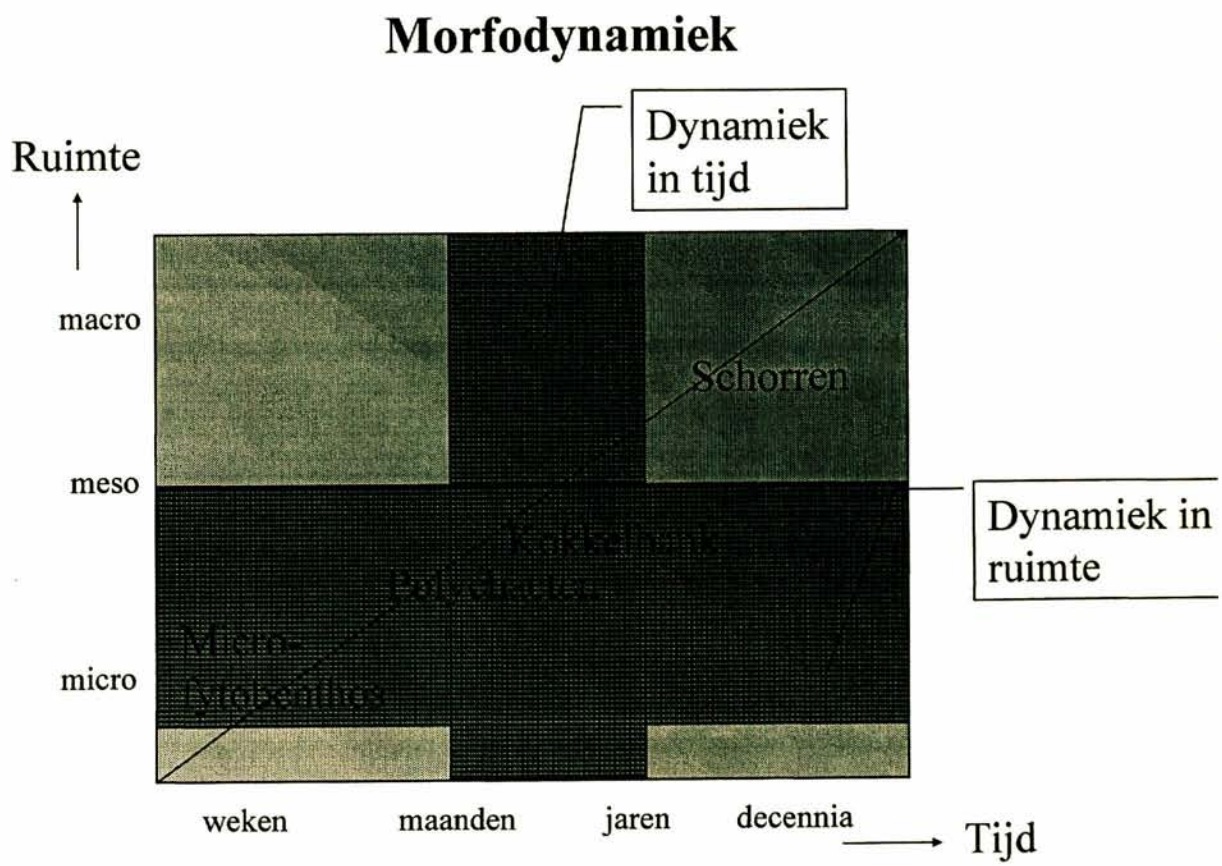


Figure 14

Invloed van dynamiek op levensgemeenschappen

Zoals gesteld in de voorgaande secties hangt de impact van de dynamiek van het systeem op de levensgemeenschappen in het systeem af van de tijd- en ruimteschaal van de waarnemer (de levensgemeenschap). Samenvattend wordt de invloed van het fysische milieu op een levensgemeenschap bepaald door de combinatie van:

1. de waarde van fysische parameters (fysiotopen)
2. de dynamiek van de fysische parameter.

