

**Stand van zaken ontwikkeling
pelagisch ecotopenstelsel
december 2002**

WERKDOCUMENT RIKZ/OS/2002.840x

11 december 2002-12-12

H. Bouma, M. Lievaart, D.J. de Jong

Inhoudsopgave

Dankwoord	5
1. Inleiding	7
2. Werkwijze	9
3. Indelingskenmerken, parameters en klassegrenzen	15
3.1 Overzicht	15
3.2 Saliniteit	19
3.3 Turbulentie	23
3.4 Verblijftijd	27
3.5 Primaire productie en limitatie door licht en/of nutriënten	31
4. Pelagische ecotopen in het Schelde estuarium	39
5. Pelagische ecotopen in andere Nederlandse watersystemen	43
6. Aansluiting met de EUNIS classificatie	45
7. Aanbevelingen voor vervolgstappen	47
8. Literatuurlijst	51
Bijlage 1. In een eerder stadium wel onderzochte, maar niet opgenomen parameters	
Bijlage 2. Kaarten gemiddelde zoutgehalte en zoutvariatie Schelde estuarium	
Bijlage 3. Kaart turbulentie Schelde estuarium	
Bijlage 4. Kaart verblijftijd Schelde estuarium	
Bijlage 5. Kaart limitatiefactor primaire productie Schelde estuarium	

Dankwoord

Bij het ontwikkelen van het pelagische ecotopenstelsel (tot zover) heeft een groot aantal mensen adviezen gegeven, meegewerkt en meegedacht. Op alfabetische volgorde zijn dit::

Hanneke Baretta-Bekker (RIKZ) - licht- en nutriëntlimitatie
Herman Haas (RIKZ) - ecologie en processen
Peter Herman (NIOO-CEME) - ecologie en processen
Albert Holland (DZL) - Venetië-systeem
Bart Kornman (RIKZ) - hydrodynamiek
Jacco Kromkamp (NIOO-CEME) – ecologie, processen en gegevensverstrekking
Dirk van Maldegem (RIKZ) - hydrodynamiek
Kees v/d Male (RIKZ) - vervaardigen kaarten
Theo Prins (RIKZ) - ecologie en processen
Adriaan van Rijnsdorp (RIVO) – turbulentie, kinderkamerfunctie
Bram Schouwenaar (RIKZ) - vervaardigen dieptekaart, topografie
Fred Twisk (RIKZ) – ecologie, vervaardigen zoutkaart
Bert Wetsteijn (RIKZ) - ecologie en processen
Annette Wielemaker (NIOO-CEME) - gegevensverstrekking

1. Inleiding

Binnen het RIKZ-project WONS-ecotopen wordt sinds begin 2000 gewerkt aan de ontwikkeling van een pelagisch ecotopenstelsel, waarmee aan de hand van abiotische omgevingsfactoren verschillende typen waterkolommen in kaart kunnen worden gebracht. Daarbij is het de bedoeling om de indeling van het pelagische ecotopenstelsel (door middel van parameters en klassegrenzen) te baseren op het voorkomen van ecologische processen en organismen in de waterkolom, het pelagiaal. Het pelagische ecotopenstelsel wordt ontwikkeld in aansluiting op het reeds bij het RIKZ ontwikkelde Zoute wateren Ecotopen Stelsel (ZES; Bouma et al., in voorber.), waarvan de indeling gebaseerd is op ecologische processen en het voorkomen van organismen in en vlak boven de bodem (benthisch).

Het benthische ecotopenstelsel voor de brakke en zoute wateren (ZES) is één van de ecotopenstelsels uit de serie RijksWateren Ecotopen Stelsels (RWES), waarin ecotopenstelsels zijn uitgewerkt voor alle soorten rijkswateren, zoals meren, rivieren, kanalen en estuaria (Rademakers & Wolfert, 1994; Van der Meulen, 1997; Maas, 1998; Peters, 1999; Van der Molen et al., 2000; Lorenz, 2001). Bij de ontwikkeling van het pelagische ecotopenstelsel wordt in grote lijnen dezelfde opzet toegepast als in de RWES-stelsels (zie voor uitgangspunten en plan van aanpak Wolfert, 1996).

Voor het pelagische ecotopenstelsel worden (voorlopig) dezelfde definities van *ecotoop* en *ecotopenstelsel* gehanteerd als voor de overige RWES-stelsels (Wolfert, 1996):

Ecotopen zijn ruimtelijk te begrenzen ecologische eenheden, waarvan de samenstelling en ontwikkeling worden bepaald door abiotische, biotische en antropogene condities ter plaatse. Een *ecotoop* is een herkenbare, min of meer homogene landschappelijke eenheid.

Een *ecotopenstelsel* is een classificatiesysteem van ecotopen waarin de van belang zijnde ecotopen in een gebied (watersysteem) op overzichtelijke wijze gerangschikt zijn. Kenmerkend voor een ecotopenstelsel is dat de indelingskenmerken van het stelsel zijn gekoppeld aan beleids- en beheersmaatregelen.

Internationaal wordt over het algemeen de term '*habitat*' gebruikt, zoals in de Europese EUNIS (European Nature Information System) habitat classification (<http://mrw.wallonie.be/dgrne/sibw/EUNIS/home.html>) (zie ook hoofdstuk 6). In Nederland hebben de termen *ecotoop* en *habitat* echter een verschillende betekenis. Een *habitat* kan meerdere ecotopen omvatten, en wordt hier gedefinieerd als (De Jong, 1999):

Een *habitat* is de leefomgeving waarin een bepaalde soort leeft. Een soort kan verschillende habitats nodig hebben in de loop van een jaar of zijn levenscyclus. Deze habitats kunnen bij elkaar liggen (bijvoorbeeld lage zandplaat – hoge zandplaat; lage zandplaat – sublitoraal) of in verschillende gebieden liggen (bijvoorbeeld toendra Siberië – Waddenzee).

Binnen een *ecotoop* komt een bepaalde gemeenschap van organismen voor. Een voorbeeld van een benthisch *ecotoop* is een zandplaat waarin een gemeenschap van ingegraven bodemdieren voorkomt. Deze gemeenschap trekt weer andere organismen

aan, door in dit geval een bron van voedsel te zijn voor vissen en vogels. Voor de momenteel onderscheiden (voorlopige) pelagische ecotopen is de ecologische inhoud nog niet vastgesteld. Voor de verdere ontwikkeling van het pelagische ecotopenstelsel is het nodig hier in de toekomst verder aan te werken. Evenals voor de bentische ecotopen zou voor elk pelagisch ecotoop beschreven moeten worden welke processen er spelen, wat het resultaat daarvan is in het betreffende ecotoop, en welke karakteristieke en algemene pelagische soorten in het ecotoop voorkomen. Voorbeelden van ecologische processen die spelen in de waterkolom zijn bijvoorbeeld de relatie tussen het zoutgehalte en het voorkomen van organismen (zie paragraaf 3.2), en de invloed van licht en nutriënten op de primaire productie (zie paragraaf 3.5).

In voorliggend werkdocument wordt beschreven wat de stand van zaken is (december 2002) wat betreft de ontwikkeling van een pelagisch ecotopenstelsel. De beschrijving omvat vooral de gedachtengangen en de keuzes (voor parameters, klassegrenzen etc.) die tot nu toe wel of (nog) niet gemaakt zijn, en geeft een eerste idee voor een pelagische ecotopenclassificatie voor het Schelde estuarium. De classificatie is bedoeld als voorbeeld voor de richting waarin gedacht zou moeten worden inzake pelagische ecotopen. De aandacht is in eerste instantie voornamelijk gericht geweest op het Schelde estuarium, mede vanwege de uitgebreide meetnetten en datasets die voor dit watersysteem beschikbaar zijn. Aangezien voor een ecotopenstelsel de algemene geldigheid een belangrijk punt is, wordt in voorliggend werkdocument tevens een eerste link gelegd naar de andere Nederlandse brakke en zoute watersystemen.

2. Werkwijze

Bij het ontwikkelen van een pelagisch ecotopenstelsel, bedoeld om verschillende typen waterkolommen in kaart te brengen, komen kwesties en vragen naar voren die voor een bentisch ecotopenstelsel niet aan de orde zijn. Een voorbeeld hiervan is dat watermassa's in getijdewateren voortdurend in beweging zijn en zich niet continu op dezelfde plaats bevinden. Een bepaalde watermassa kan zich in de loop van de tijd (bijvoorbeeld een getijcyclus) zowel in een geul als boven een plaat bevinden. In stagnante wateren is dit uiteraard minder aan de orde, en zijn de pelagische ecotopen statischer.

Een ander voorbeeld is het vraagstuk hoe om te gaan met de situatie wanneer zich verschillende soorten waterlagen op dezelfde lokatie bevinden, zoals het geval is bij een gestratificeerde waterkolom. Wordt de gestratificeerde waterkolom als één pelagisch ecotoop gezien, of bevinden zich twee pelagische ecotopen boven elkaar? Over dit punt is momenteel nog geen beslissing genomen.

Een verschil met bentische ecotopen is dat bentische ecotopen als een soort landschap kunnen worden beschouwd. Vaak zijn de (drooggevalen) bentische ecotopen in het veld herkenbaar aan bepaalde landschappelijke eigenschappen, zoals het voorkomen van Schelpkokerwormen (*Lanice conchilega*) in het lage litoraal en het voorkomen van Engels Slijkgras (*Spartina anglica*) in het hoge litoraal. Een pelagisch ecotoop is daarentegen in het veld eigenlijk niet herkenbaar. Wel kan een indicatie van bepaalde eigenschappen, zoals de troebelheid van het water en de stroming, in het veld waargenomen worden.

In het pelagische ecotopenstelsel staan, net als in het ZES (Bouma et al., in voorber.) en in de overige RWES ecotopenstelsels, de relaties tussen abiotische omgevingsfactoren en het voorkomen van organismen centraal. De werkwijze die gevolgd is bij het ontwikkelen van het pelagische ecotopenstelsel is gelijk aan de werkwijze bij het ontwikkelen van het ZES. Hierbij kunnen de volgende stappen onderscheiden worden (grotendeels overgenomen uit het ZES):

Stap 1, de abiotische indelingskenmerken

De plaatselijk aanwezige abiotische omgevingsfactoren bepalen via verschillende processen het voorkomen van organismen in de waterkolom. Op basis van de belangrijkste omgevingsfactoren en processen zijn een aantal abiotische indelingskenmerken gekozen (saliniteit, turbulentie, verblijftijd en licht en/of nutriëntlimitatie voor primaire productie).

Er is informatie verzameld over de abiotische omgevingsfactoren en processen die van invloed zijn op het voorkomen van organismen in de waterkolom. Van deze factoren is zo goed mogelijk vastgesteld welke het meest bepalend zijn voor het voorkomen van pelagische organismen en welke dominant zijn over andere. Aan de hand daarvan is een serie abiotische indelingskenmerken gekozen (zoutgehalte en -variatie, turbulentie, verblijftijd en licht en/of nutriëntlimitatie voor primaire productie). Plaatselijke verschillen in abiotische omgevingsfactoren en de daarmee samenhangende processen zijn de primaire basis voor het onderscheiden van ecotopen. De in de volgende stappen

beschreven parameters en klassegrenzen zijn een middel om die ecotopen eenduidig te onderscheiden.

Stap 2, de parameters

Voor alle abiotische indelingskenmerken zijn exacte abiotische parameters gekozen die de omgevingskenmerken op een kaart kunnen representeren. Een belangrijke motivatie bij de keuze van de parameters is de beschikbaarheid en karteerbaarheid van gegevens. Een belangrijk aandachtspunt bij het kiezen van de parameters is de regelmatig voorkomende interactie tussen de verschillende parameters.

Om de abiotische indelingskenmerken in de praktijk te kunnen gebruiken, bijvoorbeeld in kaart te kunnen brengen, is het nodig 'exacte' (d.w.z. meetbare/kwantificeerbare) parameters te kiezen (zie hoofdstuk 3). Een voorbeeld van een 'exacte' parameter die gebruikt kan worden voor het indelingskenmerk saliniteit is het jaargemiddelde zoutgehalte tijdens hoog water bij een gemiddelde rivierafvoer (paragraaf 3.2). De parameterkaarten kunnen voortkomen uit metingen (al dan niet via interpolatie), maar ook uit modelberekeningen.

De keuzes ten aanzien van de 'exacte' parameters zijn primair gebaseerd op de ecologische relevantie. Daarbij zijn de keuzes echter ook voor een belangrijk deel gebaseerd op de huidige beschikbare informatie over de abiotische parameters, de betrouwbaarheid van gemeten en/of gemodelleerde gegevens, en op de karteerbaarheid. Dit alles zodat ook werkelijk volgens het pelagische ecotopenstelsel gekarteerd kan worden. Voor toepassingsmogelijkheden van het pelagische ecotopenstelsel (zoals evaluaties en voorspellingen) is het bovendien belangrijk dat de parameters zo mogelijk ook voor situaties in de toekomst/het verleden te berekenen/karteren zijn. Hierdoor kunnen bijvoorbeeld nieuwe situaties na een mogelijke ingreep voorspeld worden.

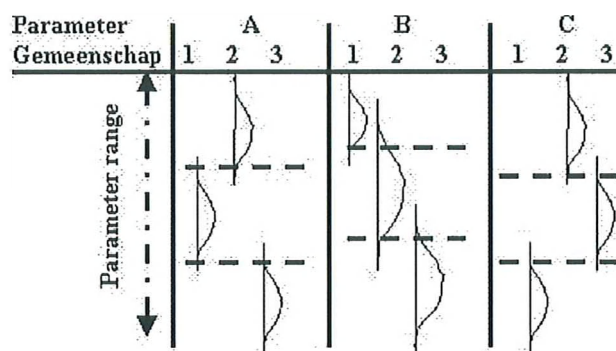
Een belangrijk aandachtspunt bij het kiezen van de parameters is de samenhang tussen sommige parameters. De vraag is dan welke parameter het meest bepalend is voor het voorkomen van pelagische processen en organismen. Wanneer de directe parameter niet in kaartvorm beschikbaar is, kan eventueel een afgeleide parameter als vervanging worden gebruikt (zie ZES: golfwerking-striklengte). Zo kunnen verschillende wegen tot hetzelfde doel, het in kaart brengen van de abiotische omstandigheden, leiden.

Stap 3, de klassegrenzen

Vervolgens zijn voor de geselecteerde parameters zo goed mogelijk klassegrenzen gekozen die relevant zijn voor het voorkomen van pelagische processen en organismen. Daarbij is ook rekening gehouden met klassegrenzen die gekozen zijn in andere (internationale) stelsels.

Na het selecteren van de parameters zijn de klassegrenzen gedefinieerd. Ecologisch is het veelal nauwelijks mogelijk om harde grenzen te trekken, omdat eigenlijk altijd sprake is van geleidelijke overgangen tussen levensgemeenschappen. Omdat een ecotoop nu eenmaal gekarteerd moet kunnen worden, zijn toch duidelijke én eenduidige

klassegrenzen vereist. Daarom zijn zo goed mogelijk klassegrenzen gekozen (figuur 2.1.1 en hoofdstuk 3).



Figuur 2.1.1. Illustratie kiezen klassegrenzen voor verschillende parameters (A, B en C) en verschillende levensgemeenschappen (1, 2 en 3). De combinatie van de parameter-ranges waarbinnen een bepaalde levensgemeenschap voor kan komen levert de abiotische beschrijving van een ecotoop.

De klassegrenzen zijn in de eerste plaats gebaseerd op ecologische verschillen. Daarnaast is ook rekening gehouden met de werkbaarheid van het stelsel, zoals het totale aantal eenheden en de mate waarin details zijn weer te geven op een kaart zonder dat het overzicht verloren gaat. Bij het definiëren van de klassegrenzen kan soms vanwege gebrek aan ecologische informatie een verdere onderverdeling (momenteel nog) niet onderbouwd worden. Aan de andere kant is soms wel ecologische informatie voorhanden, maar is een te gedetailleerde onderverdeling niet praktisch of zinvol, bijvoorbeeld omdat de karteringsmethode of het beschikbare model niet voldoende betrouwbaar is. Tenslotte is ook gekeken welke klassegrenzen in andere classificatiesystemen worden gehanteerd, bijvoorbeeld in Europees verband (de EUNIS classificatie, zie hoofdstuk 6).

Stap 4, de hiërarchische classificatie

Op basis van de parameters en de klassegrenzen worden de pelagische ecotopen beschreven. Deze zijn samengenomen in een ecotopenstelsel dat op een hiërarchische wijze is opgebouwd, waarbij de opbouw voornamelijk gebaseerd is op 'de dominantie van de abiotische omgevingsfactoren en processen', maar ook op 'de logische opbouw van een kaart' en op 'de hardheid van de parameters en/of klassegrenzen'.