Dat betekent dat we naast een geschiktheidskaart op basis van een classificeren van waarden van fysische parameters (de 'klassieke' fysiotopenkaart) ook een kaart kunnen maken die de geschiktheid van het gebied voor het voorkomen van levensgemeenschappen weergeeft op basis van de dynamiek van de geselecteerde parameters. Het is daarvoor nodig dat de dynamiek–klassenindeling per parameter wordt gekoppeld aan de voorwaarden die een levensgemeenschap stelt om voor te kunnen komen in een bepaald gebied, zeg maar de fysiotoop.

In schematische vorm:

abiotiek	fysiotoop	dynamiek	levensgemeenschap
Gemeten of berekende parameterwaarden	Via indeling-systeem wordt de fysiotoop bepaald		
			Meest geschikte levensgemeenschap in combinatie van de fysiotoop en de systeemdynamiek.
Gemeten of berekende dynamische meetlatten		Via definities wordt de dynamische klassificatie bepaald	

De mate van de dynamiek in tijd en ruimte kan gekoppeld worden aan de eigenschappen van de levensgemeenschap die het betreft. In onderstaande tabellen is een aanzet gemaakt voor de invloed die dynamiek in tijd en ruimte heeft op levensgemeenschappen. In deze tabel betekent:

- Ongeschikt/Gevoelig
0 Overgangszone
+ Geschikt/Ongevoelig

Morfodynamiek		Laag mm-cm/jaar mm-cm/m	Midden cm-dm/jaar cm-dm/m	Hoog dm-m/jaar dm-m/m
Microfytobenthos	Tijd (2 weken) Ruimte (micro)	+ -	0 -	- -
Polychaeten	Tijd (1 jaar) Ruimte (micro-meso)	+ 0	+ -	- -
Kokkelbank	Tijd (3 jaar) Ruimte (micro-meso)	+ +	+ 0	- -
Schorren	Tijd (decennia) Ruimte (meso-macro)	+ +	0 +	- -

Zoutdynamiek		Laag 0-enkele ppt/ half jaar 0-enkele ppt/km	Midden enkele-10 ppt/half jaar enkele-10ppt/km	Hoog >10 ppt/half jaar >10 ppt/km
Microfytobenthos	Tijd (2 weken) Ruimte (micro)	+ +	0 +	- 0
Polychaeten	Tijd (1 jaar)	+	0	-

	Ruimte (micro-meso)	+	0	-
Kokkelbank	Tijd (3 jaar)	+	0	-
	Ruimte (micro-meso)	+	0	-
Schorren	Tijd (decennia)	+	+	0
	Ruimte (meso-macro)	+	0	-

Getijdynamiek		Laag 0-30cm/getij 0-2cm/10km	Midden 30-200cm/getij 2-10cm/10km	Hoog >200cm/getij >10cm/10km
Microfytobenthos	Tijd (2 weken)	+	+	0
	Ruimte (micro)	+	+	+
Polychaeten	Tijd (1 jaar)	+	+	0
	Ruimte (micro-meso)	+	+	0
Kokkelbank	Tijd (3 jaar)	+	+	0
	Ruimte (micro-meso)	+	+	0
Schorren	Tijd (decennia)	+	0	-
	Ruimte (meso-macro)	+	+	0

Stromings-dynamiek		Laag 0-10 keer per jaar overschrijding van 1 m/s	Midden 10-100 keer per jaar overschrijding van 1 m/s	Hoog >100 keer per jaar overschrijdin g van 1 m/s
Microfytobenthos	Tijd (2 weken)	-	-	+
Polychaeten	Tijd (1 jaar)	-	-	+
Kokkelbank	Tijd (3 jaar)	-	-	+
Schorren	Tijd (decennia)	+	0	-

Golfdynamiek		Laag 0-10 keer per jaar overschrijding van 1 W/m^2	Midden 10-100 keer per jaar overschrijding van 1 W/m^2	Hoog >100 keer per jaar overschrijding van 1 W/m^2
Microfytobenthos	Tijd (2 weken)	+	0	-
Polychaeten	Tijd (1 jaar)	+	+	0
Kokkelbank	Tijd (3 jaar)	+	0	-
Schorren	Tijd (decennia)	0	-	-

Zwevend stofdynamiek	Laag	Midden	Hoog

		0-20 mg/l/maand 0-20 mg/l/km	20-100 mg/l/maand 20-100 mg/l/km	>100 mg/l/maand >100 mg/l/km
Microfytobenthos	Tijd (2 weken) Ruimte (micro)	+ +	+ +	+ +
Polychaeten	Tijd (1 jaar) Ruimte (micro-meso)	+ +	+ +	0 0
Kokkelbank	Tijd (3 jaar) Ruimte (micro-meso)	+ +	0 0	0 0
Schorren	Tijd (decennia) Ruimte (meso-macro)	+ +	0 0	- -

Uit bovenstaande tabel kun je afleiden dat bijvoorbeeld schorren kunnen voorkomen in een bepaalde fysiotoop, mits er sprake is van laag dynamische omstandigheden.

Discussievraag: Is dit een juiste inschatting van de invloed van dynamiek op de levensgemeenschappen?

D Beschikbare data en modellen voor onderbouwing van een concept

Voor het kwantificeren van graadmeters zijn fysische gegevens uit verschillende watersystemen noodzakelijk. Per fysische parameter wordt beschreven wat de beschikbare informatie is en op welke wijze deze informatie bruikbaar kan worden gemaakt voor toepassing in het systeem.

Morfodynamiek

Estuaria zijn dynamische gebieden. Door de invloed van de zee kent het gebied getij met daarbij behorende stroming en sedimenttransport. Tegelijkertijd wordt het gebied beïnvloedt door een variabele rivierafvoer die zorgt voor een sterke dynamiek in zoutgehalte. Veranderingen spelen zich af op verschillende tijd- en ruimteschalen. In grote lijnen blijken drie kenmerkende toestanden voor te komen in een estuarium, afhankelijk van omvang van het getijde gebied, de rivierafvoer, de relatieve zeespiegelstijging en de hoeveelheid beschikbaar sediment. Een kenmerkend type is het systeem met een enkele geul en aangrenzende platen, slikken en schorren. Dit type is karakteristiek voor een verlandend systeem. De Eems-Dollard kan worden genoemd als voorbeeld. Een ander type is een zogenaamd 'verdronken' estuarium, waarbij geen platen meer droogvallen. Tenslotte is er een tussenvorm met een meergeulensysteem met bijbehorende tussenliggende platen en slikken. Afhankelijk van de verhouding tussen zeespiegelrijzing en sedimentaanbod kan zo'n systeem gaan verlanden of verdrinken. De Westerschelde is een voorbeeld van zo'n meergeulensysteem dat in een dynamisch evenwicht verkeert op een tijdschaal van decennia. De combinatie van ingrepen en zeespiegelrijzing heeft geleid tot de huidige situatie van het systeem. De morfologie van het systeem bepaalt in combinatie met de invloed van de zee en de rivier de hydrodynamische eigenschappen van het systeem. Gaande van de zeewaartse kant naar de landwaartse kant van een estuarium veranderen de vorm en amplitude van het getij geleidelijk. De lokale vorm van het systeem, de ligging van geulen en platen, beïnvloedt de lokale hydrodynamiek en leidt tot de vorming van eb- en vloedscharen, drempels en kortsluitgeulen elk met karakteristieke verdeling van stroomsnelheden gedurende het getij. Tenslotte bepaalt de geometrie van het systeem en de afstand tot de zee in sterke mate hoezeer golfwerking invloed uitoefent op de lokale eigenschappen van het systeem.

Intermezzo
De Westerschelde wordt gekarakteriseerd door een meergeulensysteem met hoofd- en nevengeulen, vloed- en ebscharen, relatief stabiele platen en hoogdynamische gebieden welke gevonden worden waar eb- en vloedgeulen door relatief kleine kortsluitgeulen met elkaar worden verbonden. Het mondingsgebied, de Voordelta, vormt een groot en integraal onderdeel van het totale Schelde-estuarium.