Op basis van de stappen 1, 2 en 3 worden pelagische ecotopen onderscheiden, die met behulp van de gekozen parameters en klassegrenzen eenduidig zijn beschreven. Voor het gebruik in de praktijk is het handig deze ecotopen in een samenhangend stelsel onder te brengen. Een dergelijk stelsel kan op vele manieren worden opgebouwd, die alle in principe goed zijn en die ieder specifieke voor- en nadelen hebben. Voor het pelagische ecotopenstelsel is, evenals voor het ZES, gekozen voor het samennemen van de ecotopen in een hiërarchische classificatie. De indelingskenmerken met de bijbehorende parameters en klassegrenzen zijn op een hiërarchische manier gerangschikt

(zie paragraaf 3.1). Op de verschillende niveaus worden verschillende indelingskenmerken en parameters gebruikt, waardoor stap voor stap een gedetailleerder beschrijvingsniveau van een ecotoop wordt bereikt. Door de hiërarchische manier van werken is het mogelijk om minder gedetailleerde kaarten te maken, bijvoorbeeld in het geval van gebrek aan detailinformatie. Bovendien is de mate van detail die nodig is, afhankelijk van de beleidsvraag en van het aantal ecotopen dat nog herkenbaar op een kaart te presenteren is. Aan de andere kant kan met het hiërarchische stelsel wel zo gedetailleerd als mogelijk op een kleiner gebied worden ingezoomd. Leidend bij de opbouw van de hiërarchische classificatie zijn zoals hieronder toegelicht 'de dominantie van de abiotische omgevingsfactoren en processen', 'de logische opbouw van een kaart' en 'de hardheid van de parameters en/of klassegrenzen'.

Onder '**de dominantie van de abiotische omgevingsfactoren en processen**' wordt verstaan dat sommige abiotische omgevingsfactoren en de daarmee samenhangende processen een grotere invloed op het voorkomen van (groepen) organismen hebben dan andere. Het zoutgehalte is bijvoorbeeld voor het voorkomen van organismen een zeer dominante omgevingsfactor, omdat het zoutgehalte bepaalt welke soorten vanwege lichaamsbouw en -werking (fysiologie) überhaupt ergens kunnen leven (brakwatersoorten, mariene soorten). Het onderscheid tussen ecotopen op basis van het zoutgehalte wordt zowel in het pelagische ecotopenstelsel als in het ZES dan ook op het eerste niveau van de hiërarchische indeling gemaakt (paragraaf 3.1).

Met '**de logische opbouw van een kaart**' wordt bedoeld dat rekening wordt gehouden met een logische manier van in- of uitzoomen op een kaart, omdat de mate van detail die in een kaart wordt weergegeven niet altijd gelijk is. Een kaart heeft in principe een eindig aantal legenda-eenheden. Het af te beelden aantal wordt bepaald door zaken als de schaal van de kaart (1:), de grootte van de kaart (A4, A3, A...) en de functie van de kaart voor de gebruiker. In de praktijk zal meestal eerder gestreefd worden naar het minimaal benodigde aantal legenda-eenheden dan naar het maximaal mogelijke aantal, om de kaart overzichtelijk te houden. Het is handig als het samennemen van legenda-eenheden zoveel mogelijk langs dezelfde lijnen plaatsvindt, zodat de vergelijkbaarheid van kaarten, eventueel zelfs op verschillende schaalniveaus, zo groot mogelijk blijft. Door een logische hiërarchie kan dit worden gestimuleerd.

Overeenkomstig met het ZES, maar in tegenstelling tot de overige RWES stelsels, is in het pelagische ecotopenstelsel aan de term ecotoop geen schaal-element verbonden. Een ecotoop kan op verschillende niveaus worden onderscheiden, van zeer grof tot zeer fijn. De ondergrens wordt bepaald door het niveau tot waar men nog wil splitsen, en dat kan in sommige gevallen erg ver gaan. In het pelagische ecotopenstelsel wordt voor alle niveaus, ongeacht het schaalaspect, de term ecotoop gebruikt. In sommige andere literatuur wordt wel gewerkt met termen als ecozone-ecoserie-ecotoop-deelecotoop (Klijn & De Haes, 1990). Dergelijke extra termen lijken de problematiek van ecotopen op verschillende schaalniveaus te verduidelijken, maar scheppen in feite een schijn duidelijkheid, omdat op elk willekeurig niveau kan worden begonnen met de term ecozone.

Met '**de hardheid van de parameters en/of klassegrenzen**' wordt bedoeld dat sommige parameters betrouwbaarder in een kaart zijn uit te drukken dan andere, en dat sommige klassegrenzen helderder of harder zijn aan te geven dan andere. Dit heeft zijn weerslag op de mate van betrouwbaarheid van het kaartbeeld, de inhoud van een vlak en de

ligging van de grenzen. Door minder harde parameters en/of klassegrenzen lager in de hiërarchie van het stelsel op te nemen, komen deze ook pas bij een verdere mate van inzoomen naar voren. Daarmee neemt de betrouwbaarheid van de ecotopenkaart in principe af naarmate verder wordt ingezoomd.

Of het verwachte type waterkolom met specifieke ecologische eigenschappen en specifieke pelagische soorten ook daadwerkelijk overal aanwezig is, is niet gegarandeerd. Door omstandigheden die niet in het stelsel zijn (of kunnen) worden opgenomen (bijvoorbeeld vervuiling met toxische stoffen als PCB's en PAK's), kan de ecologische inhoud van een ecotoop afwijken. Dit kan tijdelijk zijn (bijvoorbeeld in het geval van olie-lekkage), maar ook semi-permanent (bijvoorbeeld het langzaam vrijkomen van giftige stoffen uit de bodem). Wanneer sprake is van dergelijke zaken kunnen deze ecotopen op het laagste niveau apart worden aangegeven door een extra code toe te voegen.

Stap 5, de kartering

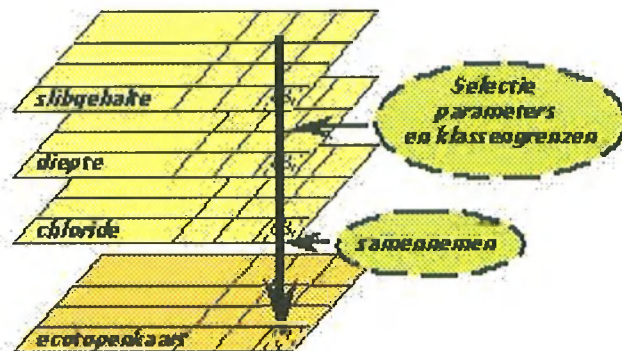
De ecotopen worden in kaart gebracht door via GIS de parameterkaarten te classificeren en daarna te combineren. De mate van detail van de te gebruiken ecotopenclassificatie wordt onder andere bepaald door de vraag en de gewenste kaartschaal.

De ecotopen worden in kaart gebracht via een GIS-applicatie. Momenteel wordt hiervoor HABIMAP gebruikt bij het RIKZ (Ruiter & De Jong, 1998; De Jong, 1999).

De werkwijze is globaal als volgt (figuur 2.1.2):

1. de gewenste schaal en het niveau van de ecotopenkaart worden bepaald
2. GIS-kaarten van de abiotische parameters worden geselecteerd
3. per parameter worden de klassegrenzen gekozen en gecombineerd
4. de geclassificeerde parameterkaarten worden gecombineerd tot een ecotopenkaart

Indien de nauwkeurigheid en/of de betrouwbaarheid van de parameterkaarten (en eventueel de klassegrenzen) bekend is, kan ook de betrouwbaarheid van de ecotopenkaart worden bepaald.



Figuur 2.1.2. Globaal schema vervaardigen ecotopenkaart met behulp van HABIMAP.

11
2

11
2

3 Indelingskenmerken, parameters en klassegrenzen

3.1 Overzicht

De verschillende abiotische processen die zich afspelen in de waterkolom bepalen het voorkomen van organismen in de waterkolom. Voorbeelden van belangrijke abiotische processen in de waterkolom zijn menging, uitzinking en horizontale waterverplaatsing. Organismen die in de waterkolom voorkomen zijn bijvoorbeeld fytoplankton (in het water zwevende micro-algen), zoöplankton (in het water zwevende kleine diertjes) en pelagische vissen (zoals bijvoorbeeld Haring *Clupea harengus*), maar ook veel bodemdieren (zowel larven als adulten) kunnen via de waterkolom verspreid worden (Creutzberg, 1978; Butman, 1987; Armonies, 1994).

Om de abiotische processen, en daarmee het type waterkolom (ecotoop), te karakteriseren zijn een aantal ecologisch relevante indelingskenmerken gekozen. De indelingskenmerken die gekozen zijn, zijn:

- saliniteit
- turbulentie
- verblijftijd
- primaire productie en limitatie door licht of nutriënten

Vervolgens is voor elk indelingskenmerk een exacte parameter gekozen, waarmee de ecotopen daadwerkelijk in kaart kunnen worden gebracht. Behalve met de ecologische relevantie is daarom bij het kiezen van de parameters tevens rekening gehouden met de beschikbaarheid en de karteerbaarheid van gegevens. In eerste instantie is hierbij uitgegaan van de beschikbaarheid van gegevens voor het Schelde estuarium. Een overzicht van de parameters die voorlopig gekozen zijn, is gegeven in tabel 3.1.1. Uitgebreidere informatie over (ecologische) achtergronden, details en het tot stand komen van de keuzes voor deze parameters is gegeven in de paragrafen 3.2 tot en met 3.5.

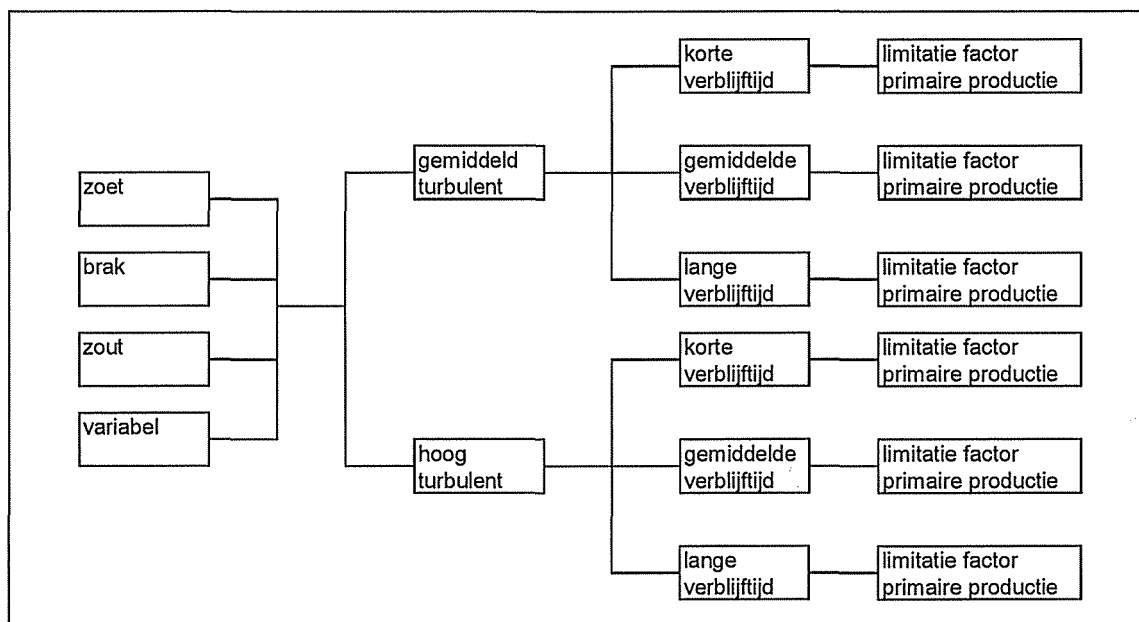
Op basis van de parameters zijn vervolgens klassenindelingen gemaakt. Daarbij was het nodig klassegrenzen te kiezen. Hierbij is zoveel mogelijk gedacht aan de ecologische relevantie, hoewel deze in veel gevallen (nog) niet direct duidelijk is. Daarom zijn de klassegrenzen soms gebaseerd op kaartbeelden (van het Schelde estuarium). Een overzicht van de klassegrenzen die (voorlopig) gekozen zijn, is gegeven in tabel 3.1.1. Uitgebreidere informatie over (ecologische) achtergronden, details en het tot stand komen van de keuzes voor deze klassegrenzen is gegeven in de paragrafen 3.2 tot en met 3.5.

Behalve de in voorliggend werkdocument beschreven indelingskenmerken en parameters zijn in het verleden meer zaken bestudeerd, welke vervolgens doorgeschoven (zie hoofdstuk 7) of verworpen (zie bijlage 1) zijn.

Tabel 3.1.1. De voorlopige parameters, klassegrenzen en klassen in het pelagische ecotopenstelsel.

indelings- kenmerk	parameter	opmerkingen	klasse- grenzen	klassen
saliniteit	gemiddelde zoutgehalte	-hoog water -gemiddeld jaar -gemiddelde rivierafvoer	gem variatie < 0,5 <= 100% 0,5 - 18 <= 100% > 18 <= 100% --- > 100%	zoet brak zout variabel
	zoutvariatie [(4 x standaarddeviatie) / gemiddelde] x 100%	-hoog water -gemiddeld jaar -gemiddelde rivierafvoer		
turbulentie	$v^2 / (d \cdot g)$	v = stroomsnelheid (m/s) d = diepte (m) g = zwaartekracht (m/s ²)	<= 0,006 > 0,006	gemiddeld turbulent hoog turbulent
verblijftijd	$V / (F_{in} - F_{uit}) =$ $T_{verblijf} - T_{getij}$	V = watervolume (m ³) F _{in} = waterflux in (m ³ /s) F _{uit} = waterflux uit (m ³ /s) T _{verblijf} = verblijftijd (s) T _{getij} = verblijftijd getij (s)	< 1 dag 1 - 14 dagen > 14 dagen	kort gemiddeld lang
limitatiefactor primaire productie	licht: Z_{eu} / Z_m nutriënten: $V / V_{max} = S / (K_s + S)$	Z _{eu} = eufotische diepte (1 % lichtdoordringing) Z _m = mengdiepte (gemiddelde diepte per compartiment) V = opnamesnelheid V _{max} = maximale opnamesnelheid S = nutriëntconcentratie K _s = halfwaarde verzadigingsconstante	0 - 0.17 0.17 - 0.5 0.5 - 0.9 > 0.9 0 - 0,1 0,1 - 0,5 0,5 - 0,9 0,9 - 1	extreem troebel troebel helder extreem helder extreem nutriëntarm nutriëntarm nutriëntrijk extreem nutriëntrijk

Het pelagische ecotopenstelsel is op een hiërarchische manier opgebouwd (figuur 3.1.1). Op de verschillende niveaus worden verschillende indelingskenmerken gebruikt, waardoor stap voor stap een gedetailleerder beschrijvingsniveau van een ecotoop wordt bereikt. Door de hiërarchische manier van werken is het mogelijk om minder gedetailleerde kaarten te maken, bijvoorbeeld in het geval van gebrek aan detailinformatie. Bovendien is de mate van detail die nodig is afhankelijk van de beleidsvraag en van het aantal ecotopen dat nog herkenbaar op een kaart te presenteren is. Aan de andere kant kan met het hiërarchische stelsel wel zo gedetailleerd als mogelijk op een kleiner gebied worden ingezoomd.



Figuur 3.1.1. De hiërarchische indeling van het pelagische ecotopenstelsel. De indeling op het laatste niveau (limitatiefactor voor primaire productie) is vanwege de overzichtelijkheid in dit schema niet verder opgesplitst omdat er momenteel 16 mogelijke combinaties gekozen zijn voor licht- en/of nutriëntlimitatie (zie paragraaf 3.5). In elk van de Nederlandse watersystemen afzonderlijk komen slechts enkele combinaties voor (zie hoofdstuk 4 en 5).