Bedijkingen en inpolderingen in het verleden hebben geleid tot een fixatie en stroomlijning van het totale estuarium. De breedte van het systeem ligt vast waardoor het systeem op mega-schaal geen horizontale vrijheidsgraden meer heeft. Gestuurd door deze vastlegging heeft het Schelde-estuarium een groot en opvallend regelmatig repeterend patroon ontwikkeld. Dit bestaat uit een systeem van gekromde ebgeulen en, min of meer parallel daaraan, grote rechte vloedgeulen. Kleinere 'kortsluitgeulen' vormen de verbinding tussen de hoofdgeulen. De dynamiek en het regenererend vermogen van het huidige geulplaatsysteem worden in belangrijke mate bepaald door de aanwezigheid en het quasi-cyclische gedrag van de kortsluitgeulen, met name daar waar eb- en vloedgeulen elkaar ontmoeten. De aanwezigheid van het meergeulensysteem op macroschaal is de motor voor het bestaan van de kortsluitgeulen (naar Winterwerp, 2000).

Bovenstaande processen worden voor het systeem uitgedrukt als de verandering van de parameter bodemhoogte in ruimte en tijd. Voor de Westerschelde is deze parameter op basis van historische kaarten in aanzienlijk detail bekend. De rapporten van S. Huijs (S.W.E. Huijs 1995) en P. Sistermans (1996) zijn onder andere hiervoor een goede basis. Verder is in het kader van LTV een historische analyse uitgevoerd naar morfologische veranderingen en tijdschalen (Winterwerp, 2000). Op basis van GIS-kaarten kan de morfodynamiek voor de Westerschelde in voldoende detail worden gekwantificeerd.

Voor de Waddenzee is deze informatie eveneens goed bekend. Zie proefschrift van Albert Oost (Oost 1995) en werk van Dittman (1999). Bij RIKZ kan op basis van GIS-kaarten de meetlat worden gekwantificeerd. Door WL zijn in het kader van morfologische studies voor de Waddenzee modeltoepassingen voor het Friesche Zeegat beschikbaar.

Getijdynamiek

Er zijn gedetailleerde meetsets beschikbaar die de ontwikkeling van het getij in het Scheldegebied beschrijven (zie bijv. J. Claessens 1994). Op basis van toepassing van mathematische modellen is een gedetailleerde kwantificering van getijslag op elke locatie van de Schelde mogelijk. Zowel de variatie in ruimte als tijd kan hiermee worden gekwantificeerd. De invloed van extreme events zoals afvoerpieken en storm op de frequentie van voorkomen van extreme waterhoogtes is te berekenen. Beschikbaarheid is op dit moment nog niet bekend.

Stromingsdynamiek

Er zijn gedetailleerde modellen beschikbaar die de ruimtelijke stroompatronen in het Westerschelde en Waddenzee systeem kwantificeren. De invloed van extreme events zoals afvoerpieken en storm op de frequentie van voorkomen van extreme stroomsnelheden is te berekenen. Beschikbaarheid is op dit moment nog niet bekend.

Voor de Waddenzee zijn de stroomsnelheden in het kader van GEM-modellering berekend (cyclisch getij, 2d, meerdere jaren en afvoercondities zijn doorgerekend). De invloed van events zoals storm zijn hierin als forcing function op horizontale dispersie snelheid geparameteriseerd (in experimentele fase).

Golfdynamiek

Er zijn slechts beperkte datasets beschikbaar. Door bureau Alcyon is een studie uitgevoerd naar de extreme golfcondities die voorkomen op de Westerschelde (Alcyon ...). Door RIKZ is een studie uitgevoerd naar de mogelijkheden van experimentele schorverdediging van de Zuidgors (RIKZ 98.017). Vanwege de kleine tijd- en ruimteschalen van golfwerking zijn deze data onvoldoende om golfdynamiek te kunnen kwantificeren. Uit de wetenschappelijke literatuur (o.a. de Jonge 1995) is wel iets bekend over de relaties tussen windsnelheid en resuspensie van sediment. Deze data zouden bruikbaar kunnen zijn om drempelwaarden voor dynamiek-klassen af te leiden. Verder zijn empirische relaties bekend die de golflengte en golfperiode koppelen aan de diepte waar golfenergie de bodem kan raken (zie bijvoorbeeld werk van van Rijn ....) en wanneer golven breken.

De kwantificering van de meetlat golfdynamiek is afhankelijk van gedetailleerde modellering van golfklimaat op basis van bijvoorbeeld een set van empirische regels.

Fysiotopen en ecotopen

Uit de ontwikkeling van het concept is gebleken dat de relatie tussen de fysische eigenschappen van een watersysteem en de biologische componenten niet eenduidig valt vast te stellen. De grootte van het systeem, de versnippering, maar ook de snelheid van veranderingen in tijd en ruimte bepaalt mede de ontwikkeling van levensgemeenschappen. Hiernaast bepalen de eigenschappen van de levensgemeenschappen zelf ook de gevoeligheid voor dynamische veranderingen in het systeem. Dit geldt natuurlijk ook voor de afzonderlijke soorten die deel uitmaken van zo'n levensgemeenschap. Definitie en kartering van fysiotopen alleen levert daarom niet voldoende informatie om het voorkomen van levensgemeenschappen/soorten te voorspellen.

Conclusie is dan ook dat het analyseren van dynamiek van het abiotische systeem een belangrijk meerwaarde heeft als dit ook vanuit het oogpunt van de waarnemer, de levensgemeenschap wordt gedaan. Dit houdt in dat bepaling van de dynamiek van een watersysteem niet noodzakelijk is om fysiotopen te beschrijven, maar mogelijk wel nodig is om de vertaling van fysiotopen naar ecotopen te kunnen maken.

Op grond hiervan wordt geconcludeerd dat een analyse van het voorkomen van levensgemeenschappen en/of specifieke soorten bij specifieke fysiotopen gerelateerd moet worden aan de variaties in systeemdynamiek zoals die uit historische analyses en modelberekeningen kunnen worden bepaald. Hieruit moeten klassegrenzen voor afzonderlijke aan de biologie gerelateerde parameters kunnen worden bepaald, die een betekenis hebben voor het voorkomen van ecotopen. Dit kan worden geïnterpreteerd als een extra dimensie in de aanpak zoals die door zowel RIZA/ALTERRA als Seminara wordt gehanteerd.

Gebruikmakend van deze extra 'dimensie' in combinatie met de bepaling van de meest waarschijnlijk 'vorm' van een gebied levert mogelijk per "graadmeter" voldoende informatie op die kan worden gekarteerd en waarvan de ecologische betekenis dan duidelijk is.

E Ecotopenbenaderingen

In 1994 is in het kader van BEON (Beleidsgericht Ecologisch Onderzoek van de Noordzee/Waddenzee) begonnen met het onderzoeken van habitatkarakteristieken van de Nederlandse kustzone. Het eerste project bestond uit drie deelstudies waarin onder andere is onderzocht welke (a)biotische factoren het voorkomen van macrobenthos en de visfauna in de Nederlanse kustzone bepalen (Leewis *et al.* 1998). Een jaar later werd een onderzoek uitgevoerd om de habitatkartering van de Nederlandse kustwateren nader uit te werken, waarbij een viertal deelstudies werden uitgevoerd. Deze studies waren:

- het beschrijven van een methodiek voor het maken van ecotopenkaarten (uitgewerkt aan de hand van bodemdieren in de westelijke Waddenzee);
- het beschrijven van de samenstelling en verspreiding van visgemeenschappen in de Nederlandse kustzone;
- testen van in de eerste twee deelstudies geformuleerde hypotheses over de relatie tussen de verspreiding van functionele vissoort-groepen en de habitatkarakteristieken;
- en het onderzoeken van de invloed van waterbeweging op het voorkomen van bodemdieren in de Westerschelde;

(Wintermans *et al.* 1996)
Het laatste deelproject betreft een onderzoek naar de invloed van de hydrodynamiek op verschillende ruimtelijke schalen en is één van de weinige studies waar naar de beïnvloeding van de abiotica op de ruimtelijke variatie van organismen werd gekeken.