3.2 Saliniteit

Evenals voor de benthische ecotopen van het ZES wordt voor de pelagische ecotopen als eerste indelingskenmerk het zoutgehalte en de zoutvariatie gebruikt. In verband met de praktische uitwerking (het vervaardigen van de ecotopenkaarten) is voorlopig ook gekozen voor het gebruik van dezelfde parameters. Deze parameters zijn gebaseerd op adviezen van Vos & Wolff (2001) en zijn:

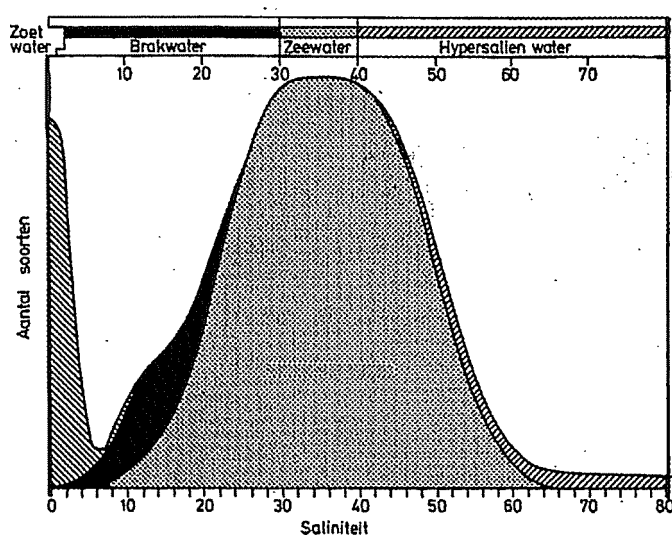
- het *gemiddelde zoutgehalte* bij hoog water over een gemiddeld jaar (met een *gemiddelde rivierafvoer*)
 - de *zoutvariatie* over dezelfde gegevens waarvan het gemiddelde berekend is = $[(4 \times \text{standaarddeviatie zoutgehalte}) / \text{gemiddelde zoutgehalte}] \times 100\%$.
- De klassen en klassegrenzen zijn weergegeven in tabel 3.2.1.

Tabel 3.2.1. De klassen en klassegrenzen voor zoutgehalte en zoutvariatie (gedeeltelijk naar Vos & Wolff, 2001). Het zoutgehalte gedeeld door 1,81 levert het chloridegehalte in g Cl⁻/l (waarmee in de Rijkswateren Ecotopen Stelsels gewerkt wordt).

gem. zoutgehalte zoutvariatie	< 0,5: zoet	0,5 - 18: brak	> 18: zout
<= 100 % weinig variabel	weinig variabel zoet	weinig variabel brak	weinig variabel zout
> 100 % variabel	variabel zoutgehalte		

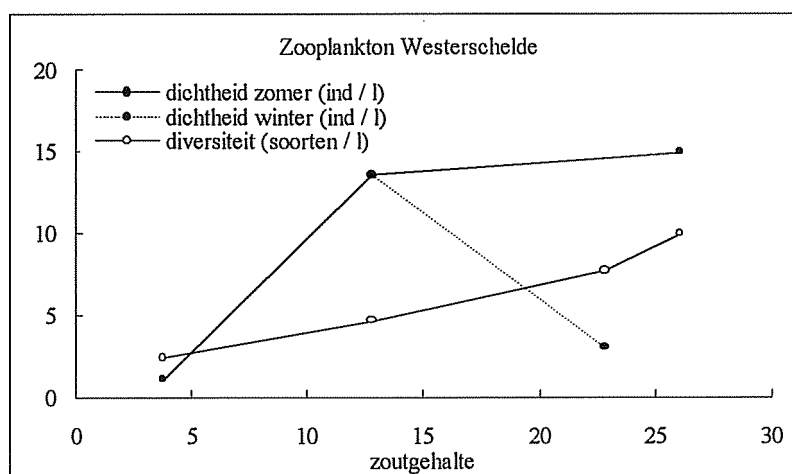
Het zoutgehalte is als indelingskenmerk voor de pelagische ecotopen, net als voor de benthische ecotopen, onmisbaar omdat het van grote invloed is op het voorkomen van soorten (Remane, 1934, Remane & Schlieper, 1971). Alle pelagische organismen (fytoplankton, zoöplankton, pelagische vissen) zijn door hun fysiologie beperkt tot een bepaalde range in zoutgehalte, waardoor er typische zoet-, brak-, en zoutwatersoorten te onderscheiden zijn. De range en de variatie in zoutgehalte die door een soort verdragen kunnen worden zijn per soort verschillend.

Er bestaat een sterke relatie tussen zoutgehalte en soortenrijkdom, die voor ongewervelde dieren beschreven is in de klassieke Remane-curve (Remane, 1934). De curve wordt gevormd door een hoge soortdiversiteit in zoet water, een minimum diversiteit in brak water, en een hoge diversiteit in zout water (figuur 3.2.1). De soortdiversiteit in zout water is hoger dan in zoet water. Het zogenaamde brakwaterminimum ligt in het klassieke model van Remane bij een zoutgehalte van 5-7 (de huidige meest gebruikelijke maat voor zoutgehalte is dimensieloos). Het zoutgehalte gedeeld door 1,81 levert het chloridegehalte in g Cl⁻/l, waarmee in de andere Rijkswateren Ecotopen Stelsels wordt gewerkt.



Figuur 3.2.1. De relatie tussen het zoutgehalte en het aantal soorten ongewervelde dieren (uit Schmidt-Van Dorp, 1979 naar Remane, 1934 en Kinne, 1971). Schuin naar linksboven: zoetwatersoorten; zwart: brakwatersoorten; grijs: mariene soorten (schuin naar rechtsboven niet in Nederland aanwezig).

De dichtheid en soortdiversiteit van zoöplankton in het Schelde estuarium in relatie tot het zoutgehalte is weergegeven in figuur 3.2.2 (naar Soetaert & Van Rijswijk, 1993). Bij een zoutgehalte < 5 zijn zowel de dichtheid als de soortdiversiteit van het zoöplankton laag. De zoöplanktondichtheid is hoger bij een zoutgehalte van 13. Bij hogere zoutgehaltes is de zoöplanktondichtheid seizoensgestuurd, waarbij in de winter (december-maart) een gemiddelde dichtheid van 3 ind/l voorkomt en in de rest van het jaar een gemiddelde dichtheid van 15 ind/l. De soortdiversiteit van het zoöplankton wordt stroomafwaarts geleidelijk hoger.



Figuur 3.2.2. De dichtheid (ind/l) en soortdiversiteit (soorten/l) van zoöplankton in het Schelde estuarium in relatie tot het zoutgehalte (figuur naar Soetaert & Van Rijswijk, 1993).

In stagnante wateren (zoals het Grevelingenmeer en het Veerse Meer) zijn variaties in zoutgehalte relatief gering. Dit geldt ook voor de centrale Noordzee, waar rivierinvloeden niet meer te merken zijn. In de Waddenzee en in de Oosterschelde kunnen grote variaties in zoutgehalte optreden door bijvoorbeeld neerslag, lozingen van polderwater en spuisluizen. De ruimtelijke en temporele zoutvariatie in overgangsgebieden tussen rivier- en zeewater is groot, zoals in het Schelde estuarium (Westerschelde), het Eems estuarium (Eems-Dollard), en het gekanaliseerde estuarium de Nieuwe Waterweg. De grote zoutvariaties worden veroorzaakt door de getijbeweging en de rivierafvoer. De rivierafvoer varieert vaak sterk, zowel binnen een jaar als tussen de jaren. Dit wordt voor een groot deel veroorzaakt door klimatologische factoren, zoals regenval, en is daardoor eigenlijk niet te voorspellen.

Binnen de waterkolom kunnen ook verschillen optreden in zoutgehalte. In niet goed gemengde wateren hebben diepe waterlagen een hoger zoutgehalte dan ondiepe waterlagen, wat veroorzaakt wordt door het verschil in soortelijk gewicht. Stagnante wateren zijn in de zomer vaak gestratificeerd. In het Veerse Meer wordt dit veroorzaakt door het verschil in zoutgehalte, maar in het Grevelingenmeer door het verschil in temperatuur (temperatuurstratificatie treedt op als de bovenste waterlaag wordt opgewarmd, terwijl bij te weinig menging de diepere waterlaag kouder en dus zwaarder blijft). In de ecotopenindeling voor het goed gemengde Schelde estuarium wordt geen rekening gehouden met verticale verschillen in zoutgehalte. In andere (delen van) watersystemen die minder goed gemengd zijn en waar stratificatie optreedt, is het wel aan te bevelen hier rekening mee te houden (zie hoofdstuk 7).

De keuze van de parameters voor zoutgehalte en -variatie is voornamelijk gebaseerd op adviezen van Vos & Wolff (2001). Zij adviseren het gebruik van het gemiddelde en de spreiding van het zoutgehalte voor een jaar met een gemiddelde rivierafvoer, beide gebaseerd op de situatie rond hoog water. Voor het pelagische ecotopenstelsel zijn dezelfde parameters gekozen als voor het ZES. Voor meer achtergrondinformatie over de parameters voor saliniteit wordt verwezen naar Vos & Wolff (2001) en Bouma et al. (ZES, in voorber.)

Als parameter voor het zoutgehalte is gekozen voor:
het gemiddelde zoutgehalte bij hoog water over een gemiddeld jaar (met een gemiddelde rivierafvoer)

Als parameter voor de zoutvariatie tijdens datzelfde jaar, bij hoog water, is gekozen voor:

$$\text{zoutvariatie} = [(4 \times \text{standaarddeviatie zoutgehalte}) / \text{gemiddelde zoutgehalte}] \times 100\%$$

Voor de vervaardiging van een 'normale' ecotopenkaart, dat wil zeggen een kaart die de ecotopenverdeling over een wat langere periode (meerdere jaren) weergeeft, is het van belang de invloed van een incidentele extreme rivierafvoer op de uitkomsten beperkt te houden. Uit een analyse van de rivierafvoeren van de Schelde (in voorber.) is gebleken dat dit alleen kan worden bereikt door of te werken met gemiddelde waarden over een lange periode (ongeveer vijf jaar), of met waarden uit een jaar met een gemiddelde rivierafvoer. Wanneer een computermodel wordt ingezet gaat de voorkeur uit naar berekeningen voor een jaar met een gemiddelde rivierafvoer. Een berekening voor een periode van vijf jaar vraagt veel rekentijd. Bovendien ligt het eindresultaat van de vijfjaarsberekening dicht bij het resultaat voor een gemiddeld jaar (in voorber.)

Het gebruik van zoutgehaltes bij hoog water heeft als belangrijkste voordeel dat een vlakdekkende kaart kan worden verkregen. Een nadeel is dat een deel van de indringing van het rivierwater in het estuarium verloren gaat. De oppervlakte van het zoute gebied in de ecotopenkaart is groter dan in werkelijkheid, omdat tijdens elk laag water het zeewater het verst uit het estuarium teruggetrokken is en het rivierwater het verst in het estuarium doordringt.

De tegenwoordig bijna standaard gebruikte classificatie voor zoutgehalte is 'Het Venetië-systeem' (Symposium on the Classification of Brackish Waters, Venice, 1958. *Arch. Oceanogr. Limnol.* XI; referentie uit Vos & Wolff, 2001). Het systeem gaat uit van gemiddelde zoutgehaltes en houdt geen rekening met de zoutvariatie. De klassegrenzen van de meeste biologische classificaties komen goed met dit systeem overeen. Ook in het pelagische ecotopenstelsel zijn de klassegrenzen voor het zoutgehalte gekozen op basis van het Venetië-systeem. Water met een gemiddeld zoutgehalte $< 0,5$ ($< 0,3 \text{ g Cl}^-/\text{l}$) is *zoet*, water met een zoutgehalte tussen 0,5 en 18 ($3\text{-}10 \text{ g Cl}^-/\text{l}$) is *brak*, water met een gemiddeld zoutgehalte > 18 ($10 \text{ g Cl}^-/\text{l}$) is *zout* (tabel 3.2.1). De kaart van het gemiddelde zoutgehalte in het Schelde estuarium met deze klassegrenzen is opgenomen in bijlage 2.

Over de exacte mate van zoutvariatie in verschillende gebieden zijn op dit moment weinig gegevens voor handen. Daarom is de klassegrens voor zoutvariatie voorlopig overgenomen uit Vos & Wolff (2001). Zij kozen voor de sterk variabele klasse de ondergrens van 100%. Vos & Wolff (2001) onderscheiden daarnaast een weinig variabele klasse en een matig variabele klasse, waarbij zij de weinig variabele klasse alleen gebruiken voor stagnant water. In verband met de werkbaarheid (aantal ecotopen) is in het pelagische ecotopenstelsel vooralsnog in plaats van een driedeling gekozen voor een tweedeling in zoutvariatie, waarbij *weinig variabel* een zoutvariatie heeft van $\leq 100\%$ en *variabel* een zoutvariatie van $> 100\%$ (tabel 3.2.1). De kaart van de zoutvariatie in het Schelde estuarium met deze klassegrens is opgenomen in bijlage 2.

Vervolgens zijn de klassen van het gemiddelde zoutgehalte en de zoutvariatie gecombineerd tot vier klassen: zoet, brak, zout en variabel (tabel 3.2.1). Deze vier klassen worden gebruikt op het eerste niveau van de hiërarchische ecotopenindeling (paragraaf 3.1). Waarschijnlijk komt de klasse variabel in de huidige situatie alleen voor in het oostelijke deel van het Schelde estuarium, in de Eems-Dollard, de Nieuwe Waterweg, en lokaal in de Waddenzee en in de Noordzee (kustgebied).

3.3 Turbulentie

Als tweede indelingskenmerk van het pelagische ecotopenstelsel is gekozen voor de turbulentie, een maat voor de hoeveelheid menging in de waterkolom. Voor het berekenen en in kaart brengen van de turbulentie is gekozen voor de formule $v^2 / (d \cdot g)$, waarbij v = stroomsnelheid (m/s), d = diepte (m) en g = zwaartekracht (m/s^2). De klassen en klassegrenzen zijn weergegeven in tabel 3.3.1.

Tabel 3.3.1. Parameter, klassegrenzen en klassen voor de turbulentie.

indelings-kenmerk	parameter	opmerkingen	klasse-grenzen	klassen
turbulentie	$v^2 / (d \cdot g)$	v = stroomsnelheid (m/s) d = diepte (m) g = zwaartekracht (m/s^2)	$\leq 0,006$ $> 0,006$	gemiddeld turbulent hoog turbulent

Turbulentie in de waterkolom wordt veroorzaakt door (getij-)stroming en (wind-)golven. In tegenstelling tot een laminaire stroming, die één richting heeft, worden bij een turbulente stroming kleine wervelingen (draaikolkjes) gevormd, waarvan de richting onregelmatig en onduidelijk is. Deze kleine wervelingen hebben als resultaat dat watermassa's, en de (planktonische) organismen die daarin voorkomen, gemengd worden (naar Valiela, 1995).

In getijdewateren is praktisch altijd sprake van turbulente stroming. Turbulentie ten gevolge van getijstroming kan beschreven worden door middel van de volgende formule (gebruik van deze formule voorgesteld door Dirk van Maldegem, RIKZ):

$$v^2 / (d \cdot g)$$

waarbij:

v = maximale stroomsnelheid onder gemiddelde getij-omstandigheden (m/s)

d = diepte (m)

g = zwaartekracht ($9,81 m/s^2$)

De formule levert een dimensieloze parameter (index) op voor turbulentie.

Ook turbulentie ten gevolge van golfwerking speelt een belangrijke rol bij de menging van de waterkolom. Vanwege het gebrek aan kennis en gegevens over dit onderwerp is turbulentie ten gevolge van golfwerking (nog) niet opgenomen als parameter in het pelagische ecotopenstelsel. Aangezien deze factor wel van groot belang wordt geacht, is het aan te bevelen hier in de toekomst verdere aandacht aan te besteden.

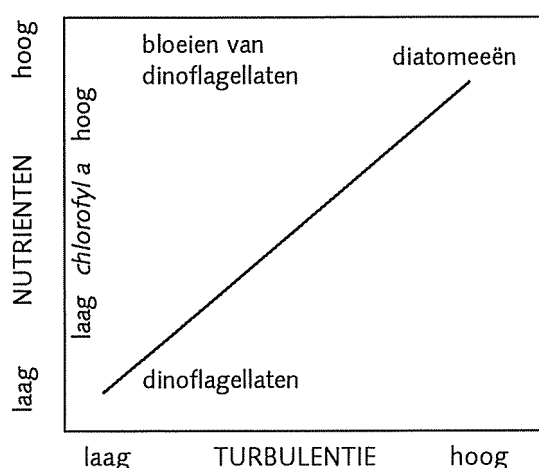
De mate van menging in de waterkolom heeft een belangrijke invloed op de ecologische inhoud van een waterkolom. Bij te weinig menging kan stratificatie (gelaagdheid) van de waterkolom ontstaan, waarbij de onderste waterlaag ofwel een hoger zoutgehalte heeft

dan de bovenste waterlaag (zoutstratificatie), ofwel een lagere temperatuur (temperatuurstratificatie). In een gestratificeerde waterkolom is op het scheidingsvlak tussen de onderste en de bovenste waterlaag de spronglaag aanwezig. Deze spronglaag wordt gekenmerkt door een hoog chlorofyll *a* gehalte en is rijk aan fytoplankton.

Een te hoge turbulentie kan een negatieve invloed hebben op het voorkomen van organismen in de waterkolom. Sommige soorten fytoplankton, zoals de Raphidofyten *Fibrocapsa japonica* en *Chattonella marina*, gaan al bij een vrij geringe mate van turbulentie kapot. Waarschijnlijk geldt voor alle soorten pelagische organismen (fytoplankton, zoöplankton, pelagische vissen) dat de ene soort een hogere mate van turbulentie kan verdragen dan de andere. Voor fytoplankton geldt bijvoorbeeld dat diatomeeën over het algemeen bij een hogere turbulentie voor kunnen komen dan dinoflagellaten (zie figuur 3.3.1).

Daarnaast heeft de turbulentie een belangrijke invloed op het wel of niet uitzinken van voedingsstoffen (nutriënten), fytoplankton, zoöplankton en (tijdelijk) in de waterkolom voorkomende bodemdierlarven en –adulten (Butman, 1987; Bouma et al., 2001). Voor (juvenile) vis is turbulentie onder meer van invloed op de verticale verspreiding in de waterkolom (Heath et al., 1988) en op het foerageersucces (MacKenzie & Kjørboe, 2000).

Een aparte categorie wat betreft turbulentie zijn plaatsen waar twee watermassa's elkaar ontmoeten (fronten). Dergelijke gebieden komen bijvoorbeeld voor in de Noordzee (zoals het Friese Front) en in estuaria (zoet - zout). In deze gebieden kan door de 'botsing' van de watermassa's opwerveling van bijvoorbeeld voedingsstoffen (nutriënten) en organismen optreden. Dit verschijnsel wordt vanwege de omvang in Nederland vooral relevant geacht voor de Noordzee. Daarom zijn dergelijke gebieden voorlopig niet opgenomen in het pelagische ecotoopenstelsel, dat in eerste instantie opgezet is voor het Schelde estuarium. Bij de verdere ontwikkeling van het pelagische ecotoopenstelsel, waarbij ook andere watersystemen meer in beeld komen, is het nuttig aan dit onderwerp meer aandacht te besteden.



Figuur 3.3.1. Bij een hoge turbulentie komen voornamelijk diatomeeën voor, bij een lage turbulentie voornamelijk dinoflagellaten.

Voor het Schelde estuarium zijn turbulentieberekeningen uitgevoerd aan de hand van de formule $v^2/(d \cdot g)$. De stroomsnelheid (v , hier gedefinieerd als de maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid onder gemiddelde getij-omstandigheden) is beschikbaar uit modelberekeningen (SCALWEST). Ook gegevens over de diepte (d) zijn beschikbaar voor het Schelde estuarium (hoogte-diepte kaart). De diepte die gebruikt is voor het berekenen van de turbulentie is de ligging van de bodem t.o.v. NAP plus het grenspeil (maximale waterstand die eens in de twee jaar voorkomt) (pers. meded. Kees v/d Male).

In eerste instantie zijn zeer gedetailleerde turbulentiekaarten gemaakt voor eb en vloed. Uit deze kaarten is af te lezen dat hoge turbulentie in het Schelde estuarium veelal optreedt in de "schaargebieden" (zoals Spijkerplaat, Everingen, Ossensisse, Valkenisse). Dit zijn relatief ondiepe gebieden met hoge stroomsnelheden, waar vaak ook veel morfologische veranderingen plaatsvinden. Lagere turbulentie komt in het Schelde estuarium voornamelijk dicht langs de oevers voor, maar ook op sommige delen van platen, en een enkele keer in diepe geuldelen. De koppen van de platen zien er op de turbulentiekaart vrij rustig uit, maar hier moet in gedachten worden gehouden dat het effect van windgolven op de turbulentie niet is meegenomen.

Aangezien de gedetailleerde turbulentiekaart te weinig overzichtelijk is om te gebruiken voor het maken van een ecotopenkaart, zijn de gegevens uitgemiddeld over grotere vakken (200 x 200 meter i.p.v. 20 x 20 m). Hiervan zijn twee turbulentiekaarten gemaakt, één voor de eb situatie en één voor de vloed situatie (het is de bedoeling om deze kaarten in de toekomst te combineren tot 1 kaart voor een hele getijcyclus). Op basis van de vloedkaart is gekozen voor één klassegrens, waarbij gemiddeld turbulent ≤ 60 is en hoog turbulent > 60 (zie bijlage 3; NB de stroomsnelheid-eenheid die voor deze kaart gebruikt is, is cm/s, dus de werkelijke klassegrens is 0,006). Aangezien deze klassegrens vrij arbitrair gekozen is, verdient het aanbeveling om in de toekomst nadere (literatuur-)studie te verrichten naar relaties tussen de mate van turbulentie en ecologische processen/het voorkomen van pelagische organismen.

In het Schelde estuarium is de turbulentie over het algemeen hoog vanwege de hoge stroomsnelheden. Een hoge turbulentie is ook te verwachten in bijvoorbeeld (de getijdegeulen van) het Eems-estuarium en de Waddenzee. In stagnante wateren als het Grevelingenmeer en het Veerse Meer is de turbulentie aanzienlijk lager, maar wel in zekere mate aanwezig door golfwerking. Op de manier zoals momenteel de turbulentie in kaart wordt gebracht is deze voor de stagnante wateren nul, omdat er geen stroming is.

3.4 Verblijftijd

Als derde indelingskenmerk van het pelagische ecotopenstelsel is gekozen voor de verblijftijd, een maat voor de verversing van de waterkolom. Er is voorlopig voor gekozen om voor de verblijftijden in het Schelde estuarium de gegevens uit Soetaert & Herman (1995) te gebruiken (13 compartimenten, SAWES model).

In de toekomst kunnen, ook voor andere watersystemen, met gedetailleerdere modellen (rasters) de verblijftijden berekend worden aan de hand van de formule:

$$V / (F_{in} - F_{uit}) = T_{verblijftijd} - T_{getij}$$

waarbij

V = watervolume (m^3)

F_{in} = waterflux in (m^3/s)

F_{uit} = waterflux uit (m^3/s)

$T_{verblijftijd}$ = verblijftijd (s)

T_{getij} = verblijftijd getij (s)

De klassen en klassegrenzen zijn weergegeven in tabel 3.4.1.

Tabel 3.4.1. Parameter, klassegrenzen en klassen voor de verblijftijd.

indelings- kenmerk	parameter	opmerkingen	klasse- grenzen	klassen
verblijftijd	$V / (F_{in} - F_{uit}) = T_{verblijf} - T_{getij}$	V = watervolume (m^3) F_{in} = waterflux in (m^3/s) F_{uit} = waterflux uit (m^3/s) $T_{verblijf}$ = verblijftijd (s) T_{getij} = verblijftijd getij (s)	< 1 dag 1 - 14 dagen > 14 dagen	kort gemiddeld lang

De verblijftijd is de tijd die een pakket water nodig heeft om zich te verplaatsen van een bepaald gebied naar een ander gebied, bijvoorbeeld in een estuarium van het meest stroomopwaartse deel naar de open zee. De verblijftijd is onder meer afhankelijk van het plaatselijke getijverschil, het volume van een (deel van een) watersysteem, en in estuaria van de rivierafvoer.

De ecologische betekenis van de verblijftijd heeft met name te maken met de verversing van de waterkolom. Bij een kortere verblijftijd worden bijvoorbeeld afbraakproducten, maar ook antropogene vervuilingstoffen (denk aan olie-lekkage), sneller uit een gebied afgevoerd. Aan de andere kant worden bij een kortere verblijftijd sneller voedingstoffen (nutriënten) aangevoerd dan bij een langere verblijftijd.

Bij een lange verblijftijd en weinig menging kan uitzinking optreden van in het water zwevende sedimentdeeltjes (sedimentatie), maar ook van voedingstoffen en organismen. Wanneer de voedingstoffen in de waterkolom niet tijdig worden aangevuld door 'vers' water kan dit (nutriënt-)depletie in de waterkolom veroorzaken (Bakker et

al., 1994). Hier staat tegenover dat in gebieden met een langere verblijftijd bij de aanwezigheid van bodemdieren de benthisch-pelagische koppeling een grotere rol speelt. Ondanks de uitzinking van voedingstoffen kan het fytoplankton toch groeien doordat de bodemdieren zorgen dat de nutriënten weer vrijkomen (Prins & Smaal, 1994).

Een langere verblijftijd kan leiden tot hogere dichtheden (en een hogere totale biomassa) van zoöplankton, onder andere omdat het zoöplankton langer de tijd heeft om in een bepaald gebied te reproduceren, en omdat meer eitjes van copepoden op de bodem terechtkomen (Bakker & Van Rijswijk, 1994). Ook in het water zwevende larven van bodemdieren kunnen hogere dichtheden bereiken bij een langere verblijftijd, omdat ze minder snel uit een gebied verdwijnen. Als de omstandigheden daarvoor gunstig zijn wordt ook de kans groter dat de larven in dat gebied uitzinken en zich vestigen in de bodem.

Door Soetaert & Herman (1995) zijn voor het Schelde estuarium de verblijftijden, d.w.z. de gemiddelde tijd die een pakket water nodig heeft om het estuarium te verlaten, bepaald voor de 13 compartimenten van het SAWES model. Er is voorlopig voor gekozen om voor het Schelde estuarium deze gegevens te gebruiken (zie bijlage 4). In de toekomst kunnen, ook voor andere watersystemen, met gedetailleerdere modellen (rasters) de verblijftijden berekend worden aan de hand van de formule (voorgesteld door Harm Verbeek, RIKZ):

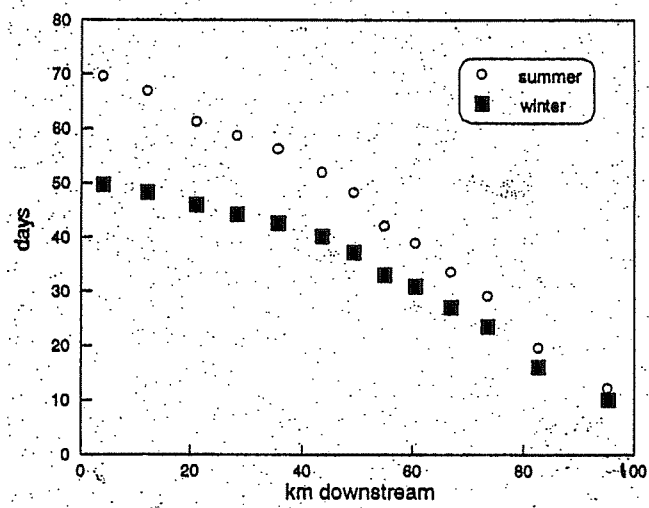
$$V / (F_{in} - F_{uit}) = T_{verblijf} - T_{getij}$$

waarbij:

V	= watervolume van een bepaald gebied (m ³)
F _{in}	= waterflux in het gebied (m ³ /s)
F _{uit}	= waterflux uit het gebied (m ³ /s)
T _{verblijf}	= verblijftijd in het gebied (s)
T _{getij}	= verblijftijd getij in het gebied (s)

Bij de keuze van de klassegrenzen voor de verblijftijd is aangesloten bij de EUNIS pelagic habitats classificatie (zie ook hoofdstuk 6), aangezien deze grenzen ook voor de Nederlandse watersystemen goed te hanteren zijn. Daarbij is een korte verblijftijd < 1 dag, een gemiddelde verblijftijd 1-14 dagen en een lange verblijftijd > 14 dagen (tabel 3.4.1).

In het Schelde estuarium wordt de verblijftijd geleidelijk korter gaande van het meest stroomopwaartse deel (circa 50 dagen in de winter, circa 70 dagen in de zomer) richting het meest stroomafwaartse deel (circa 10-15 dagen) (figuur 3.4.1; Soetaert & Herman, 1995). Bij de gekozen klassegrenzen betekent dit dat alleen het meest westelijke deel van het Schelde estuarium een gemiddelde verblijftijd heeft, terwijl de rest van het estuarium een lange verblijftijd heeft. De verblijftijden in het Eems estuarium en in de Oosterschelde zullen waarschijnlijk in dezelfde twee klassen (gemiddeld en lang) vallen. De verblijftijden in de stagnante wateren (Grevelingenmeer en Veerse Meer) zijn uiteraard lang. Korte verblijftijden (< 1 dag) komen waarschijnlijk lokaal voor in de Waddenzee (getijdegeulen tussen de waddeneilanden) en, afhankelijk van de definitie, in de hele Noordzee.



Figuur 3.4.1. De verblijftijden (in dagen) in het Schelde estuarium voor de 13 compartimenten van het SAWES model (figuur uit Soetaert & Herman, 1995).

3.5 Primaire productie en limitatie door licht en/of nutriënten

Als vierde indelingskenmerk van het pelagische ecotopenstelsel is gekozen voor de primaire productie en de limitatie hiervan door licht en/of nutriënten.

Voor het berekenen van lichtlimitatie is gekozen voor de formule: Z_{eu} / Z_m , waarbij
 Z_{eu} = eufotische diepte (1 % lichtdoordringing)
 Z_m = mengdiepte (gemiddelde diepte)

Voor het berekenen van nutriëntlimitatie is gekozen voor de formule:

$$V / V_{max} = S / (K_s + S)$$

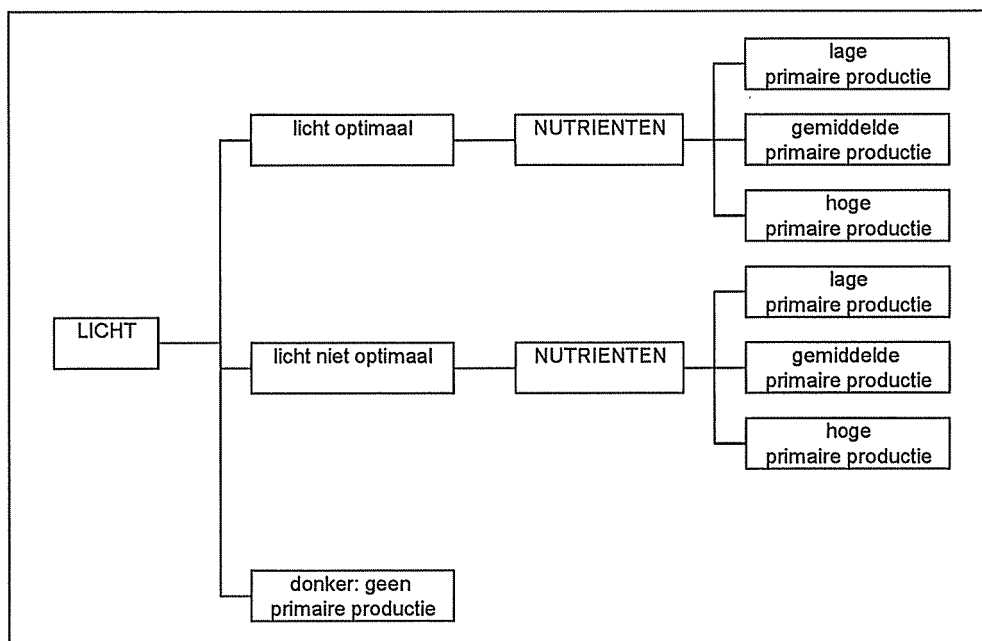
waarbij:

V = opnamesnelheid
 V_{max} = maximale opnamesnelheid
 S = nutriëntconcentratie
 K_s = halfwaarde verzadigingsconstante

De voorlopige klassen en klassegrenzen zijn weergegeven in tabel 3.5.1. Het aantal klassen voor de primaire productie kan gereduceerd worden volgens figuur 3.5.1, waarvoor de klassegrenzen nog bepaald moeten worden.

Tabel 3.5.1 Parameters, klassegrenzen en klassen voor de limitatiefactor voor primaire productie (licht en/of nutriënten).

indelings- kenmerk	parameter	opmerkingen	klasse- grenzen	klassen
limitatiefactor primaire productie	licht: Z_{eu} / Z_m	Z_{eu} = eufotische diepte (1 % lichtdoordringing) Z_m = mengdiepte (gemiddelde diepte)	0 - 0.17 0.17 - 0.5 0.5 - 0.9 > 0.9	extreem troebel troebel helder extreem helder
	nutriënten: $V / V_{max} = S / (K_s + S)$	V = opnamesnelheid V_{max} = maximale opnamesnelheid S = nutriëntconcentratie K_s = halfwaarde verzadigingsconstante	0 - 0,1 0,1 - 0,5 0,5 - 0,9 0,9 - 1	extreem nutriëntarm nutriëntarm nutriëntrijk extreem nutriëntrijk



Figuur 3.5.1. Een manier om het aantal klassen voor de primaire productie te reduceren, resulterend in zeven klassen voor de primaire productie.

Lichtlimitatie:

De hoeveelheid licht die in de waterkolom aanwezig is speelt een belangrijke rol bij de primaire productie door fytoplankton (fotosynthese). Bij te weinig licht is de primaire productie lager dan bij een optimale lichthoeveelheid, en is er sprake van lichtgelimiteerde primaire productie. Of er sprake is van lichtlimitatie kan worden vastgesteld op basis van de parameter (Sverdrup, 1953, referentie uit Grobbelaar 1990):

$$Z_{eu} / Z_m$$

waarbij:

Z_{eu} = de eufotische diepte, (de diepte waarop nog 1 % lichtdoordringing is)

Z_m = de mengdiepte (in een goed gemengd watersysteem gelijk aan de totale diepte)

Voor het Schelde estuarium is de eufotische diepte afgeleid uit secchischijf gegevens, met behulp van de volgende formule (J. Kromkamp, NIOO-CEME, MOVE project):

$$Z_{eu} = 4.6 / 1.36251 * Z_{secchi}^{-1.44329}$$

waarbij:

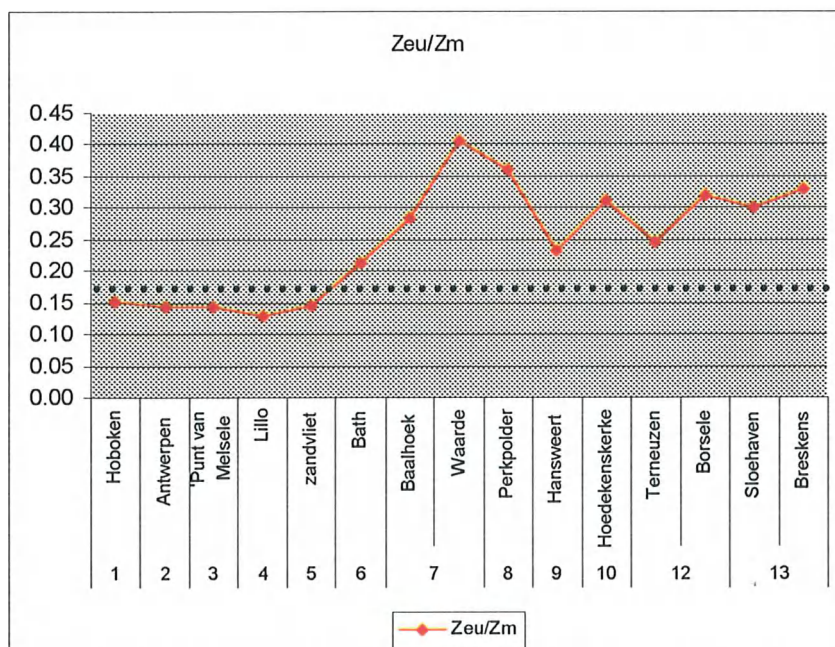
Z_{secchi} = de maximale diepte waarop de secchischijf nog zichtbaar is

De mengdiepte is voor het goed gemengde Schelde estuarium gelijk aan de totale diepte. Voor het berekenen van de parameter voor lichtlimitatie zijn de gemiddelde dieptes van de compartimenten uit het SAWES model gebruikt (uit Soetaert & Herman, 1995). Deze dieptes dateren van voor de laatste verdieping van de vaargeul (in 1996). Het verdient daarom aanbeveling om in een later stadium actuelere dieptes van na de laatste verdieping te gebruiken (zie ook hoofdstuk 7).

Cole & Cloern (1984) berekenden dat wanneer de verhouding mengdiepte : eufotische diepte > 6 is, er geen netto primaire productie is (San Francisco Bay, USA). Deze verhouding komt overeen met $Z_{eu}/Z_m = 1/6 = 0.167$. Kromkamp & Peene (1995) berekenden voor het Schelde estuarium een grenswaarde tussen wel en geen netto primaire productie een verhouding mengdiepte : eufotische diepte van 5, oftewel $Z_{eu}/Z_m = 0.2$.

De lichtlimitatie parameter Z_{eu} / Z_m is dus gerelateerd aan de netto primaire productie. De nutriëntlimitatie parameters (zie later in deze paragraaf) worden berekend aan de hand van de nutriëntopname en zijn dus gerelateerd aan de bruto primaire productie. De lichtlimitatie parameter en de nutriëntlimitatie parameter zijn daarom niet direct met elkaar te vergelijken en te combineren. Met het gebruik van deze lichtlimitatie parameter kan dus ook niet direct bepaald worden welke van de factoren, licht of nutriënten, limiterend is. Door de lichtlimitatie parameter zoals beschreven door Peeters et al. (1993) te gebruiken, zijn hiervoor in de toekomst wel mogelijkheden (zie hoofdstuk 7). Voor deze methode zijn momenteel nog niet alle gegevens beschikbaar.

In figuur 3.5.2 (uit Baretta-Bekker, in voorber.) zijn de resultaten weergegeven van de berekening van de lichtlimitatie parameter Z_{eu} / Z_m voor 17 meetstations op de zoet-zout gradiënt in het Schelde estuarium (gegevens NIOO-CEME, 1999-2000). De nummers geven de corresponderende compartimenten uit het SAWES model aan. Onder de grenswaarde van 0.17 (stippellijn) is geen netto primaire productie mogelijk. Voor de berekening zijn gegevens uit het groeiseizoen van fytoplankton gebruikt, dat hiervoor vastgesteld is als de periode van 31 maart tot en met 30 september.



Figuur 3.5.2. De lichtlimitatie parameter Z_{eu} / Z_m uitgezet tegen de meetstations in het Schelde estuarium in volgorde van toenemende saliniteit. Onder de grenswaarde van 0.17 (stippellijn) is geen netto primaire productie mogelijk. De nummers corresponderen met de compartimenten van het SAWES model (uit Baretta-Bekker, in voorber.).

Er is voorlopig voor gekozen om vier klassen te onderscheiden voor de lichtlimitatie parameter Z_{eu} / Z_m (zie tabel 3.5.1), waarbij onderscheid gemaakt wordt tussen extreem troebel, troebel, helder en extreem helder water. Daarbij zijn grenzen vastgesteld op 0.17, 0.5 en 0.9. De grens van 0.17 is gekozen op basis van Cole & Cloern (1984) en Kromkamp & Peene (1995). De grenzen 0.5 en 0.9 zijn eerste inschattingen (H. Haas & H. Baretta-Bekker, RIKZ).

Het Schelde estuarium is een (zeer) troebel estuarium. De waarde van de parameter Z_{eu} / Z_m komt dan ook niet boven de 0.5 (grens troebel-helder) uit. Een vergelijkbaar verloop van deze parameter is te verwachten voor het Eems estuarium. In meer heldere (delen van) watersystemen, zoals de Oosterschelde en het centrale deel van de Noordzee, zijn hogere waarden van Z_{eu} / Z_m te verwachten.

In (seizoens-) gestratificeerde watersystemen (zoals het Grevelingenmeer en het Veerse Meer) kan aan de lichtlimitatie parameter Z_{eu} / Z_m een tweede parameter worden toegevoegd: de verhouding $Z_{eu} /$ totale diepte. Door het gebruik van deze tweede parameter wordt ook de onderste waterlaag, waarin ook primaire productie mogelijk kan zijn, meegenomen.

Nutriëntlimitatie

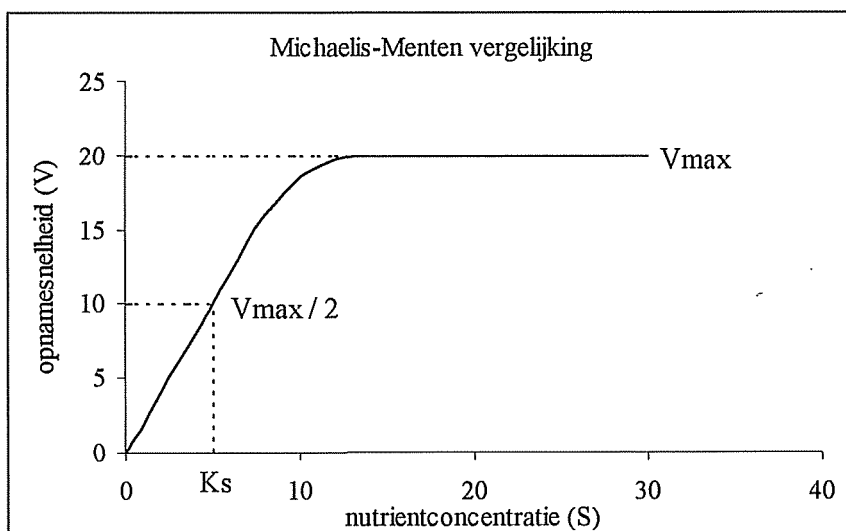
De hoeveelheid (beschikbare) nutriënten in de waterkolom speelt een belangrijke rol bij de primaire productie door fytoplankton. De belangrijkste nutriënten voor flagellaten zijn stikstof (N) en fosfor (P), terwijl naast N en P voor diatomeeën ook silicium (Si) belangrijk is. Bij te weinig beschikbare nutriënten in de waterkolom is de primaire productie lager dan maximaal, en is er sprake van nutriëntgelimiteerde primaire productie.

Voor de beschikbaarheid van nutriënten is hier de nutriëntconcentratie gebruikt, en aan de hand daarvan is de nutriëntlimitatie berekend op basis van de Michaelis-Menten vergelijking (zie ook figuur 3.5.3):

$$V / V_{\max} = S / (K_s + S)$$

waarbij:

V	= opnamesnelheid
$V_{\max}$	= maximale opnamesnelheid
S	= nutriëntconcentratie
K_s	= halfwaarde verzadigingsconstante



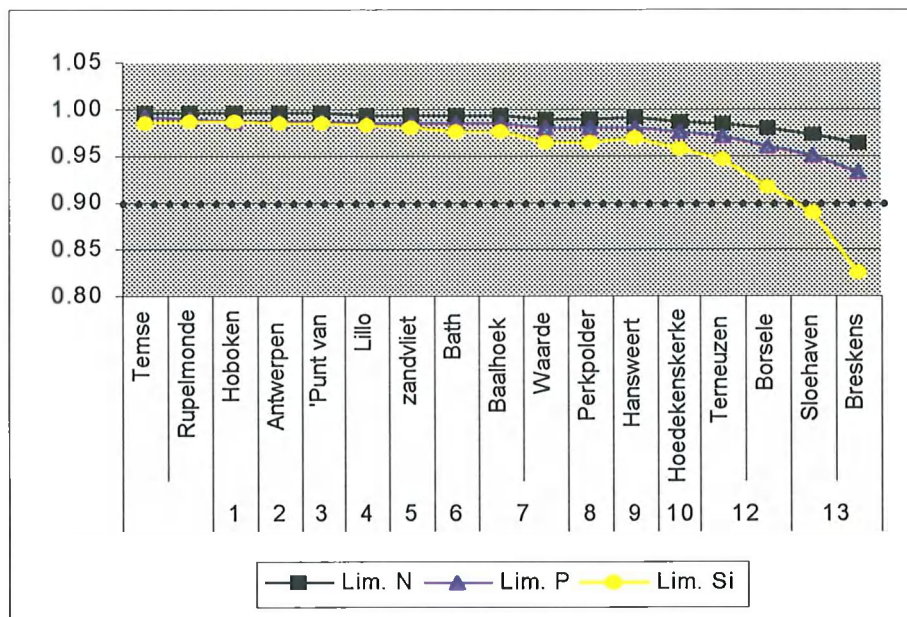
Figuur 3.5.3. Grafische weergave van de Michaelis-Menten vergelijking.

Als K_s waarde is zowel voor stikstof (N) als voor silicium (Si) $2 \mu\text{M}$ gehanteerd, en voor fosfor (P) $0,1 \mu\text{M}$ (op basis van Peeters & Peperzak, 1990). De waarden van V / V_{max} variëren hierbij voor elk nutriënt tussen 0 (volledige limitatie) en 1 (geen limitatie). Wanneer $V / V_{\text{max}} < 0,5$ is, is er sprake van nutriëntlimitatie (Peeters et al., 1993).

Er is voorlopig voor gekozen om vier klassen te onderscheiden voor de nutriëntlimitatie parameter V / V_{max} (zie tabel 3.5.1), waarbij onderscheid gemaakt wordt tussen extreem nutriëntarm, nutriëntarm, nutriëntrijk en extreem nutriëntrijk. Daarbij zijn volgens eerste inzichten de grenzen vastgesteld op 0.1, 0.5 en 0.9 (H. Haas & H. Baretta-Bekker, RIKZ). Het is aan te bevelen om deze grenzen in de toekomst te toetsen voor andere watersystemen dan het Schelde estuarium.

In figuur 3.5.4 (uit Baretta-Bekker, in voorber.) zijn de resultaten weergegeven van de berekening van de nutriëntlimitatie parameter V / V_{max} voor N, P en Si voor 17 meetstations op de zoet-zout gradiënt in het Schelde estuarium (gegevens NIOO-CEME, 1999-2000). De nummers in de figuur geven de corresponderende compartimenten uit het SAWES model aan. De stippellijn geeft de gekozen klassegrens tussen nutriëntrijk (< 0.9) en extreem nutriëntrijk (> 0.9) aan. Voor de berekening zijn gegevens uit het groeiseizoen van fytoplankton gebruikt, dat hiervoor vastgesteld is als de periode van 31 maart tot en met 30 september.

Uit figuur 3.5.4 kan worden afgelezen dat het gehele Schelde estuarium voor wat betreft de nutriënten N en P extreem rijk genoemd kan worden (zie ook Kromkamp et al., 1995), terwijl alleen in de monding van het estuarium de waarde voor Si vrij sterk daalt in het groeiseizoen (zie ook Soetaert et al., 1994). Deze daling van de Si waarde wordt veroorzaakt door de bloei van diatomeeën.



Figuur 3.5.4. De nutriëntlimitatie parameter $V / V_{\max}$ voor N, P en Si uitgezet tegen de meetstations in het Schelde estuarium in volgorde van toenemende saliniteit. De stippellijn geeft de gekozen grenswaarde tussen de klassen extreem nutriëntrijk (> 0.9) en nutriëntrijk (< 0.9) aan. De nummers corresponderen met de compartimenten van het SAWES model (uit Baretta-Bekker, in voorber.).

Voor het vervaardigen van een pelagische ecotopenkaart moet een keuze gemaakt worden of elk nutriënt apart beschouwd wordt of dat de nutriënten gecombineerd worden. Omdat in het Schelde estuarium N en P nauwelijks limiterend zijn en Si alleen in het meest westelijke deel enigszins limiterend wordt, is voor het Schelde estuarium gekozen voor de waarde van het meest limiterende nutriënt. In andere watersystemen kan hier indien gewenst anders mee om worden gegaan.

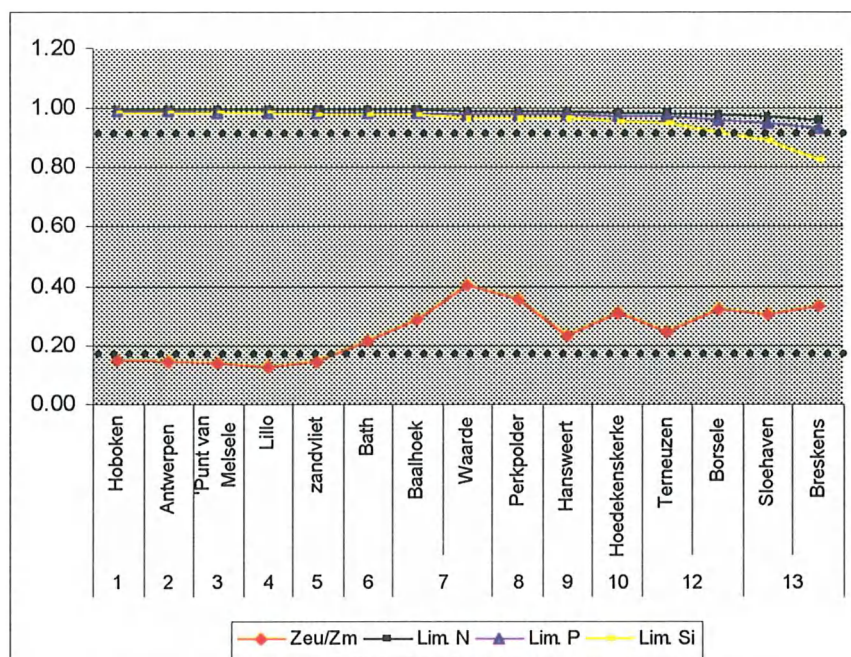
Nutriëntlimitatie speelt waarschijnlijk met name een rol in de Noordzee. In de Noordzee kan de groei van fytoplankton tijdens het groeiseizoen (circa eind maart tot eind september) in het kustgebied P of Si gelimiteerd zijn, en in de centrale Noordzee N gelimiteerd (Peeters et al., 1991).

Limitatiefactor voor primaire productie (combinatie licht en nutriënten):

In figuur 3.5.5 (uit Baretta-Bekker, in voorber.) zijn voor de meetstations in het Schelde estuarium de waarden van zowel de lichtlimitatie parameter (Z_{eu} / Z_m) als de nutriëntlimitatie parameter ($V / V_{\max}$) weergegeven. De stippellijnen geven de van toepassing zijnde grenswaarden voor de licht- en nutriëntlimitatieklassen aan.

Wat betreft licht vallen de vijf meest stroomopwaarts gelegen compartimenten in de klasse extreem troebel, en de acht meest stroomafwaarts gelegen compartimenten in de klasse troebel. Wat betreft nutriënten vallen vrijwel alle compartimenten in de klasse extreem nutriëntrijk, met uitzondering van het meest stroomafwaarts gelegen compartiment 13, dat nutriëntrijk is. Door de licht- en nutriëntlimitatieklassen die in het Schelde estuarium voorkomen te combineren, kunnen drie gebieden worden aangewezen (zie bijlage 5 voor de kaart):

compartimenten 1 t/m 5:	extreem troebel (< 0.17)	extreem nutriëntrijk (> 0.9)
compartimenten 6 t/m 12:	troebel (0.17-0.5)	extreem nutriëntrijk (> 0.9)
compartiment 13:	troebel (0.17-0.5)	nutriëntrijk (0.5-0.9)



Figuur 3.5.5. De licht- en nutriëntlimitatie waarden voor de meetstations in het Schelde estuarium op volgorde van toenemende saliniteit. De stippellijnen geven de gekozen grenswaarden tussen de klassen extreem nutriëntrijk - nutriëntrijk (0.9) en extreem troebel - troebel (0.17) aan. De nummers corresponderen met de compartimenten van het SAWES model (uit Baretta-Bekker, in voorber.).

Volgens deze methode komen in het Schelde estuarium dus 3 licht- en nutriëntlimitatieklassen voor. In totaal is het aantal mogelijke combinaties voor licht- en nutriëntlimitatie 16 (4 klassen licht x 4 klassen nutriënten; zie figuur 3.5.6 uit Baretta-Bekker, in voorber.). In figuur 3.5.6 zijn de combinaties die in het Schelde estuarium voorkomen aangegeven met pijlen (de nummers 11, 12 en 16). In de toekomst kan bestudeerd worden welke klassen in de andere Nederlandse watersystemen voorkomen. In het centrale deel van de Noordzee zijn bijvoorbeeld klassen als extreem helder-extreem nutriëntarm en helder-nutriëntarm te verwachten. Indien nodig kunnen na bestudering van de licht- en nutriëntlimitatie parameters in de andere watersystemen de klassegrenzen aangepast worden.

Een andere methode die nader uitgewerkt en in de toekomst toegepast kan worden is weergegeven in figuur 3.5.1. Hierbij is het totale aantal klassen voor de primaire productie gereduceerd tot zeven.

nutriënten → ↓ licht	extreem nutriëntarm	nutriëntarm	nutriëntrijk	extreem nutriëntrijk
extreem helder	1	2	3	4
helder	5	6	7	8
troebel	9	10	11	12
extreem troebel	13	14	15	16

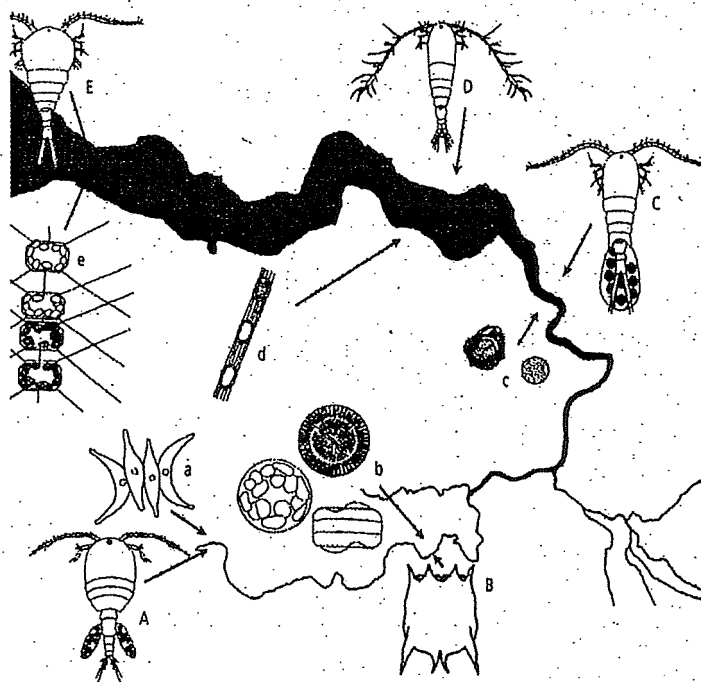
Figuur 3.5.6. De 16 mogelijke combinaties van de 4 klassen voor lichtlimitatie en de 4 klassen voor nutriëntlimitatie. De nummers 11, 12 en 16 komen in het Schelde estuarium voor (uit Baretta-Bekker, in voorber.).

4. Pelagische ecotopen in het Schelde estuarium

Om mee te beginnen is tot op heden de aandacht vooral gericht geweest op het indelen van het Schelde estuarium in pelagische ecotopen. Er is voor het Schelde estuarium gekozen vanwege de uitgebreide meetnetten en datasets die voor dit watersysteem beschikbaar zijn.

In het Schelde estuarium mondt de rivier de Schelde (België) uit in de Noordzee. Dit resulteert in een zoet-zoutgradiënt, waaraan het voorkomen van soorten gerelateerd is. Dit is voor fytoplankton en zoöplankton geïllustreerd in figuur 4.1 (uit Muylaert et al., 2001). De pelagische vis- en krabsoorten die in de Westerschelde voor kunnen komen zijn opgesomd in tabel 4.1 (uit Van Damme & Van der Veer, 2001). Kenmerkende eigenschappen van het Schelde estuarium zijn het grote getijverschil (tot circa 5 meter in het oostelijke deel), de hoge stroomsnelheden en de hoge troebelheid van het water. Stroomopwaarts van de Nederlands-Belgische grens is de waterkwaliteit zeer slecht, heersen zuurstofloze condities en speelt bacterieproductie een belangrijke rol.

Als begrenzing voor het indelen van het Schelde estuarium in pelagische ecotopen is (in aansluiting met enkele andere RIKZ projecten) stroomafwaarts gekozen voor de lijn Westkapelle-Zwin en stroomopwaarts tot de Belgische plaats Rupelmonde.



Figuur 4.1. De verspreiding van enkele algemene fytoplankton en zoöplankton soorten in het Schelde estuarium (uit Muylaert et al., 2001).

zoet, zonder getij:	groenwier <i>Scenedesmus</i> (a)	cyclopoïde copepoden (A)
zoet, met getij:	diatomee <i>Cyclotella</i> (b)	Rotiferen (B)
variabele mengzone:	diatomee <i>Thalassiosira proschkiniae</i> (c)	copepode <i>Eurytemora</i> (C)
brakke zone:	diatomee <i>Skeletonema</i> (d)	copepode <i>Acartia</i> (D)
zoute zone:	diatomee <i>Thalassiosira nordenskiöldii</i> (e)	copepode <i>Temora</i> (E)

Tabel 4.1. Pelagische vis- en krabsoorten die in de Westerschelde voor kunnen komen. De schuingedrukte soorten zijn niet gerapporteerd voor de Westerschelde (uit Van Damme & Van der Veer, 2001).

Nederlandse naam:	Latijnse naam:
Ansjovis	<i>Engraulis encrasicolus</i>
Fint	<i>Alosa fallax</i>
Fluwelen Zwemkrab	<i>Liocarcinus puber</i>
Geep	<i>Belone belone</i>
Gewone Zwemkrab	<i>Licarcinus holsatus</i>
Glasgrondel	<i>Aphia minuta</i>
Haring	<i>Clupea harengus</i>
Horsmakreel	<i>Trachurus trachurus</i>
Koornaarsvis	<i>Atherina presbyter</i>
Kleine Koornaarsvis	<i>Atherina boyeri</i>
Pelser	<i>Sardina pilchardus</i>
Sprot	<i>Sprattus sprattus</i>
Stekelbaars	<i>Gasterosteus aculeatus</i>
Voshaai	<i>Alopias vulpinus</i>
Zalm	<i>Salmo salar</i>
Zeeforel	<i>Salmo trutta</i>
Zeestekelbaars	<i>Spinachia spinachia</i>

Volgens de huidige voorlopige indeling van het pelagische ecotopenstelsel zijn 14 pelagische ecotopen te onderscheiden. Niet alle parameterklassen komen in het Schelde estuarium voor (zoals een korte verblijftijd), en ook komen niet alle combinaties van parameterklassen voor (zoals zoet water met een gemiddelde verblijftijd). Qua licht en nutriënten komen 3 van de 16 mogelijke combinaties voor: troebel en nutriëntrijk, troebel en extreem nutriëntrijk en extreem troebel en extreem nutriëntrijk. De pelagische ecotopen die in het Schelde estuarium onderscheiden kunnen worden zijn:

zoet water

- A. gemiddelde turbulentie en lange verblijftijd, extreem troebel en extreem nutriëntrijk
- B. hoge turbulentie en lange verblijftijd, extreem troebel en extreem nutriëntrijk

water met variabele saliniteit

- C. gemiddelde turbulentie en lange verblijftijd, extreem troebel en extreem nutriëntrijk
- D. hoge turbulentie en lange verblijftijd, extreem troebel en extreem nutriëntrijk
- E. gemiddelde turbulentie en lange verblijftijd, troebel en extreem nutriëntrijk
- F. hoge turbulentie en lange verblijftijd, troebel en extreem nutriëntrijk

brak water

- G. gemiddelde turbulentie en lange verblijftijd, extreem troebel en extreem nutriëntrijk
- H. hoge turbulentie en lange verblijftijd, extreem troebel en extreem nutriëntrijk
- I. gemiddelde turbulentie en lange verblijftijd, troebel en extreem nutriëntrijk
- J. hoge turbulentie en lange verblijftijd, troebel en extreem nutriëntrijk

zout water

K. gemiddelde turbulentie en lange verblijftijd, troebel en extreem nutriëntrijk

L. hoge turbulentie en lange verblijftijd, troebel en extreem nutriëntrijk

M. gemiddelde turbulentie en gemiddelde verblijftijd, troebel en nutriëntrijk

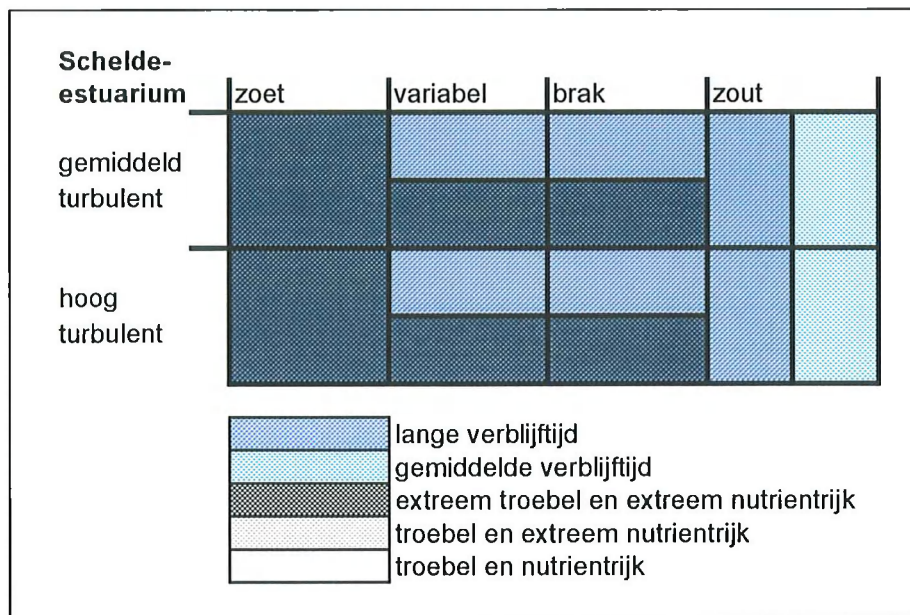
N. hoge turbulentie en gemiddelde verblijftijd, troebel en nutriëntrijk

De pelagische ecotopen die in het Schelde estuarium voorkomen zijn met de bijbehorende abiotische kenmerken in tabelvorm weergegeven in tabel 4.2. Figuur 4.2 is een schematische weergave van de pelagische ecotopen in het Schelde estuarium, in de vorm van een zogenaamde 'ecotopenmondriaan' (zie ZES, Bouma et al., in voorber.).

Tabel 4.2. De pelagische ecotopen in het Schelde estuarium met de bijbehorende abiotische kenmerken:

z = zoet, v = variabel, b= brak, Z = zout, gt = gemiddelde turbulentie, ht = hoge turbulentie, gv = gemiddelde verblijftijd, lv = lange verblijftijd, tn = troebel en nutriëntrijk, te = troebel en extreem nutriëntrijk, ee = extreem troebel en extreem nutriëntrijk.

pelagisch ecotoop	saliniteit				turbulentie		verblijftijd			limitatiefactor primaire productie		
A	z				gt				lv			ee
B	z					ht			lv			ee
C		v			gt				lv			ee
D		v				ht			lv			ee
E		v			gt				lv		te	
F		v				ht			lv		te	
G			b		gt				lv			ee
H			b			ht			lv			ee
I			b		gt				lv		te	
J			b			ht			lv		te	
K				Z	gt				lv		te	
L				Z		ht			lv		te	
M				Z	gt			gv		tn		
N				Z		ht		gv		tn		



Figuur 4.2. Schematisch overzicht van de pelagische ecotopen in het Schelde estuarium, in de vorm van een zogenaamde 'ecotopenmondriaan' (zie ZES).

5. Pelagische ecotopen in andere Nederlandse watersystemen

In tabel 5.1 is een eerste inschatting gemaakt van de aanwezige abiotische eigenschappen in het pelagiaal van de Eems-Dollard, Waddenzee, Oosterschelde, Noordzee, het Grevelingenmeer, Veerse Meer en de Nieuwe Waterweg. Zonder hierover gegevens te bestuderen is het niet mogelijk een indicatie te geven over het voorkomen van de 16 verschillende combinaties voor licht- en nutriëntlimitatie in de verschillende watersystemen. Daarom is in tabel 5.1 alleen onderscheid tussen troebel-helder en nutriëntarm-nutriëntrijk gemaakt.

Of deze abiotische pelagische eigenschappen werkelijk in deze watersystemen voorkomen, en aan de hand van het huidige pelagische ecopenstelsel gekarteerd kunnen worden, zal op basis van meetgegevens en modellen nader onderzocht moeten worden. De verwachting is dat het hier aangegeven eerste idee voor een pelagisch ecopenstelsel, dat in eerste instantie gebaseerd is op het Schelde estuarium, op allerlei punten aangevuld, aangepast en/of gespecificeerd moet worden om ook de verschillende typen waterkolommen in andere watersystemen goed te kunnen beschrijven (denk bijvoorbeeld aan het Friese Front in de Noordzee) en tegelijkertijd een overzichtelijk en bruikbaar stelsel over te houden.

Tabel 5.1. Een eerste inschatting van de aanwezige abiotische eigenschappen in het pelagiaal van de Eems-Dollard, Waddenzee, Oosterschelde, Noordzee, het Grevelingenmeer, Veerse Meer en de Nieuwe Waterweg. z = zoet, v = variabel, b = brak, Z = zout, s = stagnerend, gt = gemiddelde turbulentie, ht = hoge turbulentie, kv = korte verblijftijd, gv = gemiddelde verblijftijd, lv = lange verblijftijd, t = troebel, h = helder, a = nutriëntarm, r = nutriëntrijk.

	saliniteit				turbulentie			verblijftijd			licht		nutriënten	
	z	v	b	Z	s	gt	ht	kv	gv	lv	t	h	a	r
Eems-Dollard		x	x			x	x		x	x	x			x
Waddenzee		x		x		x	x	x	x	x	x			x
Oosterschelde				x		x	x		x	x	x	x		x
Noordzee		x		x		x	x	x			x	x	x	x
Grevelingenmeer				x	x					x		x		x
Veerse Meer			x		x					x	x			x
Nieuwe Waterweg	x	x	x			x	x		x		x			x

6. Aansluiting met de EUNIS classificatie

Bij het ontwikkelen van het pelagische ecotopenstelsel is getracht zoveel mogelijk aan te sluiten bij de marine habitat classification van EUNIS (European Nature Information System) (<http://mrw.wallonie.be/dgrne/sibw/EUNIS/home.html>). Dit is een Europees ecotopenstelsel, in ontwikkeling bij het European Environment Agency, dat bedoeld is voor gebruik bij Europese regelgeving.

Op het eerste niveau van de onderverdeling van de marine habitats (A) wordt het pelagiaal (de waterkolom) onderscheiden (A7), naast bijvoorbeeld sublitorale/litorale harde of zachte substraten (zie ZES, Bouma et al., in voorber.). Vervolgens wordt het pelagiaal onderverdeeld op basis van zoutgehalte en menging, wat resulteert in de volgende ecotopen:

- A7.1 neuston (organismen op grensvlak water/lucht)
- A7.2 volledig gemengde waterkolom brak
- A7.3 volledig gemengde waterkolom zout
- A7.4 gedeeltelijk gemengde waterkolom brak
- A7.5 ongestratificeerde waterkolom brak
- A7.6 vertikaal gestratificeerde waterkolom brak
- A7.7 fronten in waterkolom brak
- A7.8 ongestratificeerde waterkolom zout
- A7.9 vertikaal gestratificeerde waterkolom zout
- A7.A fronten in waterkolom zout

Ecotoop A7.1 van EUNIS (neuston, organismen op grensvlak water/lucht) is (voorlopig) niet opgenomen in het pelagische ecotopenstelsel. Ecotoop A7.7 (fronten in brak water) komt in Nederland niet voor.

Op het volgende niveau in de EUNIS classificatie wordt onder meer onderscheid gemaakt naar verblijftijd en naar type stratificatie. Het overige onderscheid dat op dit niveau gemaakt wordt is in Nederland niet van toepassing. Pelagische EUNIS ecotopen die in Nederland voorkomen zijn:

- A7.21 volledig gemengde waterkolom brak met korte verblijftijd
- A7.22 volledig gemengde waterkolom brak met gemiddelde verblijftijd
- A7.23 volledig gemengde waterkolom brak met lange verblijftijd
- A7.31 volledig gemengde waterkolom zout met korte verblijftijd
- A7.32 volledig gemengde waterkolom zout met gemiddelde verblijftijd
- A7.33 volledig gemengde waterkolom zout met lange verblijftijd
- A7.41 gedeeltelijk gemengde waterkolom brak met gemiddelde verblijftijd
- A7.42 gedeeltelijk gemengde waterkolom brak met lange verblijftijd
- A7.51 eufotische zone (epipelagische zone) in ongestratificeerd brak water
- A7.52 mesopelagische zone in ongestratificeerd brak water
- A7.65 brakke waterkolom met seizoenale zoutstratificatie
- A7.68 brakke waterkolom met seizoenale zuurstofstratificatie

- A7.81 eufotische zone (epipelagische zone) in ongestratificeerd zout water
- A7.82 mesopelagische zone in ongestratificeerd zout water
- A7.92 zoute waterkolom met seizoenale temperatuurstratificatie
- A7.98 zoute waterkolom met seizoenale zuurstofstratificatie
- A7.A3 persistente fronten in zout water

In het voorliggende pelagische ecotopenstelsel zijn de ecotopen waarin delen van de waterkolom worden beschreven (zoals de epi- en mesopelagische zone in A7.51, A7.52, A7.81 en A7.82) (voorlopig) niet opgenomen.

7. Aanbevelingen voor vervolgstappen

• **beschrijving ecologische inhoud van de ecotopen**

Voor de momenteel onderscheiden (voorlopige) pelagische ecotopen is de ecologische inhoud nog niet vastgesteld. Voor de verdere ontwikkeling van het pelagische ecotopenstelsel is het nodig hier in de toekomst verder aan te werken. Evenals voor de bentische ecotopen zou voor elk pelagisch ecotoop beschreven moeten worden welke processen er spelen, wat het resultaat daarvan is in het betreffende ecotoop, en welke karakteristieke en algemene pelagische soorten in het ecotoop voorkomen.

• **klassegrens turbulentie**

Aangezien de klassegrens voor turbulentie vrij arbitrair gekozen is, verdient het aanbeveling om in de toekomst nadere (literatuur-)studie te verrichten naar relaties tussen de mate van turbulentie en ecologische processen/het voorkomen van pelagische organismen.

• **turbulentie door stroming: verschillende dieptes**

De stroomsnelheid die gebruikt wordt in de turbulentie-formule is voor het Schelde estuarium berekend met het SCALWEST model, dat dieptegemiddelde stroomsnelheden berekent. In de toekomst zal het waarschijnlijk mogelijk zijn om ook op andere dieptes in de waterkolom stroomsnelheden en dus turbulentie te berekenen.

• **turbulentie door golfwerking**

Ook turbulentie ten gevolge van golfwerking speelt een belangrijke rol bij de menging van de waterkolom. Vanwege het gebrek aan kennis en gegevens over dit onderwerp is de turbulentie ten gevolge van golfwerking (nog) niet opgenomen als parameter in het pelagische ecotopenstelsel. Aangezien deze factor wel van groot belang wordt geacht, is het aan te bevelen hier in de toekomst verdere aandacht aan te besteden.

• **het voorkomen van fronten**

Een aparte categorie wat betreft turbulentie zijn plaatsen waar twee watermassa's elkaar ontmoeten (fronten). Dergelijke gebieden komen bijvoorbeeld voor in de Noordzee (zoals het Friese Front) en in estuaria (zoet - zout). In deze gebieden kan door de 'botsing' van de watermassa's opwerveling van bijvoorbeeld voedingstoffen (nutriënten) en organismen optreden. Dit verschijnsel wordt vanwege de omvang in Nederland vooral relevant geacht voor de Noordzee. Daarom zijn dergelijke gebieden voorlopig niet opgenomen in het pelagische ecotopenstelsel, dat in eerste instantie opgezet is voor het Schelde estuarium. Bij de verdere ontwikkeling van het pelagische ecotopenstelsel, waarbij ook andere watersystemen meer in beeld komen, is het zeker zinvol aan dit onderwerp meer aandacht te besteden. Een belangrijke vraag hierbij is hoe dergelijke fronten het beste in kaart kunnen worden gebracht.

• **stratificatie**

Een waterkolom kan gestratificeerd zijn door verschillen in zoutgehalte of temperatuur. In een niet goed gemengd (deel van) een watersysteem heeft de diepe waterlaag een hoger zoutgehalte en/of een lagere temperatuur dan de ondiepe waterlaag, wat veroorzaakt wordt door de verschillen in soortelijk gewicht. Stagnante wateren zijn in de zomer vaak gestratificeerd. In het Veerse Meer wordt dit veroorzaakt door het verschil in zoutgehalte, maar in het Grevelingenmeer door het verschil in temperatuur. In de ecotopenindeling voor het goed gemengde Schelde estuarium is geen rekening

gehouden met stratificatie. Eventueel zou de brakke mengzone (brak front) in de toekomst opgenomen kunnen worden. In (delen van) watersystemen die minder goed gemengd zijn en waar (seizoenale) stratificatie optreedt, is het (op de één of andere manier) opnemen van stratificatie in het ecotopenstelsel zeker zinvol. Een belangrijk punt hierbij is het in kaart brengen. Bijvoorbeeld: wordt de gestratificeerde waterkolom als één pelagisch ecotoop gezien, of bevinden zich twee pelagische ecotopen boven elkaar? Over dit punt is momenteel nog geen beslissing genomen.

• berekening verblijftijd

Er is voorlopig voor gekozen om voor de verblijftijden in het Schelde estuarium de gegevens uit Soetaert & Herman (1995) te gebruiken (13 compartimenten, SAWES model). In de toekomst kunnen met gedetailleerdere modellen (rasters) de verblijftijden berekend worden aan de hand van de formule:

$$V / (F_{in} - F_{uit}) = T_{verblijf} - T_{getij}$$

waarbij:

V	= watervolume (m ³)
F _{in}	= waterflux in (m ³ /s)
F _{uit}	= waterflux uit (m ³ /s)
T _{verblijf}	= verblijftijd (s)
T _{getij}	= verblijftijd getij (s)

• gebruik van actuelere dieptes (na de verdieping)

Voor het berekenen van de parameter voor lichtlimitatie voor het Schelde estuarium zijn de gemiddelde dieptes van de SAWES compartimenten gebruikt (uit Soetaert & Herman, 1995). Deze dieptes dateren van voor de laatste verdieping van de vaargeul (in 1996). Het verdient daarom aanbeveling om in een later stadium meer actuele dieptes van na de laatste verdieping te gebruiken.

• mogelijkheid directe vergelijking lichtlimitatie en nutriëntlimitatie

Om de parameters voor lichtlimitatie en nutriëntlimitatie direct met elkaar te kunnen vergelijken en te kunnen bepalen welke limitatie het sterkst is, is het gebruik van een andere berekeningsmethode voor lichtlimitatie nodig. Een methode die aan te bevelen is (uit Baretta-Bekker, in voorber.), is de berekening van lichtlimitatie volgens Peeters et al. (1993). Hiervoor ontbreken momenteel echter nog de gegevens voor I_k (Eilers & Peeters, 1988). De berekening is als volgt:

$$P / P_{max} = I_{av} / (I_k + I_{av})$$

waarbij:

P	= primaire productie snelheid
P _{max}	= maximale primaire productie snelheid
I _k	= de karakteristieke lichtintensiteit, af te leiden uit de P/I curve (Eilers & Peeters, 1988)
I _{av}	= gemiddelde lichtinstraling per dag in de waterkolom. Deze parameter kan berekend worden aan de hand van:

$$I_{av} = I_0 (1 - \exp(-K_d Z_m)) / K_d Z_m$$

waarbij:

I_0	= gemiddelde lichtinstraling per dag aan het wateroppervlak (meetgegevens)
K_d	= lichtuitdovingscoëfficiënt (te berekenen uit secchimetingen)
Z_m	= mengdiepte (in goed gemengde systemen gelijk aan de totale diepte)

• klassegrenzen lichtlimitatie

Er is voorlopig voor gekozen om vier klassen te onderscheiden voor de lichtlimitatie parameter Z_{eu} / Z_m , waarbij onderscheid gemaakt wordt tussen extreem troebel, troebel, helder en extreem helder water. Daarbij zijn grenzen vastgesteld op 0.17, 0.5 en 0.9 (H. Haas & H. Baretta-Bekker, RIKZ). De grens van 0.17 is gekozen op basis van Cole & Cloern (1984) en Kromkamp & Peene (1995). De grenzen van 0.5 en 0.9 zijn eerste inschattingen, en aangezien hier (tot nu toe) eigenlijk geen ecologische argumenten voor gevonden zijn, is het misschien beter (één van) deze grenzen weg te laten.

• klassegrenzen nutriëntlimitatie

Er is (voorlopig) voor gekozen om vier klassen te onderscheiden voor de nutriëntlimitatie parameter V / V_{max} , waarbij onderscheid gemaakt wordt tussen extreem nutriëntarm, nutriëntarm, nutriëntrijk en extreem nutriëntrijk. Daarbij zijn volgens eerste inzichten grenzen vastgesteld op 0.1, 0.5 en 0.9 (H. Haas & H. Baretta-Bekker, RIKZ). Om voor de limitatiefactor voor primaire productie (in combinatie met licht) een beperkt aantal klassen over te houden (bijvoorbeeld geen primaire productie, een lage primaire productie en een hoge primaire productie), is het misschien beter het aantal klassen voor nutriëntlimitatie te reduceren (tenzij er ecologische argumenten zijn om de huidige vier klassen te handhaven).

• bepaling helderheid aan de hand van satellietbeelden

Licht (de helderheid van het water) is behalve voor de primaire productie ook van belang voor bijvoorbeeld zichtjagende vogels. De helderheid van het water zou wellicht ook aan de hand van satellietbeelden bepaald kunnen worden. Daarnaast kunnen satellietbeelden gebruikt worden als een soort visuele controle om na te gaan of de indeling in pelagische ecotopen overeenkomt met de werkelijkheid.

• turnover tijd van nutriënten

In gebieden met helder en nutriëntarm water kan ondanks de lage concentraties van N en P toch primaire productie plaatsvinden. De verklaring hiervoor ligt in de lage turnover tijd voor N en P. Het verdient aanbeveling naar dit onderwerp in de toekomst een literatuurstudie uit te voeren en aan de hand daarvan te beslissen op welke manier de turnover tijd het beste in het ecotopenstelsel opgenomen kan worden.

• toevoeging parameter temperatuur/breedtegraad

Wellicht is het een mogelijkheid om in de toekomst bij het gebruik van het pelagische ecotopenstelsel voor andere watersystemen een factor temperatuur en/of breedtegraad toe te voegen. Aangezien veel processen, maar ook het voorkomen van organismen, beïnvloed worden door de temperatuur, zou dit een extra onderscheidend element kunnen zijn, vooral wanneer gesproken gaat worden over Europees niveau. Voor de meeste Nederlandse watersystemen zijn (lokale) temperatuurmetingen beschikbaar. Veelal alleen van het oppervlaktewater, maar voor gestratificeerde gebieden zijn vaak ook diepteprofielen beschikbaar. Ruimtelijke patronen in temperatuur kunnen ook afgeleid worden uit satellietbeelden.

8. Literatuur

- Armonies, W., 1994. Drifting meio- and macrobenthic invertebrates on tidal flats in Konigshafen: a review. *Helgoländer Meeresunters.* 48: 299-320.
- Bakker, C. & P. Van Rijswijk, 1994. Zooplankton biomass in the Oosterschelde (SW Netherlands) before, during and after the construction of a storm-surge barrier. *Hydrobiologia* 282/283: 127-143.
- Bakker, C., P.M.J. Herman & M. Vink, 1994. A new trend in the development of the phytoplankton in the Oosterschelde (SW Netherlands) during and after the construction of a storm-surge barrier. *Hydrobiologia* 282/283: 79-100.
- Bouma, H., P.P. de Vries, J.M.C. Duiker, P.M.J. Herman & W.J. Wolff, 2001. Migration of the bivalve *Macoma balthica* on a highly dynamic tidal flat in the Westerschelde estuary, The Netherlands. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 224: 157-170.
- Bouma, H., D.J. de Jong & F. Twisk, in voorber. Zoute wateren Ecotopen Stelsel (ZES). RIKZ.
- Butman, C.A., 1987. Larval settlement of soft-sediment invertebrates: the spatial scales of pattern explained by active habitat selection and the emerging role of hydrodynamical processes. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 25: 113-165.
- Cole, B.E. & J.E. Cloern, 1984. Significance of biomass and light availability to phytoplankton productivity in San Francisco Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 17: 15-24.
- Creutzberg, F., 1978. Transport of marine organisms by tidal currents. In: Dankers, N., Wolff, W.J., Zijlstra, J.J. (eds.) *Fishes and fisheries of the Wadden Sea. Final report of the section 'Fishes and fisheries' of the Wadden Sea Working Group. Report 5 of the Wadden Sea Working Group*, p 26-32.
- Damme, C.J.G. van & H.W. van der Veer, 2001. The nursery function of the Westernscheldt for fish and crustaceans. Netherlands Institute for Sea Research, Texel. In opdracht van RIKZ. 48 p.
- Eilers, P.H.C. & J.C.H. Peeters, 1988. A model for the relationship between light intensity and the rate of photosynthesis in phytoplankton. *Ecol. Modell.* 42: 199-215.
- Grobbelaar, J.U., 1990. Modelling phytoplankton productivity in turbid waters with small euphotic to mixing depth ratios. *J. Plankton Res.* 12: 923-931.
- Heath, M.R., E.W. Henderson & D.L. Baird, 1988. Vertical distribution of herring larvae in relation to physical mixing and illumination. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 47: 211-228.
- Jong, D.J. de, 1999. Ecotopes in the Dutch Marine Tidal Waters. A proposal for a classification of ecotopes and a method to map them. RIKZ report 99.017.

- Kinne, O., 1971. Salinity - Animals – Invertebrates. In: O. Kinne (ed.), *Marine ecology. A comprehensive, integrated treatise on life in oceans and coastal waters*, Wiley London, 1 (2): 683-1244.
- Klijn, F. & H.A.U. de Haes, 1990. Hiërarchische ecosysteemclassificatie. Voorstel voor een eenduidig begrippenkader. *Landschap* 7/4, 215-233.
- Kromkamp, J. & J. Peene, 1995. Possibility of net phytoplankton primary production in the turbid Schelde Estuary (SW Netherlands). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 121: 249-259.
- Kromkamp, J., J. Peene, P. van Rijswijk, A. Sandee & N. Goosen, 1995. Nutrients, light and primary production by phytoplankton and microphytobenthos in the eutrophic, turbid Westerschelde estuary (The Netherlands). *Hydrobiologia* 311: 9-19.
- Lorenz, C., 2001. Rijkswateren-Ecotopen-Stelsels Oevers. Witteveen + Bos, Deventer, en RIZA. SECI/DUUH/rap. 001.
- Maas, G.J., 1998. Rijkswateren-Ecotopen-Stelsels: Benedenrivier-Ecotopen-Stelsel. Herziening van de ecotopen-indeling Biesbosch-Voordelta en afstemming met het Rivier-Ecotopen-Stelsel en de voorlopige indeling voor de Zoute Delta. DLO-Staring Centrum, Rijkswaterstaat RIZA. RWES rapport nr. 3.
- MacKenzie, B.R. & T. Kiørboe, 2000. Larval fish feeding and turbulence: A case for the downside. *Limnol. Oceanogr.* 45: 1-10.
- Meulen, Y.A.M. van der, 1997. Meren ecotopen stelsel. RIZA nota 97.076, Lelystad.
- Molen, D.T. van der, H.P.A. Aarts, J.J.G.M. Backx, E.F.M. Geilen & M. Platteeuw, 2000. Rijkswateren-Ecotopen-Stelsels: Aquatisch. RIZA rapport 2000.038. RWES rapport nr. 5.
- Muylaert, K., M. Tackx & K. Soetaert, 2001. Leven in troebel water: het planktonische leven in het estuariene water. *De Levende Natuur* 102, 2: 84-86.
- Peeters, J.C.H. & L. Peperzak, 1990. Nutrient limitation in the North Sea: a bioassay approach. *Neth. J. Sea Res.* 26: 61-73.
- Peeters, J.C.H., H. Haas, L. Peperzak & L.P.M.J. Wetsteyn, 1991. Limiting factors for phytoplankton in the North Sea. *Wat. Sci. Tech.* 24: 261-267.
- Peeters, J.C.H., H. Haas, L. Peperzak & I. de Vries, 1993. Nutrients and light as factors controlling phytoplankton biomass on the Dutch Continental Shelf (North Sea) in 1988-1990. DGW-93.004.
- Peters, J., 1999. Kanalen ecotopen stelsel. RIZA nota 99.019, Lelystad.
- Prins, T.C. & A.C. Smaal, 1994. The role of the blue mussel *Mytilus edulis* in the cycling of nutrients in the Oosterschelde estuary (The Netherlands). *Hydrobiologia* 282/283: 413-429.
- Rademakers, J.G.M. & H.P. Wolfert, 1994. Het rivieren ecotopenstelsel. Publicatie Ecologisch herstel Rijn en Maas nr. 61-1994. RIZA, Lelystad.

- Remane, A., 1934. Die Brackwasserfauna. Verh. Deutsch. Ges. 36: 34-74.
- Remane, A. & C. Schlieper, 1971. Biology of brackish water. Wiley Interscience Division, John Wiley & Sons, Inc. New York, 372.
- Ruiter, J.F. & D.J. de Jong, 1998. HABIMAP. Een GIS-applicatie ten behoeve van de aanmaak en presentatie van habitat- en ecotopenkaarten in kustwateren. Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, 7 p.
- Schmidt-Van Dorp, A.D., 1979. Literatuuronderzoek naar de soortenrijkdom van het macrozoöbenthos in relatie tot het zoutgehalte. Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, Yerseke. Rapporten en Verslagen 1979-5, 94 p.
- Soetaert, K. & P. van Rijswijk, 1993. Spatial and temporal patterns of the zooplankton in the Westerschelde estuary. Mar. Ecol. Prog. Ser. 97: 47-59.
- Soetaert, K. & P.M.J. Herman, 1995. Estimating estuarine residence times in the Westerschelde (The Netherlands) using a box model with fixed dispersion coefficients. Hydrobiologia 311: 215-224.
- Soetaert, K., P.M.J. Herman & J. Kromkamp, 1994. Living in the twilight: estimating net phytoplankton growth in the Westerschelde estuary (The Netherlands) by means of an ecosystem model (MOSES). J. Plankton Res. 16: 1277-1301.
- Sverdrup, H.W., 1953. On conditions for the vernal blooming of phytoplankton. J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer. 29: 130-135.
- Valiela, I., 1995. Marine ecological processes. Second edition. Springer Verlag, New York, 686 p.
- Vos, M. & W.J. Wolff, 2001. Ontwerp-ecotopenstelsel voor de brakke rijkswateren. Rijksuniversiteit Groningen, Mariene Biologie.
- Wolfert, H.P., 1996. Rijkswateren-Ecotopen-Stelsels. Uitgangspunten en plan van aanpak. DLO-Staring Centrum, Wageningen. RIZA Nota nr.: 96.050.

Bijlage 1. In een eerder stadium wel onderzochte, maar niet opgenomen parameters

• diepte niet opgenomen als aparte parameter

Pelagische ecotopen betreffen de watermassa boven de bodem. Deze watermassa is in getijdewateren als het Schelde estuarium voortdurend in beweging. Hierdoor kan een bepaalde watermassa in de loop van de tijd (bijvoorbeeld een getijcyclus) zowel in een geul als boven een plaat voorkomen. Dit maakt het onderscheid in diepe en ondiepe delen voor pelagische ecotopen minder relevant, in tegenstelling tot de benthische ecotopen. Ook de kinderkamerfunctie van ondiepe delen lijkt primair een benthische zaak (zie ZES, Bouma et al., in voorber.). De diepte is daarom niet meegenomen als aparte parameter, maar wordt wel meegenomen in de berekening van de turbulentie.

• lineaire stroomsnelheid niet opgenomen als aparte parameter

De lineaire stroomsnelheid is niet opgenomen als aparte parameter in het pelagische ecotopenstelsel. De turbulentie lijkt een belangrijker factor, aangezien turbulentie een belangrijke rol speelt bij de menging van de waterkolom en stress kan veroorzaken voor pelagische organismen. Voor het berekenen van de turbulentie is een formule gekozen waarin de lineaire stroomsnelheid voorkomt, zodat deze indirect toch wordt meegenomen.

• verworpen parameters voor saliniteit

Voorafgaand aan de uiteindelijk gekozen kaart (combinatie gemiddelde zoutgehalte en zoutvariatie, gemiddelde rivierafvoer, hoog water, gemiddeld over één jaar) zijn voor de Westerschelde ook kaarten gemaakt van:

- het zoutgehalte bij een gemiddelde rivierafvoer (hoog water, springtij)
- het zoutgehalte bij een gemiddelde rivierafvoer (laag water, springtij)
- het zoutgehalte bij een extreem lage rivierafvoer (hoog water, springtij)
- het zoutgehalte bij een extreem hoge rivierafvoer (laag water, springtij)

• mate van detail weergave limitatiefactor voor primaire productie

De parameters voor lichtlimitatie en nutriëntlimitatie zijn nu voor het Schelde estuarium in kaart gebracht voor de 13 compartimenten van het SAWES model. In eerste instantie was het de bedoeling om de gegevens samen met de coördinaten van de meetstations in een zogenaamde XYZ-file te zetten en uit deze gegevens door middel van interpolatie een gridveld samen te stellen. Hier is echter van afgezien omdat de verschillen binnen het Schelde estuarium zo klein bleken te zijn dat er niet geïnterpoleerd hoefde te worden. In watersystemen waar de verschillen wel groter zijn is dit wel aan te bevelen.

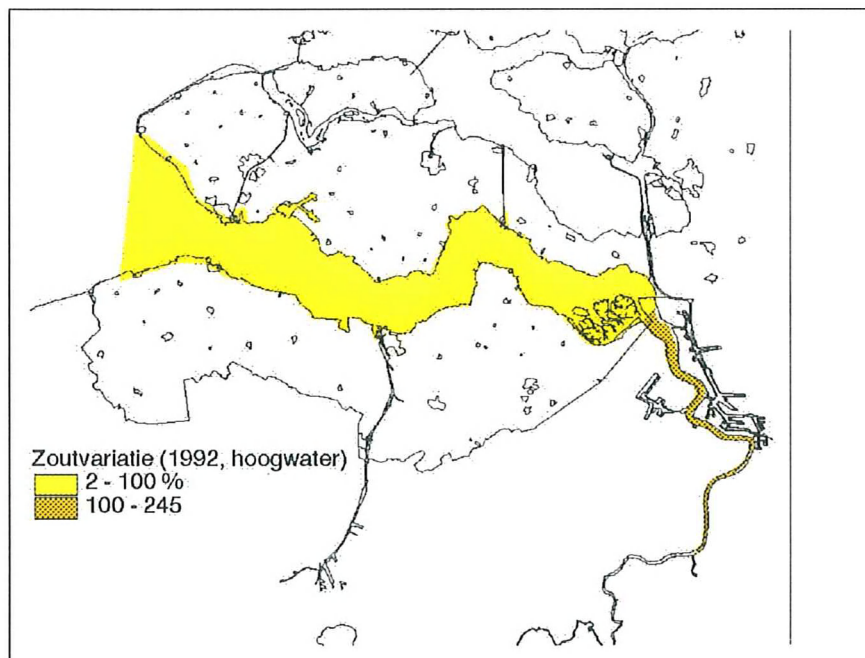
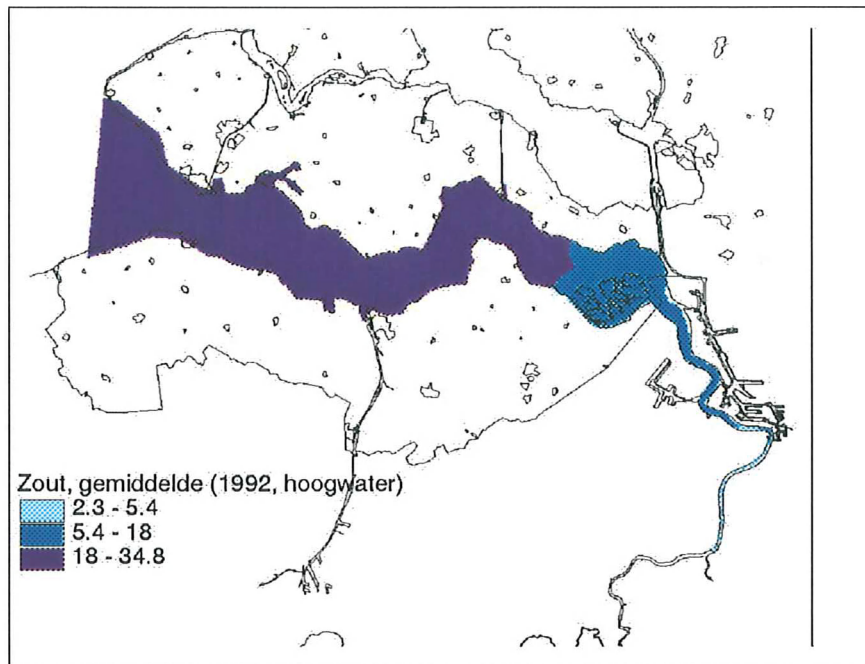
• grens eufotische zone

Tijdens een bijeenkomst (19 juni 2002; Dick de Jong, Marjo Lievaart, Jacco Kromkamp en Theo Prins) is er over gesproken of de grens voor de eufotische zone eventueel naar 0.1 % lichtdoordringing zou moeten. Hier is echter van afgezien en de grens is op 1 % lichtdoordringing gelaten.

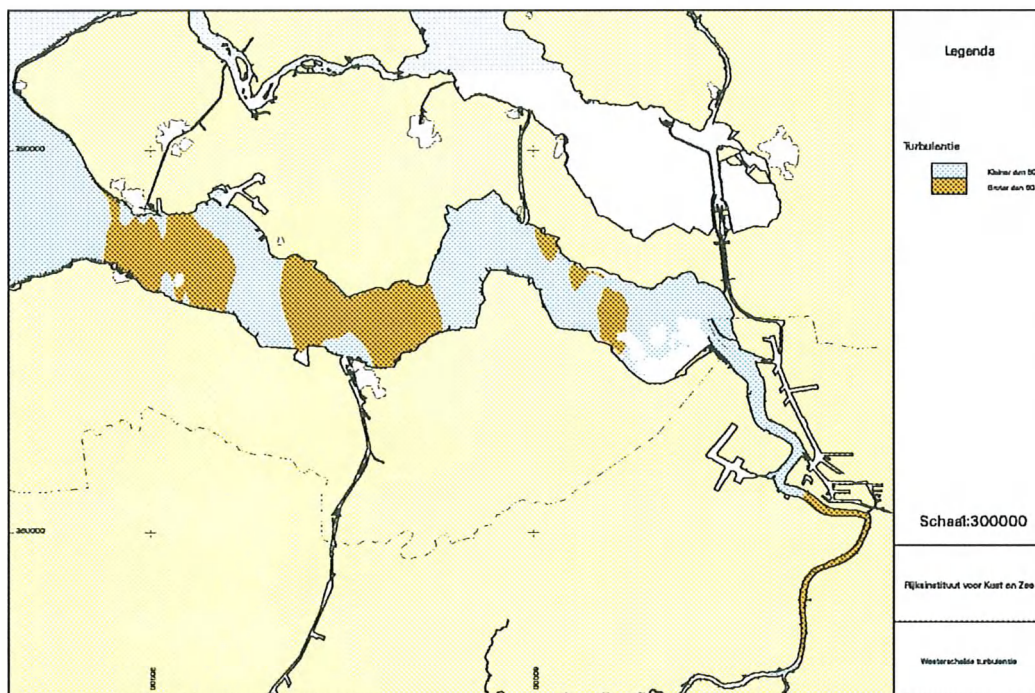
• **overige niet opgenomen parameters**

- extinctie (de lichtparameter Z_{eu} / Z_m wordt relevanter geacht)
- stratificatie (niet relevant voor het Schelde estuarium, maar wel voor bijvoorbeeld het Grevelingenmeer)
- slibgehalte (is indirect opgenomen in Z_{eu} , die afgeleid is uit secchi-gegevens)
- de hoeveelheid zoetwaterspui vanuit diverse lozingspunten langs de Westerschelde
- zuurstofgehalte (op te nemen bij het beschrijven van de ecologische inhoud van de ecotopen)
- biodiversiteit (op te nemen bij het beschrijven van de ecologische inhoud van de ecotopen)
- soortsaamenstelling (op te nemen bij het beschrijven van de ecologische inhoud van de ecotopen)

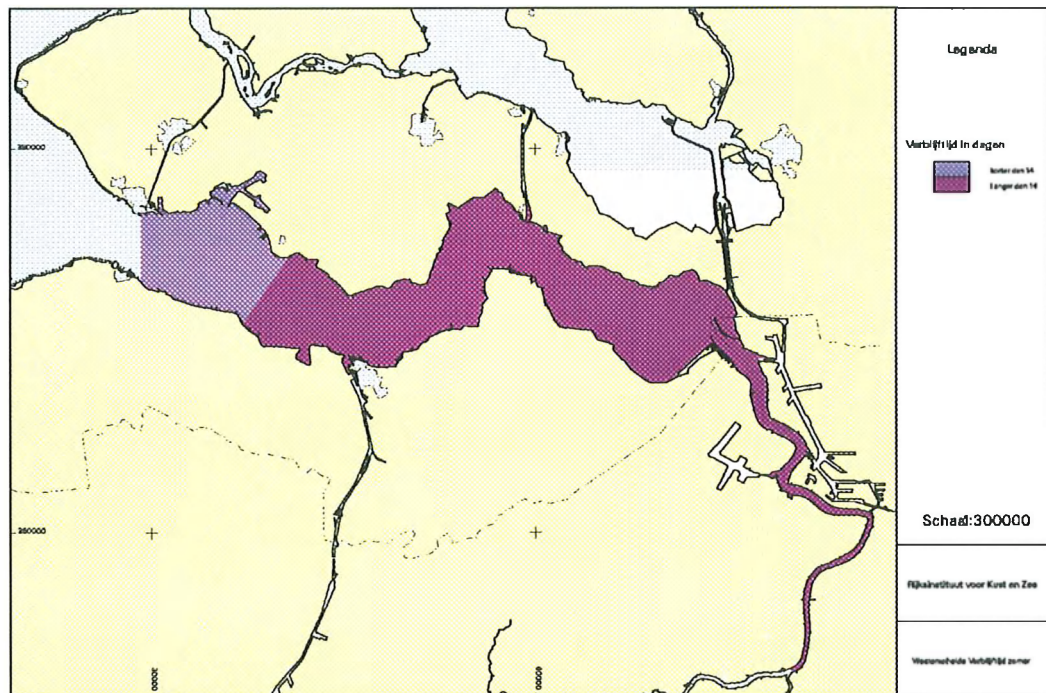
Bijlage 2. Kaarten gemiddelde zoutgehalte en zoutvariatie Schelde estuarium



Bijlage 3. Kaart turbulentie Schelde estuarium



Bijlage 4. Kaart verblijftijd Schelde estuarium



Bijlage 5. Kaart limitatiefactor primaire productie Schelde estuarium

Het Schelde estuarium is qua licht- en nutriëntlimitatie onder te verdelen in drie gebieden (compartimenten uit het SAWES model): donkergroen = extreem troebel en extreem nutriëntrijk; groen = troebel en extreem nutriëntrijk; lichtgroen = troebel en nutriëntrijk (figuur uit Baretta-Bekker, in voorber.).