Vervolgens werd door Leewis *et al.* (1998) een voorzet voor een ecotopenindeling van de Nederlandse kustwateren gemaakt. De methode bestond uit het beschrijven van de criteria die de estuarium ecotopen onderscheiden, gevolgd door een indeling op ecoserie-niveau op basis van conditionerende factoren en vervolgens een verfijning van de indeling op basis van operationele factoren. Er werd vooral aandacht besteed aan de voor het voorkomen van organismen belangrijke verschillen tussen hoog- en laagdynamische fysische processen die dan ook werden teruggevoerd naar de ecotopenindeling. Hun indeling wordt gekenmerkt door de oorzakelijke reeks "waterbeweging - morfologie en bodemsamenstelling - biologie", welke de randvoorwaarden voor het wel of niet voorkomen van de levensgemeenschappen en dus de ecotopen bepaalt. De indeling is volgens hun eigen zeggen in hoofdzaak dezelfde als het CML-ecotopensysteem, met als belangrijkste verschil dat de indeling van het ecotopensysteem zoals voorgesteld door Leewis *et al.*, meer door dieren is gedomineerd (een consequentie van het feit dat het zoute wateren systeem driedimensionaal is in tegenstelling tot het terrestrische systeem en dus plantengroei maar tot een beperkte waterdiepte mogelijk. Bovendien spelen de substraten in het zoute water een rol; niet alle substraten zijn geschikt voor plantengroei).

Aan de hand van de klassegrenzen voor de onderscheidende fysische parameters die door Leewis et al. zijn ontwikkeld is een voorlopige algemene ecotopenkaart voor de Waddenzee gemaakt (de Jong et al. 1998). Verschoore de la Houssaye (1998, in Leewis et al. 1998) heeft een ecotopenkaart gemaakt voor de Westerschelde met zes ecotopen, onderscheiden op basis van de hoogteligging en de dynamiek. Deze kaarten zijn gemaakt volgens een methodiek dat ontwikkeld is door RIKZ binnen het project HABIMAP, waarbij een GIS-

applicatie is ontwikkeld in ArcInfo voor het samenstellen van ecotopenkaarten (Hartholt 1998b).

Volgens de HABIMAP methodiek zijn ook de eerste abiotiek kaarten (Hartholt 1998b) en ecotopenkaarten (Hartholt 1998a) van het Nederlands Continentaal Plat ontwikkeld bij RIKZ. Deze worden sindsdien aan de hand van de laatste inzichten en nieuw beschikbaar gekomen gegevens aangevuld en verbeterd. Nieuw verkregen monitoringsgegevens worden gebruikt om de kaarten te verbeteren of uit te breiden of te valideren.

Bij de meeste zoutwater ecotopenclassificatie projecten wordt er vooral naar de bodem gekeken en naar de relatie tussen de benthische soorten en fysische faktoren zoals bodemsamenstelling en dieptegegevens in relatie tot phyto- en zoobenthos gegevens. Er wordt nu in toenemende mate gekeken naar het pelagische gedeelte van de zoutwater-systemen, waardoor ook de processen in de gehele waterkolom (bijvoorbeeld primaire productie) worden meegenomen in de ontwikkeling van ecotopenkaarten (Hartholt 1998a)

WL | Delft Hydraulics

Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon 015 285 85 85
telefax 015 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl

Rotterdamseweg 185
p.o. box 177
2600 MH Delft
The Netherlands
telephone +31 15 285 85 85
telefax +31 15 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl