

**Nauwkeurigheid en precisie
Ecotopenkaarten
Westerschelde**



Nauwkeurigheid en precisie Ecotopenkaarten Westerschelde

dr.ir. J.T. Dijkstra
ir. H. Holzhauser

1209394-000

Titel

Nauwkeurigheid en precisie Ecotopenkaarten Westerschelde

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat WVL

Project

1209394-000

Kenmerk

1209394-000-ZKS-0026

Pagina's

79

Trefwoorden

Schelde estuarium, Zoute Ecotopenstelsel (ZES), ecotopenkaarten, onzekerheden.

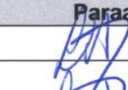
Samenvatting - kort

Op een objectieve wijze is inzicht gegeven in de reproduceerbaarheid van de ecotopenkaart en de bronnen van toevallige en systematische fouten in de invoerparameters van de ecotopenkaart, die samen de nauwkeurigheid van de ecotopen op de kaart bepalen.

De analyse op basis van de gegevens van 2012 geeft aan dat de nauwkeurigheid van de ecotopenkaart wordt bepaald door de invoerparameters en dat de stroomsnelheid en droogvalduur gevoelig zijn voor zowel fouten als voor de natuurlijke dynamiek in het systeem. Dit heeft vooral effect op de nauwkeurigheid van een aantal specifieke ecotopen zoals het supralitoraal, het laagdynamische sublitoraal maar ook het laagdynamische laag en hoog gelegen litoraal. Bij het analyseren van bijvoorbeeld trendontwikkelingen zal hier rekening mee gehouden moeten worden.

Referenties

KPP Westerschelde

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	dec. 2014	J.T. Dijkstra		L. van Duren			
		H. Holzhauser					
	Jun. 2015	J.T. Dijkstra		L. van Duren			
		H. Holzhauser					
	Sept 2015	J.T. Dijkstra		L. van Duren		S. Tatman	
		H. Holzhauser					

Status

definitief

Inhoud

Samenvatting	i
1 Inleiding	1
1.1 Achtergrondkader	1
1.2 Het Zoute wateren Ecotopenstelsel (ZES)	1
1.2.1 Indeling van het ZES	1
1.2.2 Verschillende toepassingen van het ZES	2
1.3 Doel	3
1.4 Aanpak	3
1.5 Leeswijzer	3
2 Methoden	5
2.1 Nauwkeurigheid van de ecotopenkaart	6
2.2 Productieproces	8
3 Nauwkeurigheid invoerparameters kaarten	9
3.1 Inleiding	9
3.2 Bodemhoogte	9
3.2.1 Inwinning veldgegevens en productie van de kaart	9
3.2.2 Mogelijke foutenbronnen	10
3.3 Droogvalduur	13
3.3.1 Inwinning veldgegevens en productie van de kaart	14
3.3.2 Mogelijke foutenbronnen	14
3.3.3 Evaluatie nauwkeurigheid	15
3.4 Stroomsnelheid	18
3.4.1 Inwinning veldgegevens en productie van de stroomsnelheidskaart	18
3.4.2 Mogelijke foutenbronnen	19
3.4.3 Evaluatie nauwkeurigheid	19
3.5 Geomorfologie	25
3.5.1 Inwinning veldgegevens en productie van de kaart	26
3.5.2 Mogelijke foutenbronnen	27
3.5.3 Evaluatie nauwkeurigheid	31
3.5.4 Nauwkeurigheid geomorfologische kaart	38
4 Scenario's per inputparameter	43
5 Productieproces ecotopenkaarten	47
5.1 Inleiding	47
5.2 Model aanpassingen	47
5.3 Werkwijze van het model	48
5.4 Analyse reproduceerbaarheid	49
5.5 Analyse werkmethode	50
6 Effecten ecotopenkaart 2012	53
6.1 Resultaten Tussenresultaat 1	53
6.1.1 Verschillen per klasse op basis van Tussenresultaat 1	54
6.1.2 Verschillen per scenario	56

6.2	Eindresultaat de Ecotopen	57
6.2.1	Ecotopen in de zoute zone	58
6.2.2	Ecotopen in de polyhaliene zone	59
6.2.3	Ecotopen in de mesohaliene zone	60
6.3	Gevoeligheid van ecotopen in de gehele Westerschelde	61
7	Conclusies en advies	65
7.1	Omgang met de gevoeligheid van de ecotopenkaarten	65
7.2	Nauwkeurigheid van de kaarten	65
7.3	Mogelijk nieuwe parameters	66
7.4	Methodiek en model	67
7.5	Vervolg studie	68
8	Literatuur	69
	Dankwoord	73
	Bijlage(n)	
A	Overzicht Geomorfologietypen	A-1
B	Resultaten scenario's	B-1
B.1	Verschil in ha westelijke deel Westerschelde	B-1
B.2	Verschil in ha midden deel Westerschelde	B-2
B.3	Verschil in ha oostelijk deel Westerschelde	B-3
C	Trendontwikkeling met geschatte nauwkeurigheid	C-1

Samenvatting

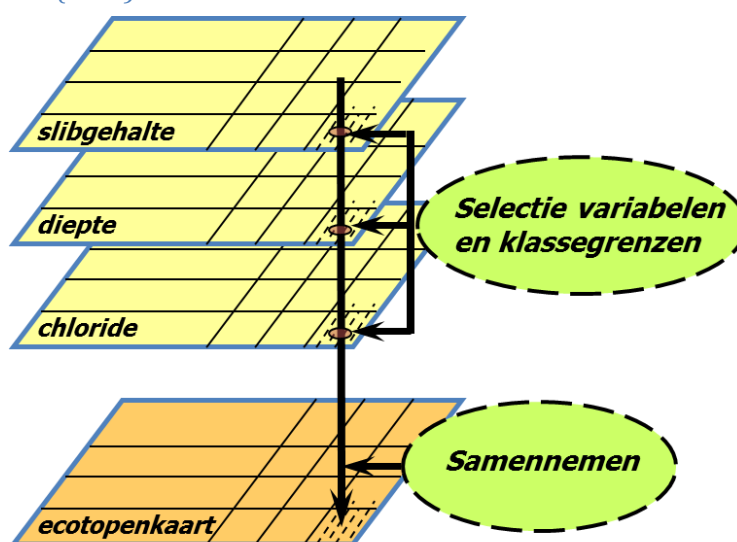
Het Schelde-estuarium is een voortdurend evoluerend complex watersysteem. De beleidsdoelstelling voor het Schelde-estuarium is gebaseerd op de langetermijnvisie 2030 (TSC 2001) en is “Het ontwikkelen van een gezond en multifunctioneel estuarien watersysteem dat op duurzame wijze gebruikt wordt voor menselijke behoeften”. Hierbij zijn er drie geprioriteerde functies: Veiligheid (tegen overstromen), Toegankelijkheid (van de Scheldehavens) en Natuurlijkheid (van het fysieke en ecologische systeem). Middels het monitoringsprogramma MONEOS (Meire *et al.* 2008) en de Evaluatiemethodiek (Holzhauer *et al.* 2011, Maris *et al.* 2014) worden elke 6 jaar de status en ontwikkeling van het estuarium geëvalueerd met behulp van maatlatten die zijn gebaseerd op deze beleidsdoelstellingen (VNSC 2013). Over eventuele maatregelen die getroffen moeten worden vindt gezamenlijke besluitvorming van Nederland en Vlaanderen plaats binnen de kaders van de Vlaams Nederlandse Schelde Commissie (VNSC). De ecotopenkaart is een belangrijke informatiebron voor deze evaluatie. Het is dan ook van belang dat de precisie en nauwkeurigheid van de ecotopenkaart bekend zijn. Dit houdt in dat de nauwkeurigheid van de ecotopen weergegeven op de kaart bekend moet zijn en dat de ecotopenkaart zelf binnen kleine foutmarges reproduceerbaar (precies) moet zijn.

Het doel van deze rapportage is om op een objectieve wijze inzicht te geven in de reproduceerbaarheid (precisie) van de ecotopenkaart en de bronnen met ordegrrootte van toevallige en systematische fouten in de invoerparameters van de ecotopenkaart, die samen de nauwkeurigheid van de aanduidingen van ecotopen op de kaart bepalen.

Zoute wateren Ecotopenstelsel (ZES)

De ecotopenkaart is gebaseerd op het Zoute wateren Ecotopenstelsel (ZES). Het ecotopenstelsel is een hiërarchisch opgebouwde indeling (classificatiesysteem) waarin de meest belangrijke abiotische omgevingsfactoren (zoutgehalte, substraat, diepte, droogvalduur en (hydro)dynamiek) en biotische aspecten (aanwezigheid begroeiing) worden gecombineerd tot een ecotopenkaart (Bouma *et al.* 2005).

In de Westerschelde worden de laagdynamische ecotopen het hoogst gewaardeerd. In deze rustige gebieden in het sublitoraal en litoraal kunnen verschillende levensgemeenschappen tot ontwikkeling komen en daarmee wordt een belangrijke foerageerfunctie voor vogels, vissen en zeezoogdieren vervuld.



Figuur 1: Schematische weergave voor de vervaardiging van de ecotopenkaart

Aanpak

De opdracht bestaat uit twee onderdelen, het bepalen van 1) de nauwkeurigheid en 2) de precisie van de ecotopenkaarten van de Westerschelde.

De **nauwkeurigheid** is bepaald door eerst van elke invoerparameter de mogelijke foutenbronnen te identificeren. De belangrijkste bron hiervoor was de Dienstbeschrijving Zoute Ecotopen Kartering (Kers *et al.* 2013) aangevuld met literatuur en expertkennis. Aan de hand van de geïdentificeerde foutenbronnen is voor de invoerparameter een maximale range gekwantificeerd voor de nauwkeurigheid. Op basis van deze range en de gegevens voor het jaar 2012 zijn voor elke parameter twee varianten opgesteld: een plus-variant en een min-variant. In werkelijkheid zal de fout kleiner zijn, maar altijd binnen deze range vallen.

De ecotopenkaart is een combinatie van de zes eerder genoemde invoerparameters. Elke invoerparameter heeft een originele, een plus- en een min-variant. Dit geeft een grote hoeveelheid aan mogelijke combinaties ($3^6 = 729$) en kan met de beschikbare instrumenten niet geanalyseerd worden. Er zijn 21 scenario's geselecteerd waarvan verwacht wordt dat de combinatie daadwerkelijk voorkomt. Zo is het bijvoorbeeld niet logisch dat de bodemhoogte een verhoogde waarde heeft en de droogvalduur juist een verlaagde waarde omdat de berekening van de droogvalduur gebruik maakt van diezelfde bodemhoogte.

De scenario's zijn ingevoerd in het ARCGIS Modelbuilder model (de Lange *et al.* 2013), dat in opdracht van RWS speciaal is gebouwd voor het gestandaardiseerd opstellen van de ecotopenkaart. Vervolgens zijn de verschillende ecotopenkaarten geanalyseerd, om de gevoeligheid voor onnauwkeurigheden in de invoerparameters en een range voor de nauwkeurigheid per ecotoop te bepalen.

De **precisie** van de ecotopenkartering wordt voornamelijk bepaald door de reproduceerbaarheid. Met behulp van invoerparameters voor de ecotopenkaart van 2012 en het ArcGIS Modelbuilder model is de ecotopenkaart van 2012 opnieuw gemaakt en vergeleken met de door RWS uitgeleverde definitieve Ecotopenkaart 2012. Het ArcGIS Modelbuilder model maakt gebruik van functie om randen van vlakken glad te maken. Dit kan mogelijk kleine verschillen veroorzaken. Om dit te testen is de kaart van 2012 vijf keer gemaakt en zijn de resultaten onderling vergeleken. Tot slot is de modelcode van het ArcGIS Modelbuilder model voor de het maken van de ecotopenkaart nagelopen op mogelijke onderdelen die fouten in de hand kunnen werken. Deze acties zijn vervolgens verwerkt in een advies voor de toepassing en mogelijke verbeterpunten voor het model.

Resultaten t.a.v. de nauwkeurigheid van de ecotopenkaart

De ecotopen die het meest gevoelig zijn voor de nauwkeurigheid van de invoerparameters zijn het laagdynamisch sublitoraal en supralitoraal. Het areaal **laagdynamisch sublitoraal (diep en ondiep)** laat een spreiding zien van meer dan 20% (tabel 1). Deze spreiding wordt vooral gestuurd door onnauwkeurigheden in de berekening van de stroomsnelheid. Ook de **supralitorale gebieden** zijn gevoelig voor onnauwkeurigheden in de invoerparameters, maar dan voornamelijk in de droogvalduur. Het supralitoraal heeft geen ruimte om veranderingen in de droogvalduur te compenseren door een verschuiving naar het naast gelegen areaal omdat dit areaal vaak begroeid is en daarmee een harde grens vormt.

Het **laagdynamisch midden litoraal** is weinig gevoelig voor de nauwkeurigheid van de invoerparameters omdat het een redelijk groot oppervlak beslaat (3063 ha) ten opzichte van de arealen laagdynamisch laag en hoog litoraal. Daarnaast heeft het de mogelijkheid om verlies aan de 'ene' kant (naar hoog litoraal) te compenseren door winst aan de 'andere' kant (van laag litoraal) en vice versa. De arealen **laagdynamisch laag** en **hoog litoraal** zijn gevoeliger voor onnauwkeurigheden in de invoerparameters vanwege de kleinere oppervlaktes en dan vooral voor de droogvalduur.

De **hoogdynamische gebieden** in zowel het **sublitoraal** als het **litoraal** zijn dusdanig groot qua oppervlak dat de mogelijke variatie die kan optreden door onnauwkeurigheden in de invoerparameters verschillen geeft die kleiner zijn dan 5%. In absolute waarde kunnen deze verschillen echter wel groot zijn (zie het hoogdynamisch sublitoraal in Tabel 1)

Ecotopen
Hard substraat steen
Hard substraat veen/klei
Schor
Pionierzone
Laagdynamisch supralitoraal
Hoogdynamisch litoraal
Laagdynamisch hooglitoraal, fijnzandig
Laagdynamisch hooglitoraal, slibrijk
Laagdynamisch middenlitoraal, fijnzandig
Laagdynamisch middenlitoraal, slibrijk
Laagdynamisch laaglitoraal, slibrijk
Laagdynamisch laaglitoraal, fijnzandig
Hoogdynamisch sublitoraal
Laagdynamisch sublitoraal, diep
Laagdynamisch sublitoraal, ondiep

Tabel 1 Oppervlak van de ecotopen voor de hele Westerschelde met mogelijke negatieve en positieve variatie

Gevoeligheids-klasse	Ecotoop	Totaal oppervlak in 2012 [ha]	Nauwkeurigheid op basis van het jaar 2012		Meest sturende parameter
			[ha]	[%]	
Meest gevoelig (spreiding > +/-20%)	Supralitoraal	190	-56; +186	-29,5; +97,9	Droogvalduur
	Laagdynamisch ondiep	464	-373; +44	-80,4; +9,5	Stroming en droogvalduur
	Laagdynamisch diep	339	-193; +5	-56,9; +1,5	Stroming
Gevoelig (spreiding +/- 10-20%)	Laagdynamisch laag litoraal	321	-28; +27	-8,7; +8,4	Droogvalduur
	Laagdynamisch hoog litoraal	546	-39; +16	-7,1; +2,9	Droogvalduur
	Hard substraat	312	-19; +29	-6,1; +9,3	Droogvalduur
Iets gevoelig (spreiding +/- 5-10%)	Laagdynamisch midden litoraal	3063	-98; +35	-3,2; +1,1	Droogvalduur en geomorfologie
Niet gevoelig (spreiding < +/- 5%)	Hoogdynamisch litoraal	3334	-70; +193	-2,1; +5,8	Droogvalduur
	Hoogdynamisch sublitoraal	19812	-203; +565	-1,0; +2,9	Droogvalduur en stroming
	Schor	3261	0	0	nvt
	Overig	79	0	0	nvt

Bronnen van onnauwkeurigheden

Waar komt de onnauwkeurigheid in de invoerparameters nu vandaan? Elke invoerparameter wordt op een verschillende manier bepaald. Sommige invoerparameters worden direct in het veld gemeten, zoals de bodemhoogte. Andere parameters, zoals droogvalduur en hydrodynamiek op basis van stroomsnelheid worden berekend met behulp van modellen. Tot slot zijn er parameters die worden afgeleid uit fotobeelden, zoals de dynamiek en het substraat van de intergetijdengebieden welke worden ontleend aan de geomorfologische kaart. Hoewel het zoutgehalte wel jaarlijks wordt gemeten, wordt voor de ecotopenkaart gewerkt met een vaste zoutverdeling. Naarmate er meer stappen, via een model of interpretatie, nodig zijn voor het bepalen van de parameter wordt de kans op onnauwkeurigheden groter. Dit zien we vooral bij de geomorfologische kaart en de stromingskaart.

De **geomorfologische kaart** wordt op basis van een luchtfoto volgens een strikt protocol vervaardigd maar, de moeilijk te karteren typen 'hoogenergetisch vlak' en 'laag-energetisch vlak' zijn een bron van mogelijke fouten (maximaal circa 136 ha). De consequenties hiervan zijn beperkt omdat slechts in enkele gevallen de nauwkeurigheid van de geomorfologische kaart sturend is voor de variatie binnen de ecotopenkaart. De nauwkeurigheid van de geomorfologische kaart kan, indien gewenst, verbeterd worden via meer gerichtere veldopnames ter controle van de luchtopnames.

Het **stromingsmodel** is niet specifiek ontwikkeld voor ecotopenkaart met zijn ondiepe (en droogvallende) gebieden. Hierdoor geeft het een onvoldoende nauwkeurig beeld van de hydrodynamiek in de ondiepe gebieden. De stroomsnelheden worden daar onderschat door een lage resolutie en omdat er geen rekening gehouden wordt met een in de tijd variërende, bodemvormafhankelijke, ruwheid. Een specifiek voor de ondiepe gebieden ontwikkeld model zou hier uitkomst bieden.

De grootste verschillen in de oppervlaktebepaling van litorale ecotopen worden veroorzaakt door de nauwkeurigheid van de **droogvalduur**. De droogvalduur wordt bepaald op basis van de waterstand en de bodemhoogte. De **bodemhoogte** heeft de grootste onnauwkeurigheid van deze twee. De doorwerking van de nauwkeurigheid van de bodemhoogte in de droogvalduur is met name groot in vlakke gebieden of gebieden met een kleine helling.

Voor laagdynamische litorale gebieden zal een nauwkeuriger bepaling van de bodemhoogte mogelijk een verbetering opleveren. Het werken met de LIDAR-data op het originele 2 x 2 m grid is hiervoor een aanknopingspunt. Met de huidige punt dichtheden en rekenkracht is dit haalbaar. Het is echter de vraag of het – gezien de 25 x 25 m resolutie van de dieptemetingen – mogelijk en wenselijk is om met verschillende rastergroottes in een bodemhoogtebestand te werken. Een andere optie is om in de dynamische litorale gebieden frequenter te meten zodat de variabiliteit binnen een jaar verdisconteerd kan worden en niet kan leiden tot een indeling in een andere droogvalduurklasse. Wanneer frequenter meten niet mogelijk is, is de aanbeveling om te onderzoeken of het werken met minder strikte droogvalduurklassen mogelijk is.

In de hoogdynamische litorale gebieden heeft een nauwkeuriger bepaling van de bodemhoogte geen toegevoegde waarde omdat in deze gebieden geen onderscheid gemaakt wordt in droogvalduurklassen.

Resultaten t.a.v. de precisie van het ecotopenkaartmodel

De ecotopenkaart wordt nu geautomatiseerd opgesteld aan de hand van een ArcGIS Modelbuilder model. Het meerdere malen runnen van het model met de zelfde invoer leverde in alle gevallen hetzelfde resultaat. Het model geeft dus een consequent resultaat en voldoet daarmee primair aan zijn doel.

Ondanks dat de precisie van het model goed is kan de werkwijze van het model om tot de ecotopenkaart te komen nog op een aantal punten aangescherpt en vereenvoudigd worden. Hierdoor wordt het model transparanter. Door het ArcGIS Modelbuilder model op te nemen in een transparante beheer- en onderhoudsstructuur, zoals het KPP BOO Waterkwaliteitsmodellen, wordt de ontwikkeling en verbetering van het Ecotopenmodel geborgd. Dit voorkomt dat er verschillende versies van hetzelfde ArcGIS Modelbuilder model in omloop komen en vergemakkelijkt het registreren en transparant corrigeren van mogelijke fouten. Ook kunnen verbeteringen stapsgewijs worden doorgevoerd aan de hand van ervaringen van gebruikers. Versiebeheer zal ervoor moeten zorgen dat aanpassingen traceerbaar zijn zodat duidelijk is of een nieuw opgestelde ecotopenkaart direct vergelijkbaar is met oudere kaarten.

Reflectie op de methode voor het vervaardigen van de ecotopenkaart

De huidige methode voor het vervaardigen van ecotopenkaarten balanceert tussen het werken met een constante invoer, om kaarten tussen de jaren vergelijkbaar te houden, en een jaarlijks veranderende invoer, om de realiteit van ontwikkelingen in het veld te volgen. Zo wordt er gewerkt met een vaste kaart voor het zoutgehalte en zijn de droogvalduur en stroomsnelheid gebaseerd zijn op een standaard getij. Het resultaat is een kaart die niet expliciet een beeld van het betreffende jaar geeft terwijl dit vaak wel de veronderstelling is van de gebruikers.

Wat betekent nauwkeurigheid nu voor de trendontwikkeling?

De ecotopenkaart is een zeer waardevolle methode om op consistente wijze de Westerschelde te evalueren en eventuele trends in de ecologische ontwikkeling waar te kunnen nemen. Het is belangrijk om te weten dat het afhankelijk is van het ecotoop hoe 'hard' een uitspraak over een bepaalde ontwikkeling is. Wanneer de nauwkeurigheid van een ecotoop een range heeft die groter is dan de verschillen tussen opeenvolgende jaren is het onduidelijk of de waargenomen verandering over de jaren ook daadwerkelijk is opgetreden.

Deze analyse op basis van de gegevens van 2012 geeft aan dat de nauwkeurigheid van de ecotopenkaart wordt bepaald door de invoerparameters en dat de stroomsnelheid en droogvalduur gevoelig zijn voor zowel fouten als voor de natuurlijke dynamiek in het systeem. Dit heeft vooral effect op de nauwkeurigheid van een aantal specifieke ecotopen zoals het supralitoraal, het laagdynamische sublitoraal maar ook het laagdynamische laag en hoog gelegen litoraal. Bij het analyseren van bijvoorbeeld trendontwikkelingen zal hier rekening mee gehouden moeten worden.

1 Inleiding

1.1 Achtergrondkader

Het Schelde-estuarium is een complex systeem dat nog altijd in volle verandering is. Om de uiteenlopende belangen voor economie, veiligheid en natuur te waarborgen, hebben Nederland en Vlaanderen samen een integrale aanpak uitgewerkt: de langetermijnvisie (LTV2030) (TSC 2001). Hieruit volgde de Ontwikkelingsschets 2010 (ProSes 2005) en werd beslist tot een gemeenschappelijk monitoringsprogramma MONEOS (Meire *et al.* 2008). De beleidsdoelstelling van LTV is het goed functioneren van het ecosysteem waarbij het systeem de vrijheid krijgt om te evolueren. Om met behulp van de meetgegevens uit het monitoringsprogramma invulling aan te kunnen geven aan deze beleidsdoelstelling zodat een adaptief beheer mogelijk is, is een Evaluatiemethodiek opgesteld (Holzhauer *et al.* 2011, Maris *et al.* 2014). Elke zes jaar wordt de toestand van het Schelde estuarium getoetst aan de hand van deze methodiek. In 2009 is de eerste toetsing uitgevoerd (VNSC 2013) en in 2016 is de tweede toetsing gepland. Een van informatiebronnen voor de Evaluatiemethodiek is de ecotopenkaart welke gemaakt wordt op basis van het Zoute wateren Ecotopenstelsel (ZES) (Bouma *et al.* 2005).

Gezien de politiek-bestuurlijke gevoeligheid van de vraagstukken voor de Westerschelde is het van belang dat de **precisie en nauwkeurigheid** van de ecotopenkaarten bekend zijn. Dit houdt in dat de ecotopenkaart met een bekende nauwkeurigheid opgesteld moet kunnen worden en binnen kleine foutmarges reproduceerbaar moet zijn.

1.2 Het Zoute wateren Ecotopenstelsel (ZES)

In dynamische gebieden met sterke fysische en chemische gradiënten, zoals estuaria, wordt de ecologische kwaliteit sterk bepaald door de verschillende fysische factoren. Een belangrijk instrument in het classificeren en het analyseren van veranderingen in dit fysische systeem is het Zoute wateren Ecotopenstelsel (ZES), dat bedoeld is generiek te zijn voor alle Nederlandse zoute wateren. Een *ecotoop* is een *type gebied* met specifieke fysische en biologische karakteristieken, anders dan een habitat. De combinatie van fysische kenmerken is sturend voor de plant- en diergemeenschappen die binnen een ecotoop te vinden zijn. Een *habitat* is een *plaats* waar een bepaald *organisme* voorkomt, doordat de abiotische factoren én biotische factoren van die plaats voldoen aan de eisen en toleranties die het organisme stelt om te kunnen overleven, groeien en/of zich voortplanten.

1.2.1 Indeling van het ZES

Het ZES kent een indeling in ecotopen op basis van zoutgehalte, substraat, diepte, droogvalduur en hydrodynamiek. De verschillende parameters worden ingedeeld in klassen.

Zoutgehalte: Zout, Brak, Variabel brak

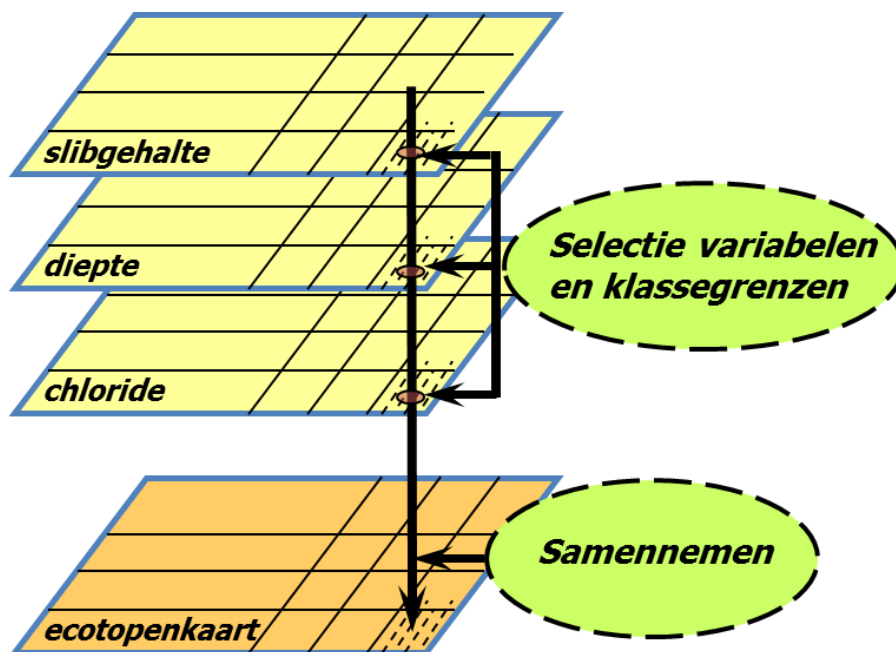
Substraat: Hard & zacht. Waarbij het harde substraat nog weer onderverdeeld wordt in klei, steen, hout en veen en het zachte substraat in slibrijk en fijnzandig.

Diepte: Sublitoraal, litoraal en supralitoraal. Waarbij in het sublitoraal nog een onderverdeling wordt gemaakt in diep en ondiep.

Droogvalduur: Laag, midden en hoog. Deze klassen worden enkel toegekend in het litoraal

Hydrodynamiek: Hoogdynamisch & laagdynamisch. In het supralitoraal wordt deze onderverdeling niet toegepast.

Van elk van deze abiotische parameters worden kaarten gemaakt met model- of monitoringgegevens. De ecotopenkaart komt tot stand door deze kaarten te combineren (Figuur 1.1). Dit gebeurt door kaartlagen te stapelen volgens een vast protocol en bepaalde hiërarchie, zie Dienstbeschrijving Zoute Ecotopenkarteringen (Kers *et al.* 2013).



Figuur 1.1: Globaal schema vervaardiging ecotopenkaart (Bouma *et al.* 2005)

1.2.2 Verschillende toepassingen van het ZES

Op basis van deze methode brengt Rijkswaterstaat de ontwikkeling van de Westerschelde maar ook andere intergetijdegebieden zoals de Oosterschelde en Waddenzee in kaart. Voor de Westerschelde worden de ecotopenkaarten gebruikt voor het beschrijven van de ontwikkeling van het intergetijdegebied ten behoeve van het beoordelen van het ecologisch functioneren van de Westerschelde, de verdragsverplichtingen uit de Ontwikkelingsschets Westerschelde 2010 maar ook bij de vergunningverlening voor het op diepte brengen en houden van de vaargeul naar de haven van Antwerpen en de daarbij gebruikte stortstrategie met onder meer plaatrandstortingen.

Naast een beschrijvende functie wordt het Ecotopenstelsel geacht voorspellend te zijn voor het inschatting van bijvoorbeeld kansen voor herstel van natuurwaarden in de Westerschelde en gevolgen van ingrepen. Tot slot wordt de ecotopenkaart ook gebruikt voor inplannen van de bemonstering van biota in de verschillende ecotopen.

1.3 Doel

Het doel van deze rapportage is om op een objectieve wijze inzicht te geven in de bronnen en ordegrrootte van toevallige en systematische fouten in de invoerparameters, die samen de nauwkeurigheid van de ecotopen bepalen. Hiervoor wordt zowel naar de nauwkeurigheid per inputparameter en de ecotopenkaart als eindresultaat gekeken, als naar het productieproces van de kaarten. Dit moet leiden tot aanbevelingen over hoe nauwkeurig de ecotopen zijn en hoe om te gaan met deze nauwkeurigheid in beheer en beleid.

1.4 Aanpak

Deze opdracht is uitgevoerd in het deelproject 'Precisie en betrouwbaarheid Ecotopenkaarten Westerschelde' in het kader van het 'KPP Schelde-estuarium', werkprogramma KPP-2014 en 2015. De opdracht bestaat uit twee onderdelen 1) het bepalen van de nauwkeurigheid van de ecotopenkaart en 2) het bepalen van de precisie van de ecotopenkaarten. Onder Nauwkeurigheid wordt de mate waarin een meetwaarde of modelresultaat overeenkomt met de werkelijke waarde verstaan. Nauwkeurigheid wordt o.a. bepaald door bias en precisie. Onder precisie wordt de mate waarin een meetwaarde of modelresultaat reproduceerbaar is verstaan. De stappen die voor deze twee onderdelen zijn genomen zijn beschreven in paragraaf 2.1 en 2.2. De ecotopenkaarten welke zijn gebruikt binnen deze opdracht zijn gemaakt aan de hand van de recentelijk door RWS gestandaardiseerde productiemethode (Kers *et al.* 2013) en bij behorend ArcGIS Modelbuilder model. Er is gewerkt met de gegevens van het jaar 2012.

1.5 Leeswijzer

De gebruikte statistische begrippen en de globale methodiek worden beschreven in Hoofdstuk 2. Hoofdstuk 3 beschrijft de nauwkeurigheid van alle gebruikte invoerparameters en de totstandkoming van de nieuwe varianten (plus- en min-variant) van de invoerkaarten. Het opstellen van de scenario's aan de hand van de combinaties van deze invoerkaarten die tot een schatting van de fouten in de ecotopenkaart leiden staan in Hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 bespreekt het productieproces van de ecotopenkaart. De resultaten van de scenario's staan in Hoofdstuk 6. Hoofdstuk 7 sluit deze studie af met conclusies en aanbevelingen over de gebruikte kaarten, het productieproces en de precisie en nauwkeurigheid van de ecotopenkaarten.

2 Methoden

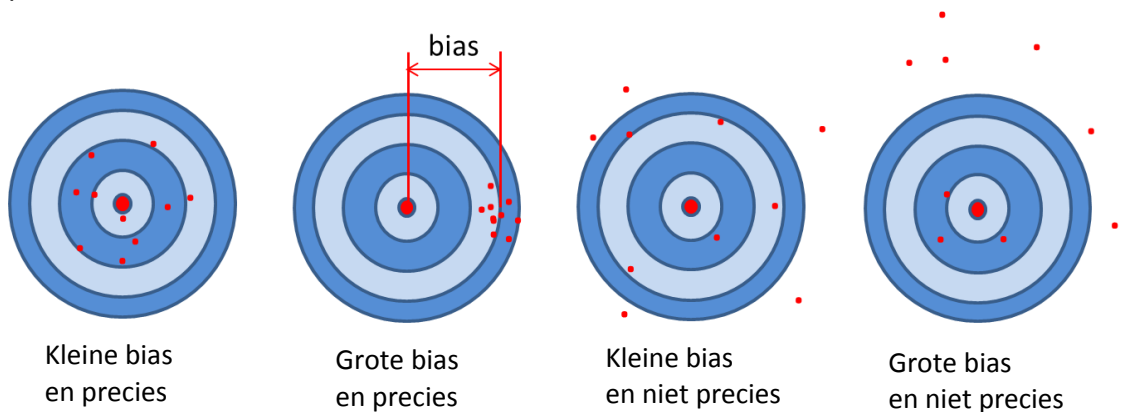
Wat er precies verstaan wordt onder precisie en betrouwbaarheid is niet voor iedereen altijd hetzelfde. Om eenduidig gebruik van begrippen te bevorderen en verwarring te voorkomen wordt voorgesteld om de begrippen aan te houden zoals deze in de studie "Objectiveren van onzekerheid van gebiedsmodellen voor waterkwaliteit en ecologie" zijn gebruikt. Deze studie is in het kader van het KPP B&O Waterkwaliteitsmodelschematisaties uitgevoerd en had als doel om een eerste versie van een handreiking tot objectivering van de onzekerheid van gebiedsmodellen voor Rijkswaterstaat op te stellen (Harezlak *et al.* 2014). De kennis verworven tijdens deze studie biedt een goed uitgangspunt voor de hier voorliggende vragen met betrekking tot de ecotopenkaarten. Zo is in de studie van Harezlak *et al.* (2014) uitgebreid stil gestaan bij de definitie van begrippen als betrouwbaarheid, onzekerheid ect. Niet alle begrippen zoals gedefinieerd binnen de studie van Harezlak *et al.* (2014) zijn voor deze studie relevant aangezien wij ons voornamelijk richten op precisie en nauwkeurigheid van de ecotopenkaarten van de Westerschelde. Het doel waarvoor de ecotopenkaart wordt gebruikt en de afweging of de ecotopenkaart het meest geschikte 'model' is om deze vraag te beantwoorden is niet relevant binnen deze studie.

Wanneer we kijken naar de precisie en nauwkeurigheid van de ecotopenkaarten van de Westerschelde maken wij gebruik van de onderstaande begrippen en definities.

Tabel 2.1: Gebruikte begrippen en definities naar Harezlak et al. (2014)

Betrouwbaarheid	Mate van de kans dat de gemetenwaarde representatief is voor de werkelijke waarde. Nauwkeurigheid en precisie zijn hierbij bepalende factoren.
Bias of systematische fout	Mate van vertekening waardoor alle metingen in een serie of hoger of lager zijn dan de werkelijke waarde. Dit kan ontstaan door bijvoorbeeld verkeerd ingestelde/gekalibreerde meetapparatuur, door de meetmethodiek of door de bemonsteringsstrategie. Een bias of systematische fout is bepalend voor nauwkeurigheid.
Geschiktheid	Mate waarin het model in staat is bepaalde oorzaak-gevolg en/of ingreep-effect relatie(s) te kwantificeren
Gevoeligheid	Mate waarin het resultaat verandert als een of meer invoergrootheden veranderen.
Nauwkeurigheid	Mate waarin een meetwaarde of modelresultaat overeenkomt met de werkelijke waarde. Nauwkeurigheid wordt o.a. bepaald door bias en precisie.
Onzekerheid	Mate waarin een resultaat in overeenstemming is met andere onafhankelijke informatie uit meetwaarde(n) of andere modellen
Precisie	Mate waarin een meetwaarde of modelresultaat reproduceerbaar is.
Toevallige fout	Toevallige fouten, waardoor sommige metingen in een serie hoger uitvallen dan de werkelijke waarde, en andere lager. Deze kunnen ontstaan door afleesfouten of door storingen zoals (elektronische) ruis, trillingen en temperatuurschommelingen. Toevallige fouten zijn van invloed op de precisie.
Vertrouwen	Mate van vertrouwen in een bepaald resultaat om een bepaalde vraag te beantwoorden

In de onderstaande figuur zijn de begrippen nauwkeurigheid en precisie geïllustreerd. De werkelijke waarde kan nooit bepaald worden omdat deze niet bekend is. Daarom wordt er in de praktijk gewerkt met de nauwkeurigheid en precisie waarmee modellen of metingen de ware waarde beschrijven. De eerste schietschijf geeft de resultaten van een model of meting weer met een goede nauwkeurigheid en precisie. De punten liggen immers allemaal op het bord en dicht bij elkaar bij de roos (werkelijke waarde). Wanneer de punten allemaal aan een zijde van de roos liggen spreken we van een bias of systematische fout. De resultaten zijn immers allemaal zeer precies, liggen dicht bij elkaar, maar onvoldoende nauwkeurig aangezien ze te ver van de roos liggen. Wanneer de punten rond de roos liggen zijn de resultaten wel nauwkeurig, er is immers geen sprake van een bias, maar de precisie ontbreekt aangezien ze te ver van elkaar en van de roos liggen. Wanneer de punten buiten het bord liggen en onevenwichtig verdeeld zijn is het resultaat niet nauwkeurig en niet precies.



Figuur 2.1: Illustratie van verschillende mate van precisie en nauwkeurigheid.

2.1 Nauwkeurigheid van de ecotopenkaart

Voor het bepalen van de nauwkeurigheid van de ecotopenkaart is eerst gekeken naar de nauwkeurigheid van de afzonderlijke invoerparameters waarna via scenario's een doorvertaling gemaakt is naar de nauwkeurigheid van de ecotopenkaart. Hiervoor zijn de volgende stappen doorlopen.

Stap 1: Van alle invoerparameters is kort beschreven hoe ze tot stand komen (hst 3). Hierbij is gebruik gemaakt van de Dienstbeschrijving van Kers *et al.* (2013). Deze beschrijft de technische verwerking en combinatie van de invoerkaarten. Maar er wordt niet altijd beschreven hoe de data ingewonnen zijn en/of wat de nauwkeurigheid van de invoerparameter is. De Dienstbeschrijving geeft bijvoorbeeld wel aan hoe modelgegevens zoals de kaarten van stroomsnelheden en zoutgehalte gegenereerd worden maar geeft daar geen nauwkeurigheid bij. Wanneer dit het geval was is zoveel mogelijk aanvullende informatie ingewonnen. Voor een beschrijving van de totstandkoming van de droogvalduurkaart en de geomorfologische kaart is gebruik gemaakt van rapportages van Schrijver *et al.* (2012) en de Jong (2013).

Stap 2: Vervolgens is voor elke invoerparameter de range van de mogelijke fout gekwantificeerd op basis van in de literatuur bekende meetfouten of – toleranties.

- Stap 3: Daarna zijn op basis van de in stap 2 gevonden range van mogelijke fouten zijn voor elke invoerparameter twee varianten opgesteld: een variant met een verhoogde waarde (plus-variant) en een verlaagde waarde (min-variant).
- Stap 4: Vervolgens zijn scenario's opgesteld. Omdat de invoerparameters niet op een puur rekenkundige manier met elkaar gecombineerd worden maar via classificaties en een set rekenregels, is het niet mogelijk om de fout in de ecotopenkaart te bepalen middels een sommatie van de individuele fouten. Een fout in de ene kaartlaag kan immers opgeheven worden door een fout in de andere kaartlaag, afhankelijk van hoe deze combineren. Om toch een uitspraak te kunnen doen over de mogelijke range van de fout in de ecotopenkaart is gekozen voor een aanpak gebaseerd op scenario's. De scenario's zijn samengesteld uit alle originele, verhoogde en verlaagde varianten van alle invoerparameters. Er is een selectie gemaakt uit alle mogelijke combinaties die de grootste kans hebben om voor te komen. Dit noemen we de scenario's.
- Stap 5: Elk scenario is ingevoerd in het ArcGIS Modelbuilder model waarna voor elk scenario het **tussenresultaat** voor de ecotopenkaart is berekend. Dit tussenresultaat is de combinatie van de parameters (zout, diepte, droogvalduur en hydrodynamiek in het subtidaal) op de parameters substraat en hydrodynamiek in het litoraal na (de Lange *et al.* 2013). De resultaten van dit tussenresultaat wordt apart besproken in paragraaf 6.1 van het resultaten hoofdstuk.
- Stap 6: Om te komen tot een ecotopenkaart moet aan het in stap 5 beschreven tussenresultaat nog de parameters voor het substraat en de hydrodynamiek in het litoraal (in de vorm van de geomorfologische kaart) toegevoegd worden. Aangezien de geomorfologische kaart geen rekenkundige kaart maar een vertaling van een foto is (de Jong 2013), kan hiervoor niet direct een verhoogde of verlaagde waarde bepaald worden zoals beschreven onder stap 3. Op basis van toelichting van de geomorfologische kaart en beschikbare veldgegevens is voor de geomorfologische typen waarvan de kans het grootst is dat een fout gemaakt wordt een aangepaste geomorfologische kaart opgesteld (par 3.5).
- Stap 7: De originele geomorfologische kaart en de aangepaste variant zijn toegevoegd aan de scenario's. Om te komen tot het **eindresultaat**, de uiteindelijke ecotopenkaart, zijn zowel de geomorfologische kaart als het tussenresultaat uit stap 5 ingevoerd in het ArcGIS Modelbuilder model en verwerkt tot een ecotopenkaart (de Lange *et al.* 2013).
- Stap 8: De resultaten van de scenario's worden geanalyseerd en de mogelijke foutenrange per ecotoop wordt weergegeven. Zo ontstaat een beeld welke fouten in welke parameters de meeste invloed hebben op de precisie en nauwkeurigheid van de ecotopenkaarten.
Bij het interpreteren van de resultaten is het belangrijk te bedenken dat de maximale range wordt geschetst en niet een gemiddelde fout. In werkelijkheid zal de fout kleiner zijn maar altijd binnen deze range vallen. Idealiter zouden we de gemiddelde fout ook berekenen. Hiervoor is het echter nodig om nog meer mogelijke combinaties van kaartlagen door te rekenen, wat gezien de

hoeveelheid kaartlagen en de beperkte mogelijkheid tot automatisering van het ArcGIS Modelbuilder model nu praktisch niet haalbaar is.

- Stap 9: Als laatste stap wordt een advies gegeven op welke punten de ecotopenkaart nog verbeterd zou kunnen worden en hoe er in beheer en beleid omgegaan kan worden met de nauwkeurigheid van de ecotopen.

2.2 Productieproces

De precisie van het model wordt voor een belangrijk deel bepaald door de reproduceerbaarheid. Hiervoor zijn vier stappen doorlopen:

- Stap 1: Met behulp van de originele set aan invoerparameters voor de ecotopenkaart van 2012 en het ArcGIS Modelbuilder model is de ecotopenkaart van 2012 opnieuw gemaakt en vergeleken met de door RWS uitgeleverde definitieve Ecotopenkaart 2012.
- Stap 2: De ecotopenkaart voor 2012 is vijf keer met het ArcGIS Modelbuilder model gemaakt en de resultaten zijn onderling met elkaar vergeleken
- Stap 3: De code van het model is nagelopen op mogelijke onderdelen die fouten in de hand kunnen werken.
- Stap 4: De resultaten hiervan zijn geanalyseerd en verwerkt tot een conclusie over de bruikbaarheid van het model en een advies voor de toepassing van het ArcGIS Modelbuilder model in de praktijk aangevuld met mogelijke verbeterpunten.

3 Nauwkeurigheid invoerparameters kaarten

3.1 Inleiding

Van alle onderliggende kaarten wordt in dit hoofdstuk beschreven hoe ze tot stand komen op basis van observaties of modelberekeningen. Hierbij wordt wel aandacht besteed aan de parameters bodemhoogte, droogvalduur, stroomsnelheid en geomorfologie maar niet aan het zoutgehalte. De reden om het zoutgehalte buiten beschouwing te laten is dat dit een door de jaren heen vaste grens is, en dus niet tot verschillen in ecotopenkaarten in opeenvolgende jaren zal leiden. Juist de verschillen tussen jaren zijn informatief voor het volgen van trends in de ontwikkeling van de Westerschelde, en daarmee voor het beleid.

Een andere parameter die quasi-constant is in de methodiek van de ecotopenkaart, is het effect van de 18,6-jarige maancyclus op waterstanden, en daarmee de droogvalduur. De 18,6-jarige cyclus veroorzaakt een verhoging en verlaging van de waterstand met een periode van 18,6 jaar. Door te werken met een 4-jarig gemiddelde van de droogvalduur wordt het effect deels verdisconteerd. Echter niet alleen de droogvalduur maar ook andere parameters zoals stroomsnelheid en zoutgehalte worden beïnvloed door deze cyclus. Om een zuivere trend te bepalen zou het effect van de 18,6 jarige cyclus gecorrigeerd moeten worden in alle parameters. Dit is echter een zeer lastige opgave voor parameters anders dan de waterstand en waarschijnlijk ook minder van belang.

3.2 Bodemhoogte

3.2.1 Inwinning veldgegevens en productie van de kaart

De bodemhoogtekaart voor de ecotopenkaart wordt geproduceerd op basis van jaarlijkse singlebeam vaklodingsdata met een raaiafstand van 100 m in het oosten van de Westerschelde en 200 m in het westen. De apparatuur is de afgelopen jaren niet gewijzigd en gelijk voor het gehele gebied. Sinds 2014 voert een externe partij een deel van de lodingen uit met andere apparatuur (zelfde methodiek maar andere fabrikant) conform dezelfde standaard. Daar waar gegevens ontbreken worden deze aangevuld met data uit havenbekkens en laseraltimetrie. Met behulp van DIGIPOL wordt een grid geproduceerd. Dit grid heeft een celgrootte van 20 x 20 m. De laseraltimetrie heeft een resolutie van 2 x 2 m, welke vergrid wordt naar 20 x 20 m. Het is mogelijk dat bij taluds of een sterke hoogtegradiënt een kunstmatige verhoging in de data optreedt doordat de waarde van een paar hoge laserpunten aan de randen aan een verder lege cel toegekend worden. Om dit te voorkomen wordt eerst een omhullende polygoon rond alleen goed gevulde cellen bepaald. Tot slot wordt op basis van expert kennis onbetrouwbaar geachte geïnterpoleerde lodingspunten, bijvoorbeeld langs randen en op platen, manueel verwijderd (Kers *et al.* 2013).

Wanneer de lodingsdata zonder kennis van zake wordt samengevoegd met de laserdata, welke een veel hogere dichtheid aan metingen heeft, kunnen projectiefouten als gevolg van resolutieverschillen ontstaan. Vooral op taluds kunnen de fouten hierdoor fors toenemen. Dit risico is echter bekend bij Rijkswaterstaat en er wordt hier bij het samenvoegen van de verschillende dieptebeelden rekening mee gehouden waardoor deze fouten zoveel mogelijk worden uitgesloten (Kers *et al.* 2013).

3.2.2 Mogelijke foutenbronnen

De Dienstbeschrijving (Kers *et al.* 2013) vermeldt niets over de nauwkeurigheid van de metingen of fouten door interpolatie of verrastering. Marijs *et al.* (2004) bespreken de nauwkeurigheid van vaklodingen in de Westerschelde, gericht op de nauwkeurigheid van volumebepalingen. In een gesprek met dhr. Ben Dierikx (RWS-CIV) is een beeld verkregen van de huidige en recente meetmethoden en hun foutenbronnen. De voornaamste fouten in de vaklodingen zijn:

- 1 Squat (het dieper liggen van het meetvaartuig door zijn eigen snelheid, leidend tot een hogere bodemligging dan in werkelijkheid);
- 2 Locatie- en tijdsafhankelijke correctie voor getijbeweging om gemeten waterdiepte om te rekenen naar NAP, via GPS;
- 3 Onjuiste bepaling van de geluidssnelheid onder water;
- 4 Onnauwkeurige kalibratie van het echolood (incl. time delay);
- 5 Verschillende 'akoestische hardheden' van verschillende bodems in combinatie met het type echolood; dit valt voor zandige bodems in combinatie met een singlebeam echolood zoals in de Westerschelde, onder de nauwkeurigheid van het echolood.

Daarnaast zijn er nog andere variabele systematische fouten als gevolg van menselijke fouten (instellingen) of technische mankementen. Deze zijn door hun diversiteit moeilijk te schatten, maar door zorgvuldige (controle)procedures zijn deze effecten waarschijnlijk zeer klein en niet van invloed op de ecotopenkartering.

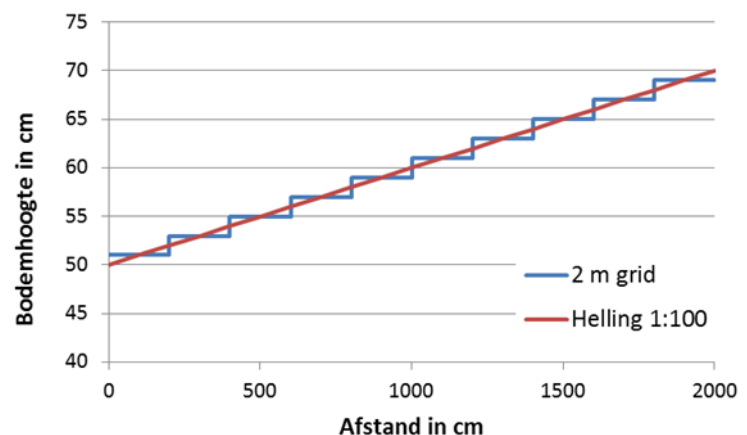
Door het gebruik van LRK (Long Range Kinematic) radio plaatsbepaling sinds 2001 zijn de eerste twee genoemde fouten niet langer systematische fouten, maar worden bepaald door de nauwkeurigheid en precisie van het positioneringssysteem. Het te ondiep peilen van geulhellingen als gevolg van de breedte van de echoloodbundel blijft een bron van systematische fouten. Bij de sinds 1993 gebruikte apparatuur met nauwe bundel geeft dit een gemiddeld 4 cm te ondiepe bodem. Voor elke meetserie wordt een zogenaamde 'barcheck' uitgevoerd voor kalibratie en instelling van de geluidssnelheid. Afwijkingen in gemeten dieptes door ruimtelijke verschillen in de geluidssnelheid als gevolg van dichtheidsverschillen zijn zeer beperkt omdat de dieptes gering zijn en de Westerschelde goed gemengd is. Marijs *et al.* (2004) geven als Z-fout voor de getijfase 10 cm, voor het echolood 3 cm, voor de barcheck 3 cm en een fout van 20 cm in de horizontale positie die op hellingen doorwerkt in een verticale fout van 2 cm. De totale (gemiddelde) Z-fout in de lodingen bedraagt volgens hen 11 cm (is de wortel uit de som van de gekwadrateerde individuele fouten). Marijs *et al.* (2004) maken nog onderscheid tussen de geul, helling en ondiep voor de grootte van de individuele fout, maar voor de totale Z-fout heeft dit geen gevolgen omdat de getijfout verreweg het meest bepalend is.

In recentere jaren en in de toekomst, waarin metingen uitgevoerd worden door externe partijen, dienen de metingen te voldoen aan de eisen van het AHN, NL Norm B. Voor een waterdiepte van 10 meter bedraagt de totale verticale onzekerheid (TVU) op 95% betrouwbaarheidsniveau 16,8 cm, voor 5 meter is dit 15,5 cm. Het bedrijf dat de metingen in 2014 uitvoerde (Deep B.V.) geeft aan een TVU van 11,8 cm te halen in 10 meter waterdiepte. Voor de door Rijkswaterstaat uitgevoerde metingen bedraagt de TVU bij 5 meter diepte 9,6 cm volgens AMUST (A-priori Multibeam Uncertainty Simulation Tool). Een onjuist ingestelde time delay is af en toe nog terug te zien in lodingen/verschilkaarten en dan vooral op de hellingen (pers. med E. Parée). Op basis hiervan is de vaak genoemde nauwkeurigheid van ± 10 cm realistisch en wordt daarom toegepast in deze studie,

Voor de laseraltimetrie gelden soortgelijke foutenbronnen: de positiebepaling van het vliegtuig, kalibratie van de apparatuur en de nauwkeurigheid van de apparatuur, welke mede afhankelijk is van de ondergrond. De totale maximale Z-fout werd geschat op ± 10 cm (Bolleweg *et al.* 1997), afhankelijk van de gebruikte apparatuur, vlieghoogte en vliegsnelheid is dit minder. Begroeiing zorgt voor een hoger dan werkelijke bodem. De recentere AHN-norm is strenger: de offset mag niet meer dan 5 cm bedragen en de standaardafwijking ook niet. Volgens inwoner Fugro is de theoretische systematische fout in enkele LiDAR opnamen 3,8 cm en de stochastische fout 2,7 cm. Bij het gebruik van dergelijke data in de Waddenzee blijkt echter dat vliegbanen nog zichtbaar zijn als de kleurenschaal verschillen van minder dan 12,5 cm laat zien (Arentz *et al.* 2014). Reflectie door een laagje water op droogvallende platen heeft geen invloed op de nauwkeurigheid, wel op het aantal bruikbare meetpunten per vierkante meter, wat in theorie de precisie kan verminderen. Aangezien de verrastering over veel grotere afstanden dan de inwinning plaatsvindt en het aantal punten per rastercel dus groot is, zal dit geen fout in de ecotopenkaart introduceren. Begroeiing heeft een negatief effect op de nauwkeurigheid van het altimetriesysteem, maar in deze studie is deze mogelijk grotere fout niet van belang. Dichte vegetatie komt alleen op hoger gelegen gebieden (schorren; >85% droogvalduur) voor, die toch al als zodanig geïdentificeerd worden zonder verdere hoogte aanduiding.

Ook de verrastering met bijbehorende interpolatie is een bron van voornamelijk toevallige fouten door het afvlakken van reliëf. De omzetting van het 2 x 2 m grid naar het 20 x 20 m grid geschiedt op basis van een 'blockmin' criterium, wat wil zeggen dat de laagst gevonden waarde wordt toegekend (Kers *et al.* 2013). Dit kan leiden tot een systematisch lagere bodem. De aanwezigheid van vegetatie, die niet uit de laseraltimetrie gefilterd wordt, leidt juist tot een systematisch hogere bodem. De grootte van deze fouten is afhankelijk van reliëf, bodemhelling, begroeiing en puntendichtheid en is niet eenvoudig te bepalen.

Ter indicatie: bij een bodem met een hoogte van 50 cm en een bodemhelling van 1:100 bestaat over een gridcel van 20 m een verticaal verschil van 20 cm. De gemiddelde hoogte van deze gridcel is $(50 + 70)/2 = 60$ cm. Wanneer gewerkt wordt met het 'blockmin'-criterium wordt aan het midden van de cel de laagst gevonden waarde toegekend. In het 2 m grid is dat in dit geval 51 cm. Dit leidt tot een onderschatting van de gemiddelde bodemhoogte in de 20 m brede gridcel van 9 cm.



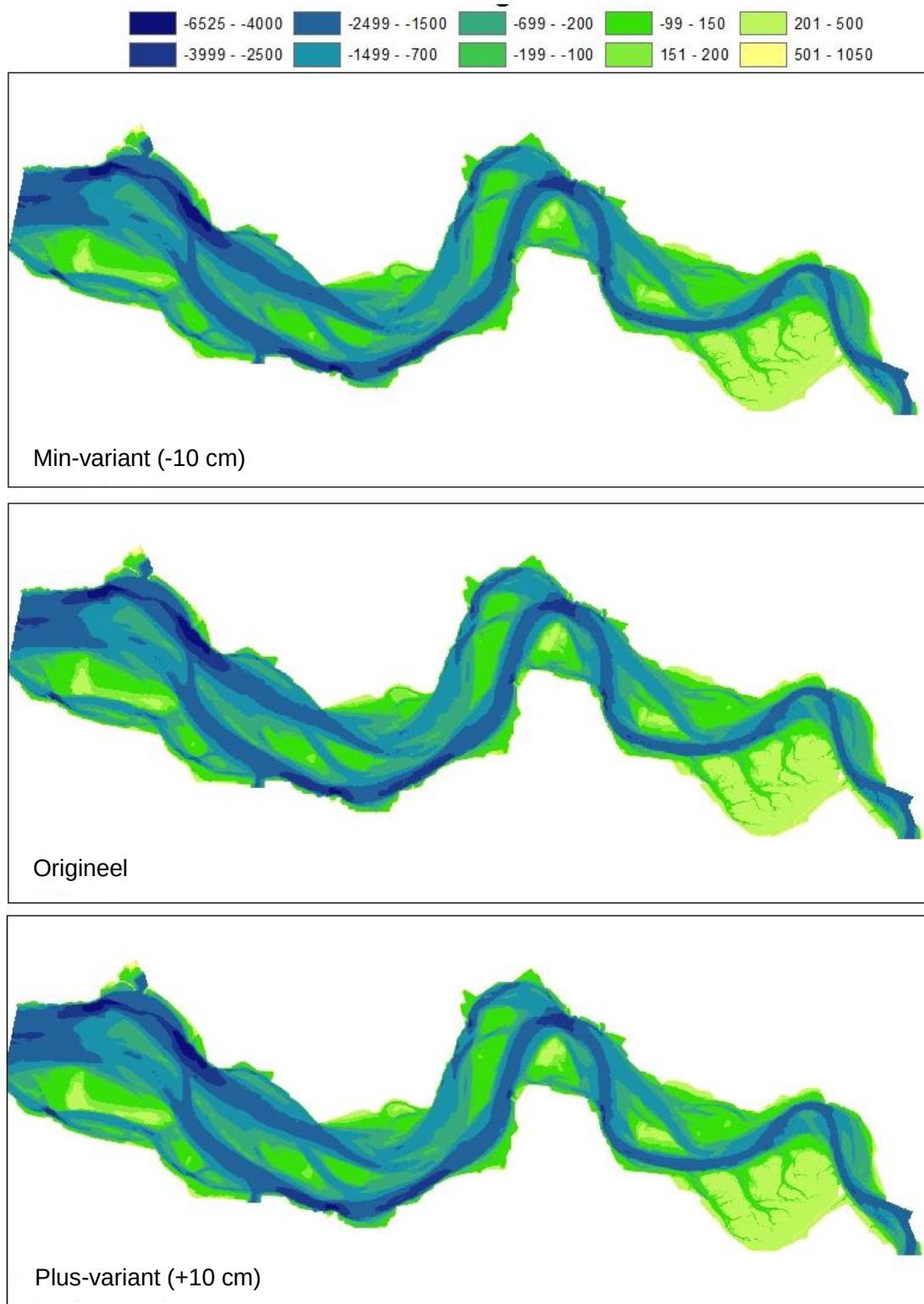
Figuur 3.1: Schematische weergave van het effect van aggregatie van een 2 m gridcel naar een 20 m gridcel voor een bodem met een helling van 1:100

Het rekenkundig gemiddelde van de fout in de aggregatie in de gridcellen van 2 naar 20 m en de door Fugro opgegeven maximale fout in de laseraltimetrie is:

$$\partial_f^2 = \partial_x^2 + \partial_y^2$$

Waarbij $\partial_x = 9$ cm nauwkeurigheid tgv de aggregatie en $\partial_y = 3,8$ cm nauwkeurigheid in de laser altimetrie. Dit resulteert in een gemiddelde nauwkeurigheid van $\partial_f = 9,8$ cm. Dit is net iets

minder dan de 10 cm nauwkeurigheid voor de vaklodingen. Voor deze studie is uitgegaan van een nauwkeurigheid de laserdata van ± 10 cm, gelijk aan de vaklodingen. Dit resulteert in de onderstaande min- en plus -variant voor de bodemhoogte.

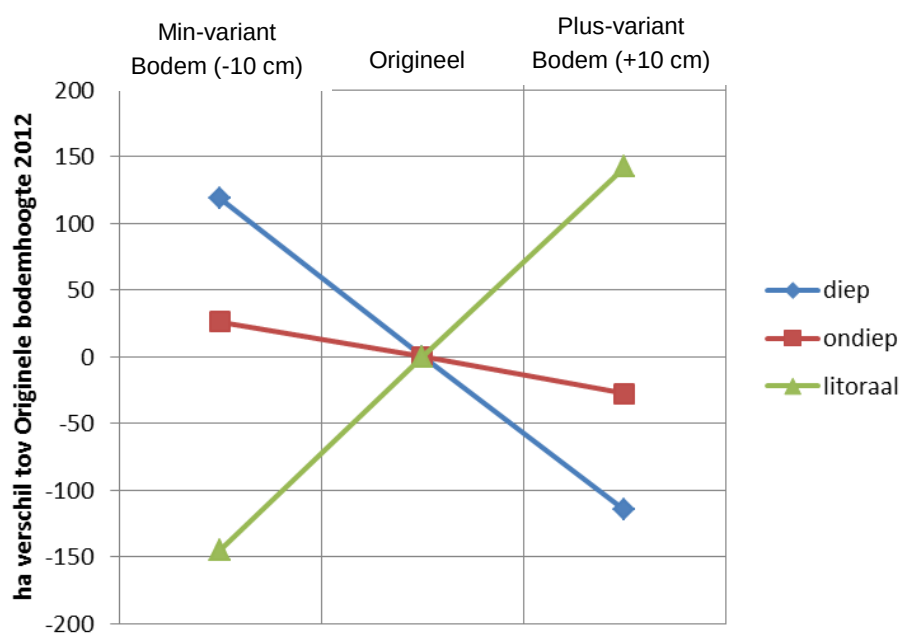


Figuur 3.2: Weergave min-variant (-10cm), plus-variant (+10cm) en originele bodemhoogte van 2012

De nauwkeurigheid van de bodem heeft in de ecotopenkaart effect in het areaal ondiep en diep. Natuurlijk werkt een nauwkeurigheid van de bodem ook door in de droogvalduurkaart. Echter omdat het model voor het bepalen van de droogvalduur niet beschikbaar was is de nauwkeurigheid in de droogvalduur op een andere wijze bepaald (zie paragraaf 3.3). Wanneer er een gemiddelde nauwkeurigheid van 10 cm wordt aangehouden resulteert dit in een variatie in oppervlaktes van plus of min 25 ha in de oppervlakte ondiep water tot plus of min 145 ha in de oppervlakte litoraal (Figuur 3.3). Hierbij is voor de grens tussen het litoraal en sublitoraal -200 cm NAP aangehouden.

Tabel 3.1: Oppervlaktes per min-variant (-10cm) en plu-variant (+10cm) weergegeven per diepte klasse

Klasse	Origineel [ha]	Min-variant [ha]	Verschil		Plus-variant [ha]	Verschil	
			[ha]	%		[ha]	%
Diep	15292	15411	119	0,8	15177	-115	-0,8
Ondiep	5471	5497	26	0,5	5443	-28	-0,5
Litoraal	11604	11459	-145	-1,2	11746	142	1,2
Totaal	32366	32366	0		32366	0	



Figuur 3.3: Ha. verschil per klasse (diep, ondiep en litoraal) voor min-variant (-10cm) en plus-variant (+10cm) t.o.v. de originele 2012 bodemhoogte.

3.3 Droogvalduur

De droogvalduur wordt bepaald door de hoogteligging en het getij. Op basis van de droogvalduur wordt er onderscheid gemaakt tussen het permanent natte gebied (sublitoraal), het tijdelijk natte/droge gebied (litoraal) en het voornamelijk droge gebied (supralitoraal). Binnen het litoraal heeft de droogvalduur een directe invloed op het voorkomen en op de groei van bodemdieren in het zachte substraat. De hoogtdynamische litorale delen zijn arm aan bodemleven. Voor deze gebieden wordt dan ook geen aanvullende onderverdeling binnen het litoraal gemaakt (Bouma *et al.* 2005).

De droogvalduurduur binnen het laagdynamische litoraal is onderverdeeld in drie subklassen. Eén van de redenen hiervoor is dat de dichtheid en de biomassa aan bodemdieren in het midden-litoraal vaak hoger is dan in het lage en in het hoge litoraal (Beukema 1976, Wolff *et al.* 1977, Bouma *et al.* 2005).

Tabel 3.2: Hoogte klassen binnen het litoraal met droogvalduur percentage

Klasse	Percentage van het getij	Subklasse	Percentage van het getij
Sublitoraal	≤ 4		
Litoraal	$4 < \% \leq 85$	Laag litoraal	$4 < \% \leq 25$
		Midden litoraal	$25 < \% \leq 75$
		Hoog litoraal	$75 < \% \leq 85$
Supralitoraal	$85 < \% \leq 100$		

3.3.1 Inwinning veldgegevens en productie van de kaart

De basis van de berekeningsmethodiek voor de droogvalduurkaart is de M2-component van het getij. De amplitude-, fase- en middenstandcomponent worden berekend op een 1000 x 1000 m grid, en uitgevoerd naar een 20 x 20 m grid. Het uitgangspunt van de methodiek is dat de verhouding van de M2-amplitude tussen twee punten representatief is voor de verhouding van de amplitude van het getij in deze twee punten. Indien de getijamplitude slechts voor enkele punten in een grid bekend is, kan op basis hiervan de getijamplitude voor de overige punten worden berekend (Schrijver *et al.* 2012).

Voor de bepaling van de droogvalduur wordt gestart met het bepalen van de overschrijdingsfrequentie in de referentiestations. Daarna wordt tussen de referentiestations het droogvalpercentage voor elke cel op het bodemgrid bepaald aan de hand van de verhouding ten opzichte van de M2-amplitude. De referentiestations waar mee gerekend wordt zijn: Cadzand, Vlissingen, Borssele, Terneuzen, Hansweert, Baalhoek, Bath, Liefkenshoek, Kallo en Antwerpen.

3.3.2 Mogelijke foutenbronnen

De factoren die van invloed zijn op de nauwkeurigheid van de droogvalduur zijn de bodemligging en de waterstand. De nauwkeurigheid van de bodemhoogte is beschreven in paragraaf 3.2. De waterstandsmetpunten in de Westerschelde worden gemeten via de MSW (MSW: Monitoring Systeem Water). Het MSW gaat uit van een standaardafwijking van het verschil tussen gemeten waarde en opgetreden waarde van maximaal 2,5 cm. De verwachting van het MSW is dat de nauwkeurigheid in de waterstandsmeting varieert tussen iets minder dan 1 cm (sommige meetpunten in de Rijn-Maasmonding) tot rond of iets boven de 2,5 cm (enkele meetpunten rond de Waddenzee) (Behrens 2008). Door Helpdeskwater is aangegeven, dat bij de optimalisatie van het landelijk waterstandsmetnet als uitgangspunt is aangenomen dat de standaardafwijking van het verschil van de gemeten waterstand en de werkelijke waterstand (ten enenmale onbekend) 2,5 cm bedraagt (antwoord per email op 17-5-2014). Dit was echter op basis van berekeningen op data van nog onvoldoende gestandaardiseerde meetpunten - met o.a. veel meer afwijkingen in de tijd dan tegenwoordig, die bovendien nog met digitizers in plaats van volautomatisch waren verwerkt. Afgaand op de verschillen tussen gemeten en geïnterpoleerde waarden bij een standaardtechniek die wordt gebruikt om fouten op te sporen en hiaten op te vullen lijkt een waarde in de orde van 1,5 cm aannemelijk. Daarom wordt voor deze studie gewerkt met een nauwkeurigheid in de waterstand van 1,5 cm.

De totale nauwkeurigheid voor de droogvalduur bepaald door de onafhankelijke grootheden bodemhoogte en waterstand wordt hier uitgedrukt als de kwadratische som van de toevallige fouten in de bodemhoogte en de waterstand. De fouten worden hierbij niet direct opgeteld omdat deze onafhankelijke fouten zowel positief als negatief kunnen zijn en elkaar zowel kunnen versterken als compenseren. De onderstaande formule is gebruikt:

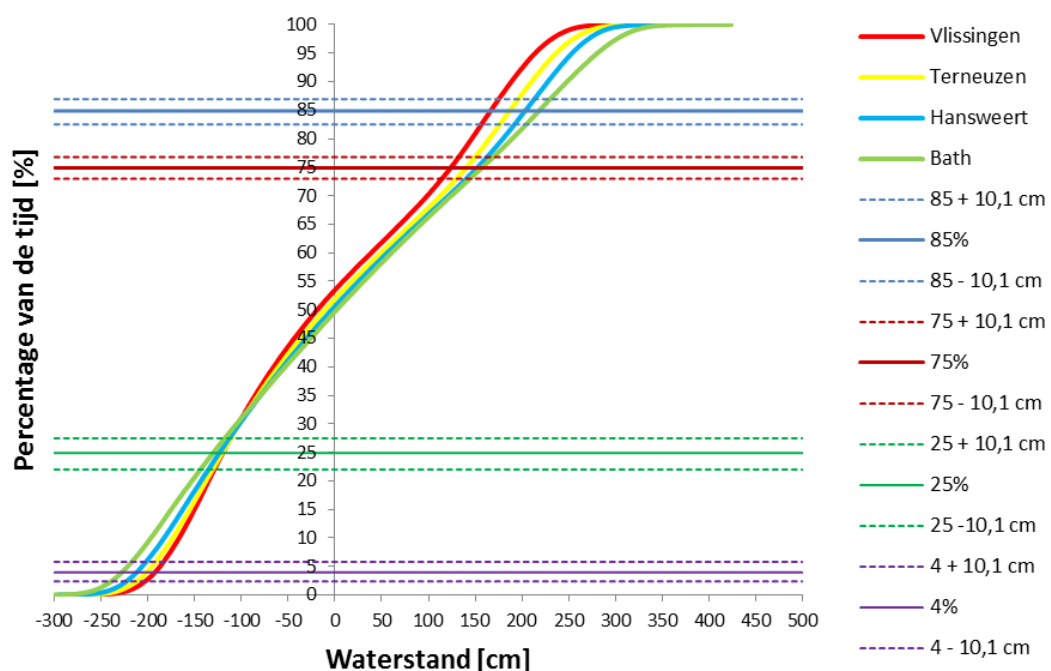
$$\partial_f^2 = \partial_x^2 + \partial_y^2$$

Waarbij $\partial_x = 10$ cm nauwkeurigheid in de bodemhoogte en $\partial_y = 1,5$ cm nauwkeurigheid in de waterstand. Dit resulteert in een gemiddelde nauwkeurigheid in de droogvalduur van $\partial_f = 10,1$ cm

3.3.3 Evaluatie nauwkeurigheid

Aangezien het model voor het bepalen van de droogvalduur niet beschikbaar was is het effect van de nauwkeurigheid in de droogvalduur bepaald aan de hand van de frequentieverdeling van de opgetreden waterstanden in een heel jaar. Dit komt overeen met de frequentieverdeling van het gemiddelde getij voor dat jaar. Het gemiddelde getij is daarmee een afgeleide voor de gemiddelde omstandigheid waarin een ecotoop verkeert. Voor sommige biota zijn extreme waarden bepalender dan gemiddelde waarden, maar in hoeverre deze doorvertaling van fysica naar ecologie representatief is, is geen onderdeel van deze studie.

De nauwkeurigheid in de bodemkaart en in de waterstand kan worden doorvertaald naar een nauwkeurigheid in de droogvalduur (Figuur 3.4) door de klasse grenzen aan te passen i.p.v. een nieuwe droogvalduurkaart te berekenen. Dit resulteert in de onderstaande waarden (Tabel 3.3).

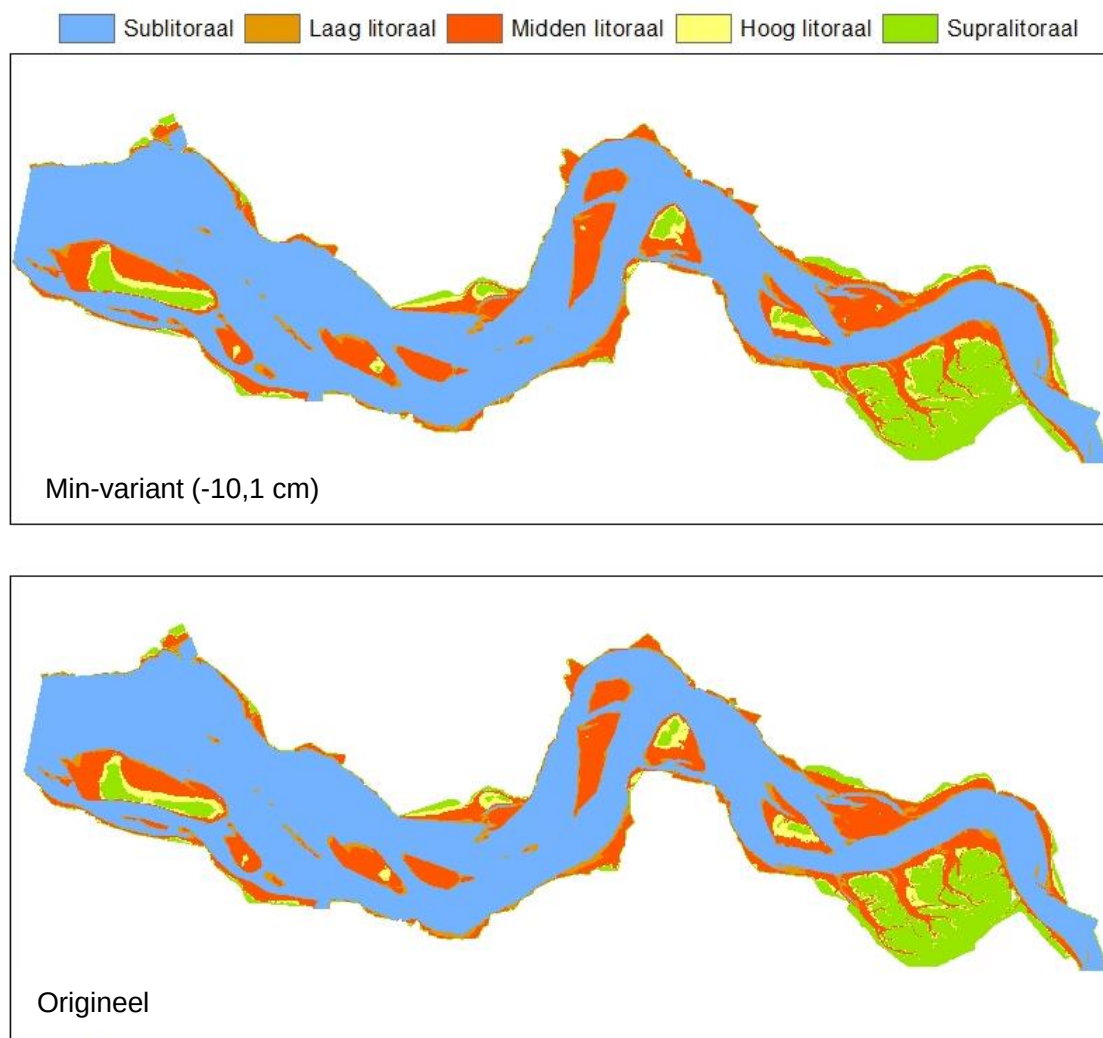


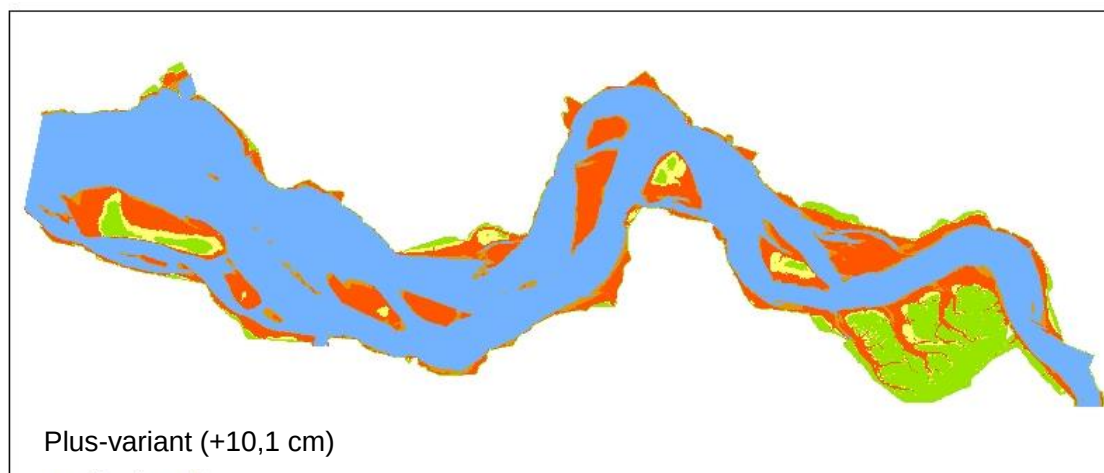
Figuur 3.4: Verschuiving van de grenswaarden voor de droogvalduur als gevolg nauwkeurigheid in bodemhoogte en waterstand.

Tabel 3.3: Doorwerking van de nauwkeurigheid naar de grenswaarden van de droogvalduur voor de min-variant, plus-variant en de originele droogvalduur.

Dvd variant	Grenswaarden droogvalduur percentages [%]				
	Sub-litoraal	Laag litoraal	Midden litoraal	Hoog litoraal	Supra-litoraal
Min-variant	2,4	22,0	73,0	82,5	100
Origineel	4,0	25,0	75,0	85,0	100
Plus-variant	5,8	27,5	76,8	86,9	100

De nauwkeurigheid van de droogvalduur heeft een effect op de oppervlaktes sublitoraal, laag, midden, hoog litoraal en het supralitoraal (zie Figuur 3.5).



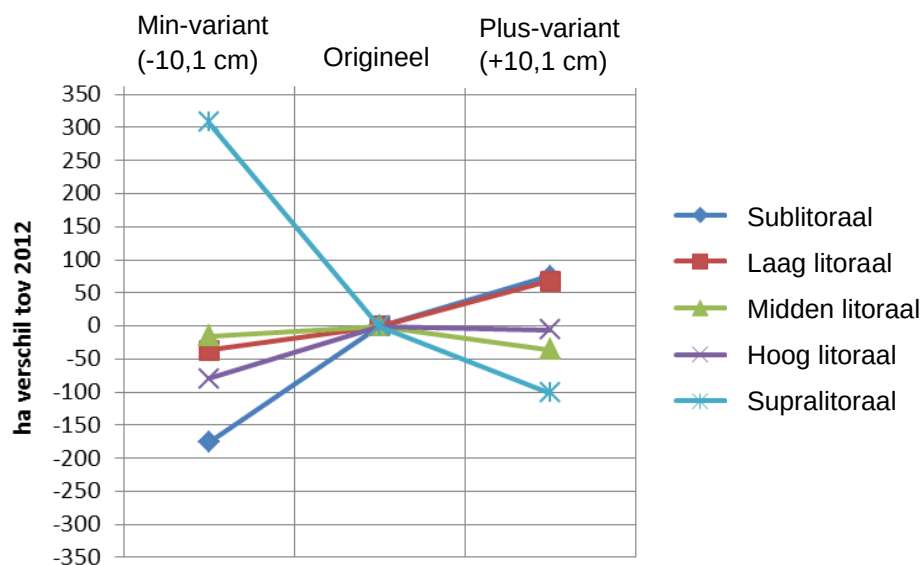


Figuur 3.5: Weergave min-variant droogvalduur (-10,1cm), de originele droogvalduur van 2012 en de plus-variant droogvalduur (+10,1cm)

Dit resulteert in een variatie die verschillend is voor de plus- en min-variant (zie Tabel 3.4 en Figuur 3.6).

Tabel 3.4: Oppervlaktes per droogvalduurklasse voor de originele droogvalduur in 2012, de min-variant en de plus-variant

Droogvalduur klasse	Origineel	Min-variant [ha]	verschil		Plus-variant [ha]	verschil	
			[ha]	%		[ha]	%
Sublitoraal	20687	20511	-176	-0,9	20763	76	0,4
Laag litoraal	1439	1402	-37	-2,6	1507	68	4,7
Midden litoraal	5697	5682	-15	-0,3	5661	-36	-0,6
Hoog litoraal	1019	939	-80	-7,9	1013	-6	-0,6
Supralitoraal	3524	3833	309	8,8	3423	-101	-2,9
Totaal	32366	32366	0		32366	0	



Figuur 3.6: Ha. verschil per droogvalduurklasse (sub-, laag-, midden-, hoog- en supralitoraal) voor de min-variant (-10,1 cm) en de plus-variant (+10,1 cm) t.o.v. de originele droogvalduur van 2012.

3.4 Stroomsnelheid

De stroomsnelheden worden als maat voor de dynamiek gebruikt. Op basis van modelgegevens worden gebieden met een gemodelleerde maximale stroomsnelheid tijdens eb of vloed van meer dan $0,7 \text{ m/s}^1$ als hoogdynamisch geclassificeerd. Gebieden met lagere maximumsnelheden tijdens eb of vloed worden als laagdynamisch geclassificeerd.

Het ZES.1 gaat uit van een grenswaarde van $0,8 \text{ m/s}$, deze waarde is bepaald aan de hand van laboratorium proeven beschreven in de literatuur (Bouma *et al.* 2005). De hier beschreven grenswaarde van $0,7 \text{ m/s}$ is door RWS bepaald voor het verkrijgen van een zo goedmogelijke overeenkomst tussen het gemodelleerde stromingsbeeld en in het veld geobserveerde gebieden (pers med. D. de Jong).

Stroomsnelheid wordt alleen als maat voor dynamiek gebruikt in het sublitoraal. Omdat gebleken is dat het model onnauwkeurig is in de periodiek droogvallende gebieden, wordt voor de litorale gebieden de dynamiek handmatig bepaald op basis een interpretatie van de geomorfologie aan de hand van luchtfoto's. Zie Sectie 3.5 voor de beschrijving van de geomorfologische kaart.

3.4.1 Inwinning veldgegevens en productie van de stroomsnelheidskaart

De stroomsnelheden in het sublitoraal die gebruikt worden voor het maken van de ecotopenkaarten zijn berekend met het SCAL2000 model, op een grid van gemiddeld 150 bij 60 meter. SCAL2000 is een tweedimensionaal curvilineair Simona model, gekalibreerd op metingen uit 2000. De Dienstbeschrijving zelf is niet expliciet over de resolutie van het rekengrid, de rekentijd gebruikt voor het inspelen van het model en de gebruikte bodemruwheidschematisatie. De gebruikte afvoer van de Zeeschelde wordt evenmin genoemd. Er wordt wel verwezen naar het rapport van Dam *et al.* (2002b) waarin de bouw van het model beschreven wordt. De input van het model bestaat uit een bodemhoogtebestand en bodemruwheidsbestand (rasters) die jaarlijks veranderen. De bodemruwheid verschilt ruimtelijk om voor de ecotopenkaarten tot een realistische snelheidsverdeling te komen (Dam *et al.* 2002b). In het sublitoraal (beneden -2 m NAP) is de Manning-waarde $0,020$. In gebieden boven de $+3 \text{ m}$ NAP wordt een Manning-waarde van $0,045$ aangehouden, hiertussen wordt lineair geïnterpoleerd (Kers *et al.* 2013).

Het bodemhoogtebestand wordt jaarlijks opnieuw gemaakt (zie Sectie 3.2), met uitzondering van enkele havengebieden en de Zeeschelde. Deze kleine gebieden hebben nauwelijks tot geen effect op de stroomsnelheden in de Westerschelde. Als randvoorwaarden worden het getij (waterstand) in de monding en de afvoer van de Zeeschelde gebruikt. De bepaling van de maximumstroomsnelheid gebeurt over de vloed- en eb-periode rondom het hoogwater van 4 juli 2000 15h55 te Vlissingen (verder genoemd: 'het referentiegetij'), op basis van stromingsvelden om het half uur die omgezet zijn naar minuutreeksen middels cubic spline interpolatie. Deze maximumsnelheden worden gereduceerd naar het slotgemiddeld springtij van Vlissingen in 2011.² Het maximum van de waarden tijdens eb en vloed wordt gebruikt voor de verrastering naar de maximale stroomsnelheid kaart t.b.v. de ecotopenkaart (Kers *et al.* 2013).

¹ De Dienstbeschrijving en het uitgeleverde model vermelden abusievelijk $0,8 \text{ m/s}$. Persoonlijk commentaar van Dick de Jong (email 25-9-2013) en een vergelijking met de definitieve ecotopenkaart laten zien dat $0,7 \text{ m/s}$ in het model de gebruikte en representatief geachte grenswaarde is.

² In deze studie is gerekend met het slottij 1991.0 (447 cm getijverschil bij gemiddeld springtij) omdat dat in de eerst aangeleverde versie van de Dienstbeschrijving stond. In een later aangeleverde versie is dit vervangen door 2011.0 (445 cm). Het verschil is dusdanig klein dat geen nieuwe berekening is uitgevoerd.

3.4.2 Mogelijke foutenbronnen

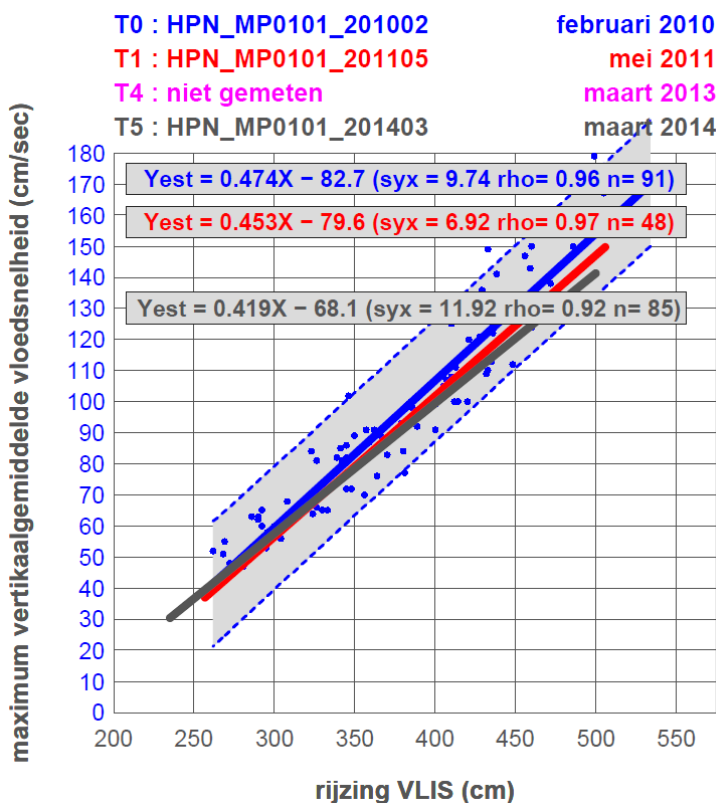
Fouten kunnen optreden in de schematisatie van de bodem, de parameterisatie van de hydraulische ruwheid, de randvoorwaarden, door numerieke diffusie en door resolutie van het gebruikte grid. Op basis van kalibratie/validatie, dus impliciet rekening houdend met al deze bronnen wordt gesteld dat het stromingsmodel in diepe gebieden tot 10 cm/s nauwkeurig is. Ondanks de aanpassing van ruwheidswaarden, blijkt dat het model de stroomsnelheden op ondiepe en droogvallende delen (platen en slikken) en langs randen, over het algemeen onderschat (Dekker 2010). Het gebruik van luchtfoto's voor een directe inschatting van de geomorfologie en dynamiek in de periodiek droogvallende delen omzeilt dit probleem, maar introduceert tegelijk andere bronnen van fouten (zie sectie 3.5). Het is dus goed te bedenken dat voor deze parameter de fouten in het litoraal en het sublitoraal een verschillende bron hebben.

Ook de classificatiegrens van 0,7 m/s kan fouten introduceren. Deze studie gaat niet in op de afweging voor deze grenswaarde maar verwijst naar eerdere studies, zoals van Wesenbeeck *et al.* (2010) en Reinders *et al.* (2014), voor een discussie van deze grenswaarde. Voor de grenswaarde wordt er vanuit gegaan dat boven een bepaalde hydrodynamische belasting de bodem te beweeglijk is voor het handhaven van bodemleven. In de beginjaren van het zoute Ecotopenstelsel werd een op laboratoriumproeven gebaseerde grens voor begin van beweging van sediment van 0,8 m/s gehanteerd. Latere studies hebben geleid tot een aanpassing van de grenswaarde naar 0,7 m/s. Omdat de vergelijking tussen gemodelleerde stroomsnelheden en het daadwerkelijk voorkomen van bodemdieren liet zien dat een grens van 0,65-0,75 m/s, afhankelijk van de positie in de Westerschelde, een betere verklaring van het voorkomen van bodemleven geeft dan 0,8 m/s. De studie van Reinders *et al.* (2014) geeft ook aan dat, naast stroomsnelheden, golven ook van belang zijn voor het voorkomen van bodemleven. Echter, het gebruik van een gemodelleerde bodemschuifspanning op basis van zowel stroomsnelheid als golven (op basis van een FINEL stromingsmodel gecombineerd met een SWAN golfmodel) gaf geen betere verklaring voor de distributie van bodemdieren. Observaties in het veld (Beezemer 2013) duiden er op dat golven een rol spelen in het laag gelegen litoraal, maar waarschijnlijk wel via een net ander mechanisme dan de stroomsnelheid. De invloed van de golven lijkt ervoor te zorgen dat de bodem vaak losser gepakt is en er komen minder bodemdieren voor dan in hoger gelegen aangrenzende gebieden (pers med Dick de Jong).

3.4.3 Evaluatie nauwkeurigheid

Om de nauwkeurigheid van de gemodelleerde stroomsnelheden te schatten, wordt gebruik gemaakt van de MONEOS (Monitoring Effecten Ontwikkelingsschets OS2010) metingen van de stroomsnelheid op diverse locaties in de Westerschelde. Deze uitgebreide en nauwkeurige stroomsnelheidsmetingen, welke voor het eerst zijn uitgevoerd in ondiepe en droogvallende gebieden, geven zeer waardevolle en unieke informatie. De hier gebruikte metingen hebben plaatsgevonden in de periode 2009 tot 2013 (het monitoringsprogramma loopt nog door), en omvatten steeds twee springtijden. Op sommige locaties zijn meerdere raaien gemeten, op andere locaties een enkele raai. Over het algemeen is op de plaat gemeten met Nortek AquaDopp Profilers (2Mhz) en in het sublitoraal op een diepte van -5 tot -7 meter t.o.v. LAT met een RDI ADCP gemonteerd op een frame. Vaak is hetzelfde meetpunt meerdere malen gemeten, de X,Y,Z coördinaten van deze metingen verschillen wel keer op keer (in enkele gevallen tot honderden meters in het horizontale vlak en meters in het verticale vlak) doordat de bodemdiepte is veranderd door stortingen van gebaggerd sediment uit de vaargeul.

In de voorliggende studie worden vanwege het tijdsbestek alleen de punten gebruikt die meerdere keren gemeten zijn en (vrijwel) voortdurend onder water staan. Hier is immers geen informatie van luchtfoto's. De data van de Plaat van Ossensisse worden niet gebruikt vanwege een afwijkende opzet en formaat. Van de gebruikte metingen (zie data Rijkswaterstaat (2014); Figuur 3.7) is de opgetreden maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (V_{max_max}) en de bijbehorende stroomsnelheid afgelezen. Dit is de stroomsnelheid die hoort bij een waterstandsrijzing en -daling overeenkomend met het referentiegetij en is berekend op basis van een lineaire fit (V_{max_ref}).



Figuur 3.7 Moneos gemeten en gefitte relatie tussen getijslag en maximum verticaal-gemiddelde vloednelheid voor de locatie Hooze Platen Noord

De stijging en daling van de waterstand bij Vlissingen op 4 juli 2000 rond 15h55 wordt gebruikt voor de metingen op de Hooze Platen (HPN en HPW); dit is immers het getij dat voor de stroomsnelhedenkaart gebruikt wordt. Voor de Plaat van Walsoorden (PVW) en de Rug van Baarland (RVB) worden de stijging en daling van de waterstand bij Hansweert gebruikt; voor de plaat van Valkenisse (PVL) wordt het getij van Bath gebruikt (Tabel 3.5).

Tabel 3.5: Getijddata gebruikt om maximale vloednelheden uit de Moneos-data te bepalen. De waterstand op het betreffende tijdstip met de opgelegde stijging en daling.

Station	Getij van 4-7-2000				Slotgemiddelde 1991.0	
	tijd	waterstand (cm)	Stijging (cm)	Daling (cm)	waterstand (cm)	Getijverschil springtij (cm)
Vlissingen	15:55	253	453	475	243	447
Hansweert	16:50	278	507	525	277	505
Bath	17:20	315	554	570	313	545

De vergelijking tussen Vmax in de stroomsnelheidskaart en de metingen op de MONEOS-locaties (Tabel 3.6) laat zien dat:

Model versus metingen voor de waarden

- De gemeten maximale stroomsnelheden (Vmax_max) in zowel ondiepe als droogvallende delen 25-35% hoger zijn dan de gemeten maximale stroomsnelheden die horen bij het referentiegetij (Vmax_ref);
- Het verschil tussen eb- en vloed snelheid aanzienlijk is en afhankelijk is van de locatie. Het is dus belangrijk beide in de berekening mee te nemen; het model doet dit goed.
- Het model in vrijwel alle gevallen een lagere waarde geeft dan de metingen. Gemiddeld bedraagt deze onderschatting t.o.v. Vmax_ref 16 cm/s in de ondiepe gebieden (-5 tot -8 m NAP) en 26 cm/s in de droogvallende gebieden (-0,8 tot -1,8 m NAP).
- Ondanks de beperkte meetperiode van enkele springtijden zijn de maximaal opgetreden snelheden fors (17-103%, gemiddeld 58%) hoger dan de modelwaarden. Dit betekent dat de ecotopenkaarten, gebaseerd op steeds dezelfde gemiddelde getijperiode, de werkelijke dynamiek in de Westerschelde –en mogelijke veranderingen daarin– systematisch onderschatten.

Model versus metingen voor de classificatie

- Het model in het ondiepe sublitoraal geeft evenals de metingen ook waarden boven de dynamiekgrens (grenswaarde model is 0,7 m/s, grenswaarde metingen is 0,8 m/s). Door te werken met een model specifieke grenswaarde leidt de structurele onderschatting op de MONEOS-locaties niet tot een onjuiste classificatie. Dit is niet noodzakelijk hetzelfde voor andere ondiepe gebieden in de Westerschelde. Ook geeft het correct classificeren van deze meetpunten geen uitsluitel of de grens tussen hoog- en laagdynamische vlakken goed bepaald wordt; daarvoor zijn langere transecten met meer meetpunten op verschillende locaties nodig.
- In de droogvallende gebieden geeft het model in drie van de acht gevallen een snelheid lager dan 0,7 m/s, wat in twee gevallen zou leiden tot een foutieve classificatie als 'laag dynamisch' van in werkelijkheid hoog dynamisch gebied. Omdat voor deze gebieden niet de stroomsnelheid maar de geomorfologische kaart gebruikt wordt, heeft dit geen consequenties voor de ecotopenkaart.

Tabel 3.6: Vergelijking tussen gemeten ($V_{\max_ref}$ en $V_{\max_max}$) en gemodelleerde ($V_{\max}$) maximale stroomsnelheden in ondiepe en droogvallende delen. Blauwe cellen in de kolom 'metingen' geven aan waar de maximale stroomsnelheid tijdens eb optreedt. Rode cijfers in de kolom 'model' gegeven aan waar het modelresultaat bij een grens van 0,7 m/s zou leiden tot een classificatie als 'laag dynamisch' terwijl de metingen stroomsnelheden laten zien die horen bij 'hoog dynamisch' (grenswaarde is 0,8 m/s). Groene cijfers geven aan waar een punt in zowel metingen als model als 'laag dynamisch' geclassificeerd wordt. In alle andere gevallen zorgen zowel de metingen als het model voor een classificatie hoogdynamisch.

	Monster locatie	Bodemhoogte tov NAP (m)	Metingen (grenswaarde = 80 cm/s)		Model (grenswaarde = 70 cm/s)	Verschil (meting-model)	
			$V_{\max_ref}$ (cm/s)	$V_{\max_max}$ (cm/s)	$V_{\max}$ (cm/s)	Ref (cm/s)	Max (cm/s)
Ondiep (-6,3 m)	HPN_1.1	-6.5	132	180	109	23	71
	HPN_2.5	-6.7	130	154	117	13	37
	HPN_3.9	-6.0	160	206	139	21	67
	HPW_1.1	-8.0	132	192	133	-1	59
	RVB_1.1	-5.5	104	133	73	31	60
	RVB_2.5	-4.9	111	125	82	29	43
	RVB_3.9	-6.2	113	149	95	18	54
	RVB_4.13	-5.8	121	144	108	13	36
	PVW_1.1	-6.1	122	160	107	15	53
	PVW_2.5	-7.1	135	155	133	2	22
	PVL_1.1	-6.7	107	133	112	-5	21
Droogvallend (-1,5 m)	HPN_1.2	-1.6	98	140	69	29	71
	HPN_2.6	-1.6	106	132	78	28	54
	HPN_3.10	-1.6	114	151	67	47	84
	HPW_1.2	-1.6	106	140	89	17	51
	RVB_1.2	-0.8	73	95	61	12	34
	RVB_2.6	-1.8	95	112	73	22	39
	RVB_3.10	-1.6	101	130	72	29	58
	PVW_1.2	-1.5	98	122	99	1	23

De stroomsnelheden in ondiepe sublitorale en droogvallende gebieden worden weliswaar niet goed gemodelleerd, maar op deze specifieke locaties leidt dit niet tot fouten in de ecotopenkaart. Dit geeft nog geen informatie over de al dan niet juiste ligging van grenzen tussen hoog- en laagdynamische gebieden. De volgende sectie laat zien in welke zones wel fouten optreden.

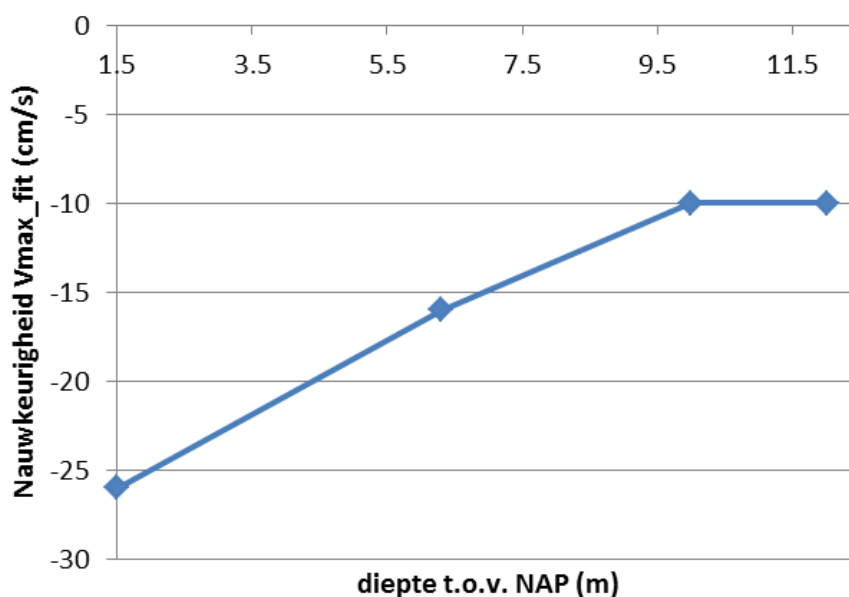
De doorrekening van de nauwkeurigheid van stroomsnelheid in de ecotopenkaart wordt gebaseerd op het gemiddelde verschil tussen $V_{\max}$ en $V_{\max_ref}$ omdat $V_{\max_ref}$ overeenkomt met het voor de ecotopenkaarten gebruikte referentiegetij.

3.4.3.1 Nauwkeurigheid stroomsnelheidskaart

Om tot een beeld van de mogelijke fout voor de gehele Westerschelde te komen, is het verschil tussen model en metingen ruimtelijk geëvalueerd. Omdat de onderschatting duidelijk diepte gerelateerd is (Tabel 3.6), wordt deze via een lineaire relatie met de diepte meegenomen in de berekening (Figuur 3.8). De uitgangspunten voor deze relatie zijn:

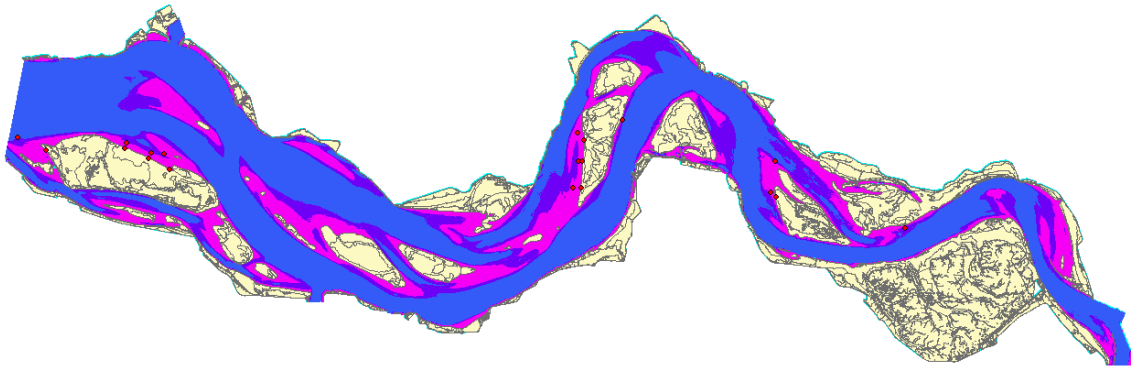
- Voor alles boven -1,5 m NAP is de snelheid i.v.m. gebruik luchtfotoklassering niet van belang;
- De onderschatting op de grens sublitoraal/intergetijdengebied (gemiddeld -1,5 m NAP) is 26 cm/s. Dit is het gemiddelde verschil tussen V_{max} en V_{max_ref} in de onderste 8 rijen in Tabel 3.6 (Droogvallend), zonder RvB_1.2. Deze waarde bepaalt het linker punt in Figuur 3.8;
- De onderschatting in het ondiepe sublitoraal (rij 1-11; gemiddeld -6,3 m NAP) is 16 cm/s. Deze waarde bepaalt het tweede punt in Figuur 3.8;
- Voor alles onder -10 m NAP is de nauwkeurigheid ± 10 cm/s (Dam *et al.* 2002a, Jansen 2002). Alleen de mogelijke onderschatting (-) is van belang omdat gebieden dieper dan -10 m NAP praktisch altijd hoog dynamisch zijn. Deze waarde bepaalt de twee rechter punten in Figuur 3.8;

Er wordt alleen gerekend met een onderschatting omdat de metingen laten zien dat een overschatting praktisch niet voorkomt. Een bepaling van de onderschatting die alleen gebaseerd is op de punten in het ondiepe sublitoraal (rij 1-11 in Tabel 3.6) zou tot een extremere relatie tussen diepte en afwijking van de stroomsnelheid leiden die geen recht doet aan de nauwkeurigheid in diepe gebieden en de grens van het litoraal.

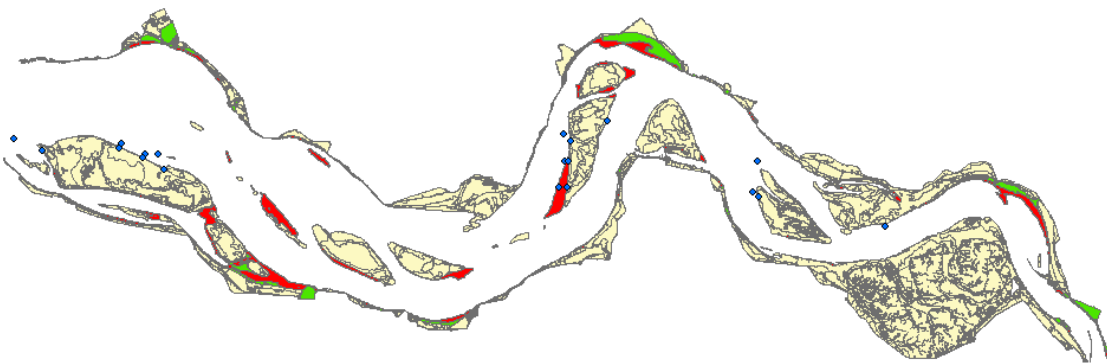


Figuur 3.8 Relatie tussen diepte en nauwkeurigheid van de gemodelleerde maximale stroomsnelheid: een lineaire fit door de gemiddelde nauwkeurigheden op -1,5 m, -6,3 m en -10 m NAP

De kaart met onderschattingen van stroomsnelheden (Figuur 3.9) laat duidelijk zien dat de stroomsnelheid in grote delen van de Westerschelde 10-26 cm/s onderschat wordt. De gevolgen voor de classificatie als laag- of hoogdynamisch zijn, zoals Figuur 3.10 laat zien, beperkt omdat veel gebieden al als hoogdynamisch aangemerkt worden. Toch zijn er een aantal gebieden waar aanzienlijke oppervlaktes als laagdynamisch gebied geclassificeerd worden, terwijl ze waarschijnlijk hoogdynamisch zijn (rood gemarkeerd in Figuur 3.10). Het stuk tussen de Hoge Platen en de Springer en tussen de Springer en de Paulinapolder, de Suikerplaat, de zuidwest punt van de Rug van Baarland, randen van de Brouwerplaat/Molenplaat en de Appelzak. In totaal wordt ongeveer 2/3 van het huidige areaal laagdynamisch sublitoraal als zodanig aangemerkt terwijl dit waarschijnlijk hoogdynamisch is. Voor de overige 1/3 van het areaal laagdynamisch sublitoraal heeft de onderschatting van de stroomsnelheid waarschijnlijk geen gevolgen (groen gemarkeerd in Figuur 3.10).



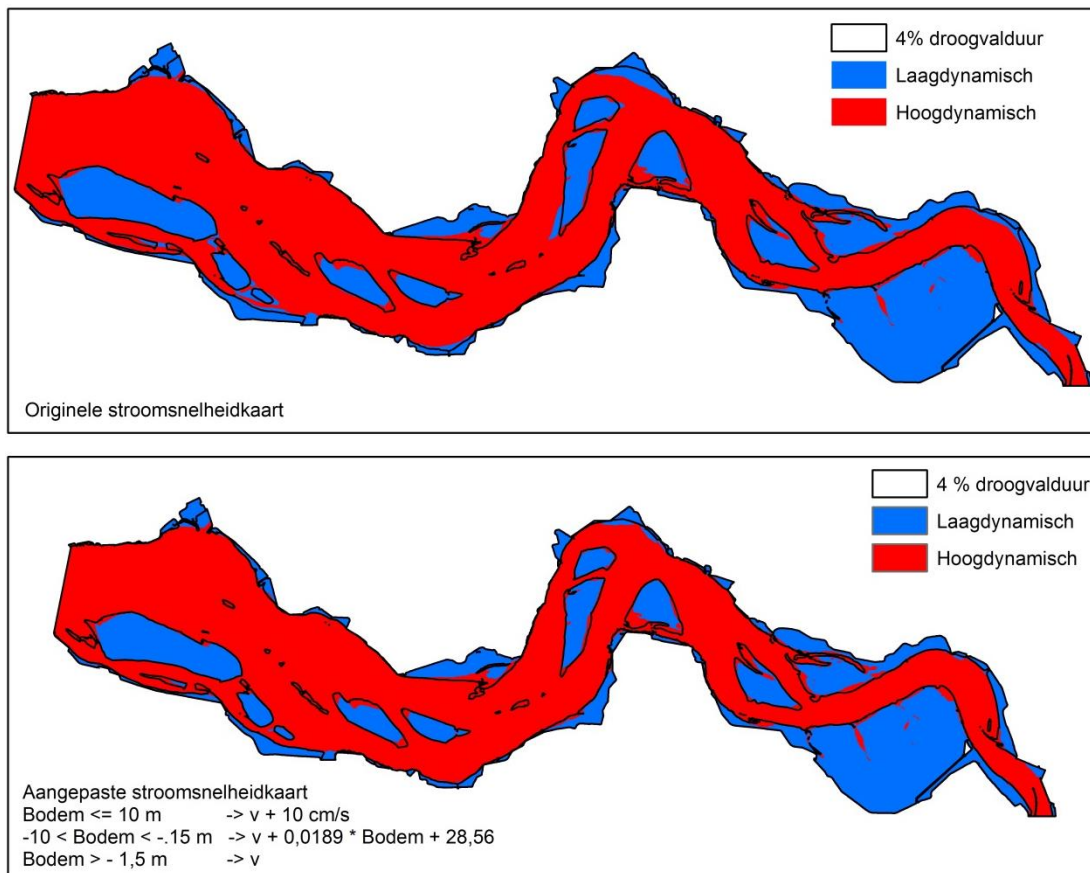
Figuur 3.9 Onderschatting van stroomsnelheden in de Westerschelde. Blauw is 10 cm/s, paars 10-16 cm/s, roze 16-26 cm/s. De gele gebieden geven aan waar de geomorfologische kaart gebruikt wordt, dus waar gemodelleerde stroomsnelheden niet van belang zijn.



Figuur 3.10 Terechte (groen) en onterechte (rood) classificatie als laagdynamisch gebied op basis van gemodelleerde stroomsnelheden.

Veel van de gebieden die op basis van de aangepaste stroomsnelheidskaart als hoogdynamisch aangemerkt worden liggen direct naast intergetijdengebied dat op de geomorfologische kaart ook als hoogdynamisch aangemerkt wordt. Zonder deze aanpassing lag vaak een laagdynamisch ondiep gebied naast een hoogdynamisch intergetijdengebied, wat fysisch minder logisch is. Het verrekenen van de onderschatting van de stroomsnelheid lijkt dus een realistischer beeld op te leveren.

Onderstaande figuur (Figuur 3.11) geeft de originele stroomsnelhedenkaart met hierin de classificatie hoog-/laagdynamisch en de aangepaste stroomsnelheidskaart zoals gebruikt voor het bepalen van de doorwerking in de ecotopenkaarten in Hoofdstuk 6.



Figuur 3.11 Weergave hoog- en laagdynamische gebieden op basis van de originele en aangepaste stroomsnelheid van 2012

3.5 Geomorfologie

De geomorfologie van de litorale gebieden geeft een beschrijving van de aanwezige landschappelijke vormen in deze gebieden. Op platen en slikken worden deze vormen in belangrijke mate bepaald door de hydrodynamiek ter plaatse: de stroomsnelheid en de golfaanval. Aangezien er nog geen goede modelberekeningen beschikbaar zijn voor de stroomsnelheid en golven in de litorale gebieden is de geomorfologie een goed alternatief om voor de litorale gebieden de hydrodynamiek te bepalen. Naast de hydrodynamiek wordt de geomorfologische kaart ook gebruikt voor het bepalen van het type substraat, de bodemsamenstelling en de aanwezige vegetatie in de litorale en supralitorale gebieden.

De geomorfologische kaart kent zes hoofdgroepen: platen en slikken (P), grote kreken in schorren (K), hard substraat (H), schorren, kwelders en groene stranden (S), duinen (D) en overige eenheden (O). Binnen deze hoofdgroepen worden er verschillende detailindelingen gehanteerd gebaseerd op dynamiek, bodemvormen, bodemsamenstelling en aanwezigheid van vegetatie. De geomorfologische kaart kent 41 typen (zie Tabel 3.7). Dit is meer dan de ecotopenkaart omdat de geomorfologische kaart ook voor andere doelen te gebruiken is. Tevens kunnen deze meer gedetailleerde geomorfologische typen gebruikt worden om veranderingen te signaleren voordat deze zich uiten in de ecotopenkaart. Zo kan bijvoorbeeld een andere verhouding tussen 2D en 3D megaribbels en vlak (alle simpelweg vallend onder 'hoog energetisch' in de ecotopenkaart) een aanwijzing zijn voor veranderingen in hydrodynamiek, die zich pas later uit in de ecotopenkaart.

Tabel 3.7 Relaties tussen typen in de geomorfologische kaart en de ecotopenkaart. *zijn wildcards voor een onderscheid tussen typen die in deze studie niet van belang zijn. Een compleet overzicht van beide typen is te vinden in de Jong (2013) en de Lange et al. (2013)

Substraat	Dynamiek	geomorfologische kaart-code	ZES-code	Opmerking
Hard; steen of veen/klei	Nvt	H**	Z1.**	
Zacht, zandig	Hoog	P2a, P2b1, P2b2, P2c, P2d1, P2d2, P2d3	Z2.21f	Geomorfologische kaart onderscheidt bodemvormen
	Laag	P1a1, P1a3, P1b, P3	Z2.221f, Z2.222f, Z2.223f	ZES-code naar gelang hoogteligging
Zacht, slib	Hoog	Bestaat niet	Z2.21s	
	Laag	P1a2	Z2.221s, Z2.222s, Z2.223s	ZES-code naar gelang hoogteligging
Zacht, schor		S**	Z2.x21, Z2.x22	

3.5.1 Inwinning veldgegevens en productie van de kaart

De geomorfologische kaart wordt gemaakt op basis van false-colour luchtfoto's (stereobeelden). Deze foto's mogen op één of twee dagen tussen 15 mei en eind september gemaakt worden bij voldoende laag water (minimaal -1,56 m NAP bij Vlissingen) en gunstige meteorologische condities. De resolutie is maximaal 12 cm op de grond. Op basis van regels over textuur, kleur en omgeving worden deze foto's met behulp van een interpretatiematrix omgezet in de geomorfologische kaart (de Jong 2013, Kers et al. 2013).

Bij terreinen die al eerder zijn gekarteerd wordt bij de foto-interpretatie gebruik gemaakt van de "Oude Grenzen Methode" (Janssen et al. 2000), waarbij grenzen tussen vlakken uit een eerdere kartering alleen worden gewijzigd (verwijderd of bijgetrokken) indien informatie uit de nieuwe luchtfoto's daar aanleiding toe geeft. De interpretatiematrix geeft aan welke grenzen 'hard' -dat wil zeggen: niet discutabel en duidelijk te trekken- zijn. De niet-harde grenzen van gebieden worden elke keer opnieuw bepaald omdat deze sterk kunnen veranderen. Bij de kartering van diffuse grenzen mag maximaal 5 meter worden afgeweken van de precieze scheidingslijn, bij strakke grenzen is dit maximaal 2 meter. De minimale te karteren oppervlakte bedraagt 400 m² voor eenheden met diffuse (zachte) grenzen en 100 m² voor eenheden met harde grenzen. Het hanteren van de Oude Grenzen Methode beperkt de ruis die ontstaat bij het maken van verschilkaarten.

De fotobeelden worden in het veld steekproefsgewijs vergeleken met de werkelijke situatie ter ondersteuning van de interpretatie en toekenning van de gebiedstypen en ter kalibratie/validatie van verschillende gebiedstypen. Indien nodig wordt de geomorfologische kaart aangepast. Omdat veldwerk kort op de fotovlucht moet volgen, vindt veldwerk vaak plaats voor de interpretatie van de foto's, waardoor in de praktijk validatie van de kaart op basis van waarnemingen niet mogelijk is. Wel worden dan de foto's van de vorige vlucht gebruikt als ondersteuning.

De indeling van slikken en platen (P) in hoog of laag energetisch (=hoog- of laag dynamisch in de ecotopenkaart) wordt uit de (stereo)luchtfoto's afgeleid op basis van reliëf (bodenvormen zoals megaribbels of juist de afwezigheid daarvan). De bodemsamenstelling (slibarm of slibrijk) wordt bepaald op basis van kleur, reflectie, aanwezigheid van

drainagepatronen, afstand tot de waterlijn en aanvullend veldwerk. Opgemerkt wordt dat de ecotopenkaart een ecotoop 'hoog dynamisch, slib' kent, welke niet bestaat in de geomorfologische kaart. Dit ecotoop is gecreëerd vanwege het voorkomen van slibrijke bodems op plekken waar hoge stroomsnelheden gemeten zijn (bijv. Zuidgors voor 2000; pers. med. D. de Jong). Aangezien de geomorfologische kaart gebaseerd is op bodemvormen en –samenstelling, en niet op stroomsnelheden, erkent de geomorfologische kaart dit type niet

Voor krekens (K) geldt dat deze gekarteerd worden als onderdeel van een schor (S), tenzij ze meer dan 250 meter breed zijn. De verdere onderverdeling naar hydrodynamiek en slibgehalte van grote krekens (K) is vergelijkbaar met die van platen en slikken (P).

In de ecotopenkaart worden krekens (K) ingedeeld bij het litoraal. Natuurlijk meanderende schorkrekens (S3a) met een breedte tussen de 5 en 250 meter worden gekarteerd onder Schorren (S) in de geomorfologische kaart. Voor de ecotopenkaart worden zowel schor (S1*) als schorkrekens (S3*) ingedeeld onder 'schor'.

Hard substraat zoals steen en veen-/kleibanken (H*) is onderverdeeld in H1a met <25% bedekking met zand en H1b met > 25% bedekking met zand; soms is dit onderscheid lastig te maken op basis van foto's. In de ecotopenkaart valt dit onderscheid weg omdat deze alleen de typen hard steen en hard veen/klei kent; de mate van zandbedekking speelt geen rol.

Voor het maken van de ecotopenkaart wordt de geomorfologische kaart geëxtrapoleerd tot of afgesneden op de waterlijn die hoort bij 4% droogvalduur, die volgt uit de droogvalduurberekening (zie paragraaf 3.3). Gebieden kleiner dan 400 m² worden geëlimineerd. In het gebied met meer dan 4% droogvalduur worden vlakken die geen geomorfologisch-type hebben ingedeeld bij het sublitoraal, terwijl vlakken met geomorfologische-typering altijd in het litoraal ingedeeld worden. Van de gebieden beneden de 4% droogvalduurlijn wordt alle geomorfologische informatie verwijderd, met uitzondering van de klasse 'hard substraat steen', dit zijn kribben en geulwandverdedigingen die buiten de 4% dvd-lijn liggen. Na extrapolatie vindt een controle plaats op volledigheid, overlap en correcte spelling van klassen.

3.5.2 Mogelijke foutenbronnen

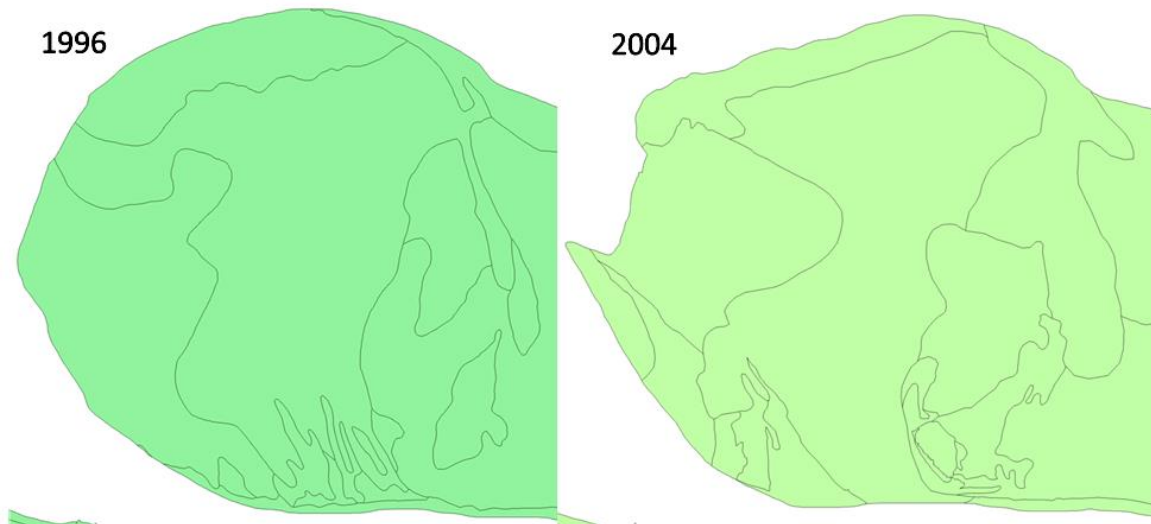
De geomorfologische kaart kent twee fouttypen: (1) Een foutieve (ruimtelijke) grens van een geomorfologisch-type (een polygoon die niet exact op de grens van geomorfologische-typen ligt) en (2) een foutieve (inhoudelijke) classificering van het geomorfologische-type. De meeste stappen in het vervaardigingsproces veroorzaken slechts één van deze fouttypen. Het karakter van deze fouten is in principe willekeurig, maar de hoeveelheid menselijke interpretatiestappen en de beperkte set van geomorfologische-types waartussen verwarring mogelijk is zorgen ervoor dat niet elke fout even veel voorkomt.

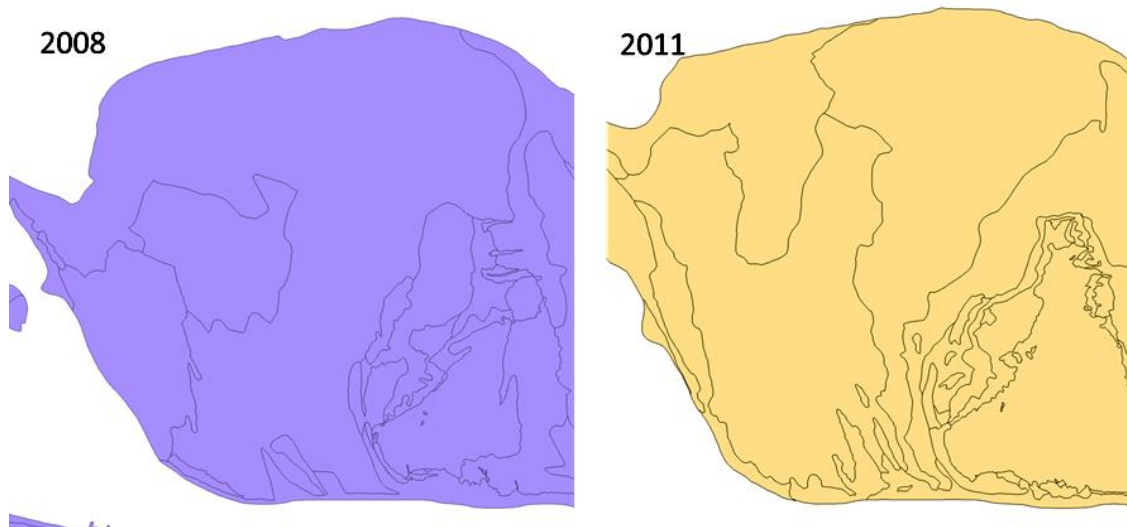
De resolutie van de fotobeelden is zodanig hoog en de plaatsbepaling van het vliegtuig is nauwkeurig genoeg om geen fout van belang te veroorzaken: een verschil van 12 cm in het fotobeeld valt in het niet bij de toegestane marge in de geomorfologische kaart van 2-5 meter. Dit geeft bijvoorbeeld over een grens met een lengte van 500 m een mogelijk verschil van 60 m².

Een hogere waterstand tijdens de fotovlucht zal door de toegepaste extrapolatie vooral leiden tot fouten van het eerste type: het trekken van een foutieve grens. Pas als een heel geomorfologisch-type in het fotobeeld onder water ligt veroorzaakt dit mogelijk een fout van het tweede type: een verkeerde classificering, aangezien er niets onderscheiden kan worden. De grootte van deze fout is afhankelijk van de daadwerkelijke waterstand en verschilt daarmee per jaar, maar zal beperkt zijn omdat dit alleen de allerlaagst gelegen gebieden betreft. Bovendien wordt in een dergelijk geval teruggegrepen op de vorige kartering.

Het voor elk uitgavejaar opnieuw trekken van de polygonen op de zachte grenzen draagt bij aan beide fouttypen: De grens tussen twee geomorfologische-typen is vaak diffuus en classificering van sommige geomorfologische-typen is niet evident. Degene die de kaart maakt kan in het ene jaar de positie van de grens net iets anders intekenen dan in het andere jaar, terwijl er in het veld niets wezenlijks veranderd is. Ook is het mogelijk dat de maker, door bijvoorbeeld vermoeidheid, aan het eind van de dag minder nauwkeurig werkt dan aan het begin van de dag, of hij wordt juist steeds handiger. De eisen met betrekking tot minimaal te karteren oppervlakte en precisie van de karteringsgrens (zie sectie 0) voorkomen grote absolute fouten. Wel kan voor kleine gebieden de relatieve fout aanzienlijk zijn: een gebiedje van 20 x 20 m (400 m²) met diffuse grenzen kan binnen de procedure, in het uiterste geval, als 30 x 30 m (900 m²) gekarteerd worden. Een moeilijk te classificeren gebied kan het ene jaar als type A gekarteerd worden en het volgende jaar, door een andere interpretator, als type B. Beide fouten zouden goeddeels voorkomen kunnen worden door de voorgaande geomorfologische kaart als basis te gebruiken, en alleen veranderingen aan te brengen als deze duidelijk waarneembaar zijn. Eventuele fouten worden dan wel van jaar tot jaar doorgegeven, maar leiden niet tot veranderingen en beïnvloeden daarmee analyses van trends niet. Door terug te grijpen op de vorige kartering en alleen bij grote veranderingen de lijn aan te passen wordt deze fout zoveel mogelijk voorkomen.

Een onjuiste ligging van de polygoon kan ook veroorzaakt worden door veel polygoonbewerkingen zoals smoothing toe te passen. De Dienstbeschrijving specificeert dat smoothing niet plaatsvindt, toch is op de ecotopenkaart de omgeving van Hansweert in 2012 veel grilliger dan de 'gladde' versie van 1996 (zie Figuur 5 in Cleveringa (2014)). Dit lijkt vooral een verschil tussen de eerdere kaarten en die van de laatste jaren (>2008), zoals Figuur 3.12 laat zien en speelt sinds het gebruik van de 'Oude Grenzen' methode geen rol meer.





Figuur 3.12 Grenzen van geomorfologische kaart typen op het westelijk deel van de Hooge Platen in verschillende jaren. De latere kaarten (2008 en 2011) kennen duidelijk meer detail dan de eerdere (1996 en 2004).

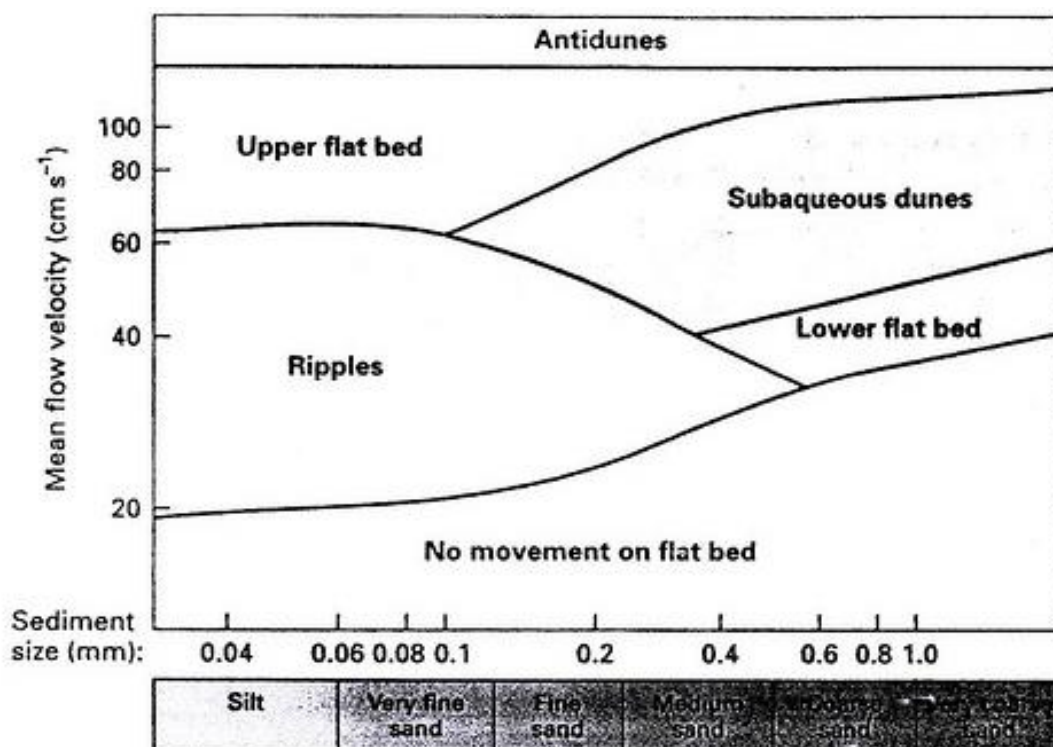
Natuurlijk meanderende schorkreken (geomorfologisch-type S3a) met een breedte tussen de 5 en 250 meter worden gekarteerd onder 'schorren' in de ecotopenkaart, terwijl kreken breder dan 250 meter onder 'litoraal' vallen. Daardoor kan een kleine verandering in breedte van een kreek rond 250 meter theoretisch tot een groot verschil in schor- en litoraal areaal leiden. In de praktijk komen slechts drie van dergelijke brede geulen voor in het Verdrongen Land van Saeftinghe. Hiervoor zijn harde grenzen getrokken waar pas verandering in komt als daar echt aanleiding toe is, waardoor dit verschijnsel niet optreedt.

De meeste typen in de geomorfologische kaart zijn visueel duidelijk van elkaar te onderscheiden en zullen dus correct geclassificeerd worden. Er zijn echter vijf sets van typen die op foto's veel op elkaar lijken, en dus tot onjuiste classificaties kunnen leiden:

- Vlakke hoogenergetische platen (P2c) en vlakke zandige laag energetische platen (P1a1), samen 4346 ha in 2012.
- Vlakke zandige laag energetische platen (P1a1) en vlakke slibrijke laag energetische platen (P1a2), samen 4062 ha in 2012. Ook K1a1 en K1a2 (zeer klein areaal). Hoewel deze in de ecotopenkaart in verschillende ecotopen terecht komen zijn beide laagdynamisch. De overgangen van slibrijk naar zandig en vice versa zijn niet verder onderzocht omdat deze bij de natuurlijke dynamiek lijken te horen. Dergelijke overgangen komen in veel gebieden regelmatig voor, soms zelfs binnen een aantal maanden.
- Hoogenergetisch met golvend reliëf (P2a) en hoogenergetisch met megaribbels (P2b1/P2b2), samen 783 ha in 2012. Ook K2a en K2b1 (zeer klein areaal). Omdat deze in de ecotopenkaart in hetzelfde type terechtkomen worden ze in deze studie niet verder geanalyseerd.
- P2a lijkt ook op P1b. In het veld is het verschil dat er op de toppen van ribbels bij P2b geen leven is, en bij P1b wel. Tussen 2011 en 2012 is de overgang tussen deze twee typen echter minder dan een hectare.

- Hard substraat veen-/kleibanken met <25% zand (H1a) en hard substraat veen-/kleibanken (H1b) met > 25% zand, samen 109 ha in 2012. Omdat deze in de ecotopenkaart in hetzelfde type terechtkomen worden ze in deze studie niet verder geanalyseerd.

Het onderscheid tussen deze typen wordt gemaakt op basis van bodemvormen, kleur reflectie en ligging, maar deze parameters zeggen niet alles over de plaatselijke hydrodynamiek en het slibgehalte. Bodemvormen zijn namelijk niet alleen een gevolg van de dynamiek, maar worden ook bepaald door de korrelgrootte, de waterdiepte, biota en de temperatuur van het water. Duidelijk is wel dat een vlakke bodem bij twee totaal verschillende niveaus van hydrodynamiek ('Upper flat bed' en 'no movement on flat bed' in Figuur 3.13) kan horen, die niet aan elkaar grenzen. Bij een korrelgrootte rond 200 μm zoals in de Westerschelde zit hier ruim 0,5 m/s tussen. Op basis van de morfodynamiek van het systeem is niet te verwachten dat een dergelijke verandering in stroomsnelheid over grote gebieden optreedt in één of enkele jaren. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat Figuur 3.13 bepaald is op basis van laboratoriumproeven met sublitorale condities, niet op veldgegevens uit het litoraal waar wellicht andere condities (golven, aanwezigheid van bodemleven, etc) ook een rol spelen. Er zijn echter wel meldingen uit het veld dat overgangen tussen vlak hoogdynamisch en vlak laagdynamisch waarbij het bodemleven geleidelijk of vrij plotseling is toegenomen zijn waargenomen (pers med Dick de Jong).



Figuur 3.13 Bodemvormen gerelateerd aan stroomsnelheid en korrelgrootte. Uit Walker (1992). Er zijn vele vergelijkbare figuren, met vaak net iets andere grenzen tussen regimes, maar het algemene beeld is vergelijkbaar en de scheiding tussen hoogenergetisch vlak ('Upper flat bed') en laagenergetisch vlak ('No movement on flat bed') is altijd duidelijk voor de typerende korrelgrootte in de Westerschelde (~0.2mm)

Omdat de classificatie niet steeds door dezelfde persoon uitgevoerd wordt, kan niet gesteld worden dat eventuele fouten structureel gemaakt worden. Een veranderende waarnemersbias is niet uit te sluiten. Dit vermindert de vergelijkbaarheid van de kaarten uit verschillende jaren onderling, en daar mee hun geschiktheid voor het bepalen van trends. De analyse van Cleveringa (2014) (Tabel 2 in Bijlage 3) laat zien dat er per karteringsperiode aanzienlijke overgangen van vlak laag energetisch zand naar vlak hoogenergetisch zand en naar vlak laag energetisch slibrijk zand (en vice versa) lijken op te treden. Het is de vraag of dit een gevolg is van normale natuurlijke dynamiek in de loop van een jaar, veranderende dynamiek over langere tijdschalen, of interpretatiefouten. Cleveringa (2014) komt voor hoog- en laag dynamisch litoraal op basis van het verschil met de –betwistbare- lineaire trend tot een afwijking van +/- 175 ha door interpretatieverschillen. In vergelijking met de totale oppervlakte van de Westerschelde (30.720 ha) bedraagt dit slechts 0,57%, maar ten opzichte van de 3.799 ha laagdynamisch litoraal is dit 4,6%. In de volgende sectie wordt deze afwijking nader bepaald en uitgesplitst naar hoog/laag energetisch en zandig/slibrijk.

Door uit te gaan van een momentopname tijdens een relatief rustige periode in het jaar (zomer) zou wellicht een structurele bias naar laag dynamische typen gecreëerd kunnen worden, maar dit beeld komt niet duidelijk naar voren uit de veldopnames (Beezemer 2013). De inventarisatie van typen hoog- en laag-energetische gebieden laat zien dat er voor de helft (66 van de 130) onderzochte punten een tegenstrijdigheid bestaat tussen de classificering als hoog- of laag energetisch en het aanwezige bodemleven (Beezemer 2013). Hiervan zijn er 38 logisch te verklaren, vooral op basis van seizoensvariatie in bodemleven. Bij 28 punten (21,5% van het geheel) bleek de verklaring gezocht te moeten worden in factoren als hoge stroomsnelheden, tijdelijk aanwezige sliblaagjes en wind- of scheepsgolven. Informatie over seizoensvariatie zou de schatting van betrouwbaarheid verder kunnen verbeteren en een idee geven over de natuurlijke dynamiek binnen een jaar.

Hier is echter geen kwantitatieve uitspraak over te doen zonder kennis over hoe snel en bij welke omstandigheden een bodemvorm zich aanpast aan het hydrodynamische regime, en over wat de hydrodynamische condities waren die het beeld op de luchtopname bepaald hebben. Deze natuurlijke dynamiek is niet waar te nemen door middel van één jaarlijkse opname.

3.5.3 Evaluatie nauwkeurigheid

Om de afwijking in oppervlaktes van geomorfologische typen te bepalen wordt gebruik gemaakt van de overgangen³ van en naar vlak laag energetisch zand zoals geïnventariseerd in Tabel 3.8. Deze zijn gebaseerd op de geomorfologische kaarten 1996, 2001, 2004, 2008, 2010, 2011 en 2012. Er wordt alleen gekeken naar geomorfologische kaart-types die voor de ecotopenkaart onderscheidend zijn.

Kwantificeren overgangen in moeilijk te typeren gebieden

Tabel 3.8 laat zien dat de verandering van P1 (laag energetisch) naar P2 (hoog energetisch) en vice versa per karteringsperiode van dezelfde orde van grootte is. Ongeacht de lengte van de karteringsperiode gaat er voor deze geomorfologische typen respectievelijk gemiddeld 320 ha $\pm$ 75 en 397 ha $\pm$ 69 over van de ene klasse in de andere.

³ Onder 'overgang' wordt een temporele overgang van het ene type naar het andere verstaan, geen ruimtelijk overgangsgebied.

De overgang van zand naar slib (gemiddeld 207 ha $\pm$ 102) en slib naar zand (gemiddeld 311 ha $\pm$ 159) laat een vergelijkbaar beeld zien, maar varieert meer. Deze laatste overgangen horen bij de natuurlijke dynamiek en zijn dus niet zijn vast te leggen met een jaarlijkse foto.

Tabel 3.8 Overgangen in de geomorfologische kaart (in ha) van en naar vlak laag energetisch zand per karteringsperiode, naar Cleveringa (2014). De overgangen die van belang zijn voor de ecotopenkaart (hoog/laag energetisch en zandig/slibrijk) zijn aangegeven in lichtblauw P1 is laag energetisch, P2 hoogenergetisch.

Overgangen per periode	Periode						Gem ± std
	1996-2001	2001-2004	2004-2008	2008-2010	2010-2011	2011-2012	
Van (P1a1) vlak laag energetisch zandig naar:							
laag energetisch vlak en slibrijk (P1a2)	240	107	383	127	152	235	207 ± 102
laag energetisch met laag golvend reliëf (P1b)	18	4	4	4	4	9	7 ± 6
hoog energetisch met gegolfd reliëf (P2a)	30	15	97	13	38	68	44 ± 33
hoog energetisch met 3D-megaribbels (P2b1)	10	7	58	0	3	10	15 ± 22
hoog energetisch met 2D-megaribbels (P2b2)	53	35	59	25	13	15	33 ± 19
hoog energetisch vlak (P2c)	211	230	250	221	220	237	228 ±14
schor (zeer open, pollen) (S2b)	32	18	91	11	26	22	33 ± 29
Ongewijzigd	639	941	1.073	1.332	1.753	1.755	1249 ± 451
Van P1 naar P2	304	287	464	259	274	330	320 ± 75
Van zand naar slib	240	107	383	127	152	235	207 ± 102
Naar (P1a1) vlak laag energetisch zandig van:							
laag energetisch vlak en slibrijk (P1a2)	316	594	302	328	183	141	311 ± 159
laag energetisch met laag golvend reliëf (P1b)		35	23	1	1	6	13 ±15
hoog energetisch met gegolfd reliëf (P2a)	77	73	17	125	43	52	65 ± 37
hoog energetisch met 3D-megaribbels (P2b1)	11	13	27	48	5	1	18 ± 17
hoog energetisch met 2D-megaribbels (P2b2)	125	101	37	49	38	19	62 ± 42
hoog energetisch vlak (P2c)	184	246	249	281	320	243	254 ± 45
schor (zeer open, pollen) (S2b)		48	4	44	11	10	23 ± 21
Ongewijzigd	639	941	1.073	1.332	1.753	1.755	1249 ± 451
Van P2 naar P1	397	433	330	503	406	315	397 ± 69
Van slib naar zand	316	594	302	328	183	141	311 ± 159

Om een betere vergelijkbaarheid met de snelheid van natuurlijke dynamiek te krijgen, zijn deze overgangen tussen typen per periode van meerdere jaren teruggerekend naar overgangen per jaar (zie Tabel 3.9). Daarbij valt op dat de overgangen per jaar groter zijn naarmate de periode korter is. Men zou op basis van deze getallen kunnen zeggen dat de overgang van P1 naar P2 steeds sneller gaat, wat een toegenomen morfodynamiek impliceert. De overgang van zand naar slib en andersom laat een zelfde beeld zien. Meer activiteit in de (recente) korte perioden. Anderzijds is het mogelijk dat de opnames om de 2-5 jaar de dynamiek niet goed weergeven en een te stabiel beeld geven.

Tabel 3.9 Overgangen in de geomorfologische kaart (in ha) van en naar vlak laag energetisch zand (p1a1) per jaar, naar Cleveringa (2014). De overgangen die van belang zijn voor de ecotopenkaart (hoog/laag energetisch en zandig/slibrijk) zijn aangegeven in lichtblauw.

Overgangen per jaar	Periode						Gem± std
	1996-2001	2001-2004	2004-2008	2008-2010	2010-2011	2011-2012	
Van (P1a1) vlak laag energetisch zand naar:							
laag energetisch vlak en slibrijk (P1a2)	48	36	96	64	152	235	105 ± 69
laag energetisch met laag golvend reliëf (P1b)	4	1	1	2	4	9	3 ± 3
hoog energetisch met gegolfd reliëf (P2a)	6	5	24	7	38	68	25 ± 23
hoog energetisch met 3D-megaribbels (P2b1)	2	2	15	0	3	10	5 ± 5
hoog energetisch met 2D-megaribbels (P2b2)	11	12	15	13	13	15	13 ± 2
hoog energetisch vlak (P2c)	42	77	63	111	220	237	125 ± 76
schor (zeer open, pollen) (S2b)	6	6	23	6	26	22	15 ± 9
Ongewijzigd	128	314	268	666	1753	1755	814 ± 684
Van P1 naar P2	61	96	116	130	274	330	168 ± 99
Van zand naar slib	48	36	96	64	152	235	105 ± 69
Naar (P1a1) vlak laag energetisch zand van:							
laag energetisch vlak en slibrijk (P1a2)	63	198	76	164	183	141	137 ± 51
laag energetisch met laag golvend reliëf (P1b)	0	12	6	1	1	6	4 ± 4
hoog energetisch met gegolfd reliëf (P2a)	15	24	4	63	43	52	34 ± 21
hoog energetisch met 3D-megaribbels (P2b1)	2	4	7	24	5	1	7 ± 8
hoog energetisch met 2D-megaribbels (P2b2)	25	34	9	25	38	19	25 ± 9
hoog energetisch vlak (P2c)	37	82	62	141	320	243	147 ± 102
schor (zeer open, pollen) (S2b)	0	16	1	22	11	10	10 ± 8
Ongewijzigd	128	314	268	666	1753	1755	814 ± 684
Van P2 naar P1	79	144	83	252	406	315	213 ± 122
Van slib naar zand	63	198	76	164	183	141	137 ± 51

Cleveringa (2014) heeft op basis van het verschil met de lineaire trend bepaald dat de afwijking door interpretatieverschillen +/- 175 ha is. Dit lijkt een aannemelijke schatting, hoewel het de vraag blijft in hoeverre de trend inderdaad lineair is gegeven de ontwikkelingen door de 2^e en 3^e verdieping. In aanvulling daarop tracht deze studie op basis van het proces van het vervaardigen van de kaart te kwantificeren welke overgangen in de recentste ecotopenkaart betrouwbaar zijn. Hiervoor worden twee methoden onderzocht: met de eerste methode wordt beoordeeld hoe betrouwbaar –of hoe moeilijk- een overgang te karteren is op basis van het aantal criteria en resulteert in hectares per betrouwbaarheidsklasse. De met de tweede methode wordt beoordeeld hoe nauwkeurig grenzen tussen moeilijk te karteren gebieden te karteren zijn, en resulteert in een onder- en bovengrens in hectares per type.

Methode 1: Kwantificeren realistische overgangen op basis geomorfologische kaart 2011-2012

De interpretatie van bodemvormen en de daaruit volgende dynamiek en slibgehalte is deels subjectief en kan daardoor uitmonden in een welles-nietes discussie. In dit deel van de studie wordt alleen gekeken naar de overgangen van type P1a1 (laag-energetisch, vlak) naar P2c (hoogenergetisch, vlak) en vice versa omdat deze typen moeilijk te onderscheiden zijn, terwijl de overgangen in dit type een groot aandeel van de totale veranderingen beslaan. De overgangen van slibrijk naar zandig en vice versa zijn niet verder onderzocht omdat deze bij de natuurlijke dynamiek horen (en dus niet zijn vast te leggen met een jaarlijkse foto).

De aanpak die hier gevolgd wordt, is niet zozeer gericht op het (opnieuw) beoordelen of het geomorfologische kaart-type zelf correct is, maar op het beoordelen of de overgang tussen de jaren 2011 en 2012 anders beoordeeld had kunnen worden. Dit is ook een subjectieve beoordeling, maar kan ondersteunend werken om de onzekerheid te schatten. De onzekerheid in de overgang wordt gekwantificeerd op basis van een aantal criteria. Voor elk criterium waarbij de gekarteerde overgang als realistisch beschouwd wordt, wordt een punt toegekend; hoe meer punten, hoe realistischer.

1. **Veldopname:** Valt de overgang in een gebied waar in beide jaren veldopnames gemaakt zijn die overeenkomen met de kartering? Zo ja, dan is de overgang zeer waarschijnlijk. Alle veranderingen die aan dit criterium voldoen worden als betrouwbaar beschouwd en krijgen 4 punten.
2. **Aaneengesloten:** Is er sprake van een groter aaneengesloten gebied? Met andere woorden: Is er een ruimtelijke trend zoals een uitbocht of geulrandsuppletie (Platen van Valkenisse West, Rug van Baarland Zuidwest, Hooge Platen West en Hooge Platen Noord) die de lokaal geconstateerde verandering verklaart? Zo ja, dan is de overgang zeer waarschijnlijk en wordt een punt toegekend.
3. **Eenduidig:** Valt de overgang in een gebied wat eenduidig te karteren is? Zo ja, dan is de overgang zeer waarschijnlijk en wordt een punt toegekend.
4. **Ligging:** Is de overgang te duiden met kennis over de omgeving; komt de overgang overeen met de te verwachten dynamiek? Hierbij wordt gekeken naar de ligging ten opzichte van een geul of schaar en er wordt geschat of wind- en scheepsgolven een rol kunnen spelen. Ook de stroomsnelheidskaart is, zij het beperkt, bruikbaar als ondersteuning om te zien of als laag-energetisch geclassificeerde gebieden niet in een gebied met hoge stroomsnelheden liggen en als indicatie waar hoog dynamische gebieden zich bevinden. Over het algemeen zijn hoog energetische gebieden ver van de geul of op niet-geëxponeerde locaties minder realistisch maar er zijn uitzonderingen zoals de Rug van Baarland waar sprake is van stroming dwars over de plaat. Wordt de overgang op basis van deze kennis waarschijnlijk geacht dan wordt er een punt toegekend.

De laatste twee punten zijn nadrukkelijk niet bedoeld als beoordeling of de vervaardigde geomorfologische kaart correct is of niet, maar als een indicatie van hoe lastig het is om dat gebied te typeren op basis van luchtfoto's.

De volgende beoordeling voor de puntenverdeling waarbij alles met 1 of 0 punten beschouwd wordt als zeer moeilijk te interpreteren, en dus gevoelig voor interpretatieverschillen:

4 punten	Zeër waarschijnlijk
3 punten	Waarschijnlijk
2 punten	Twijfel mogelijk
1 punt	Onwaarschijnlijk
0 punten	Zeër onwaarschijnlijk

Passen we deze beoordeling toe op de kaarten 2011 vs 2012 en 2010 vs 2011 dan krijgen we het volgende resultaat.

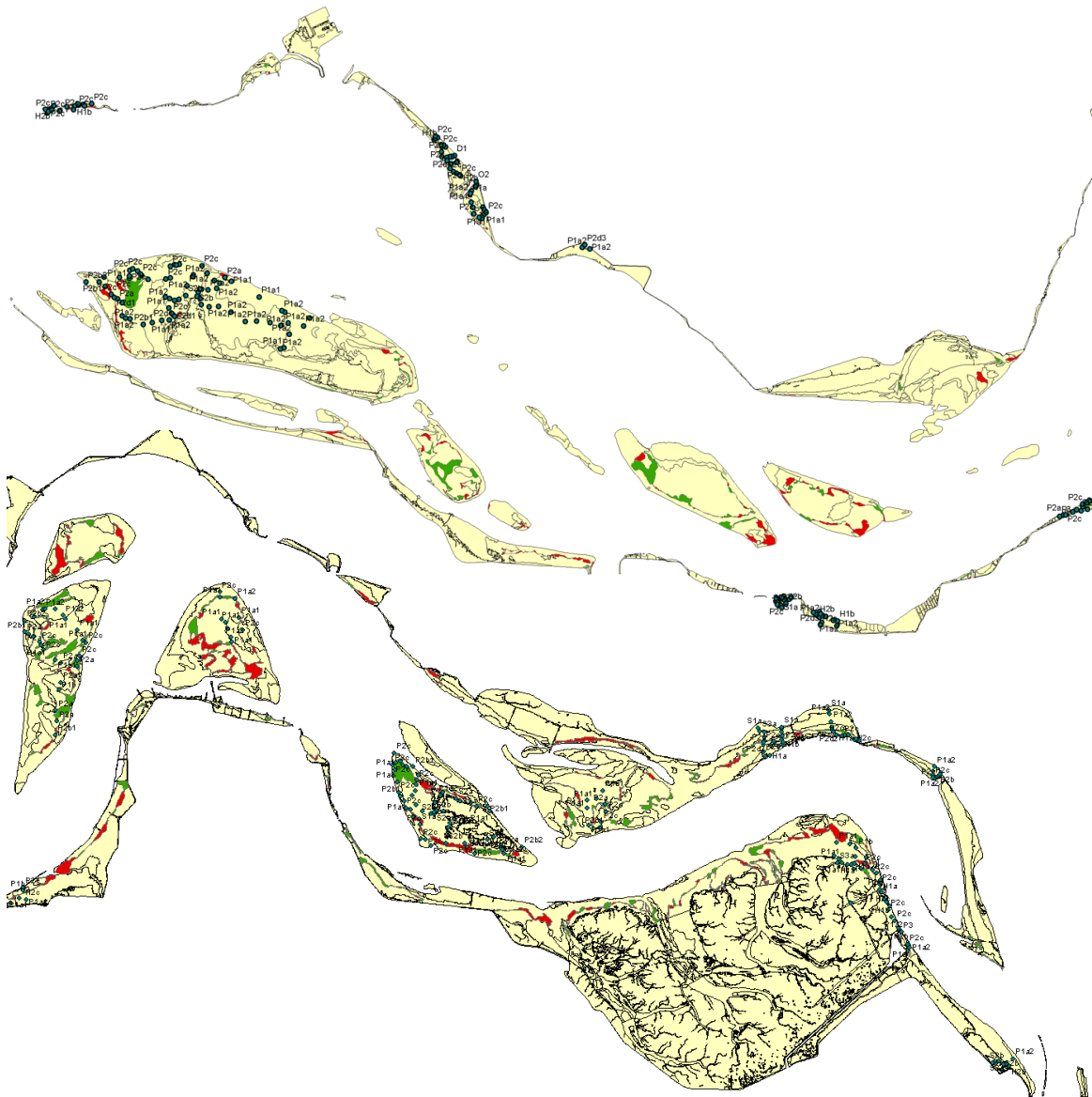
Tabel 3.10 Oppervlaktes van meer- of minder realistisch geachte overgangen in de geomorfologische kaart van en naar vlak laag energetisch zand in 2011-2012 en 2010-2011. 4 punten = veldopnamen in beide jaren.

Kaart			Oppervlakte (ha)				
	Overgang	(ha)	0 pt	1 pt	2 pt	3 pt	4 pt
2011-2012	P1a1 naar P2c	270	9 (3%)	25 (9%)	99 (37%)	113 (42%)	22 (8%)
	P2c naar P1a1	272	6 (2%)	33 (12%)	104 (38%)	108 (40%)	17 (6%)
	Totaal	542	15 (3%)	58 (11%)	213 (37%)	221 (41%)	39 (7%)
2010-2011	P1a1 naar P2c	253	14 (6%)	34 (13%)	75 (30%)	129 (51%)	0 (0%)
	P2c naar P1a1	359	7 (2%)	37 (10%)	94 (26%)	201 (56%)	20 (6%)
	Totaal	612	21 (3%)	71 (12%)	169 (28%)	330 (54%)	20 (3%)

Tussen de kaart van 2011 en 2012 is 542 ha overgegaan van laag-energetisch vlak (P1a1) naar hoogenergetisch vlak (P2c) en vice versa (Figuur 3.14). Opgemerkt wordt dat gebieden kleiner dan 0,5 ha niet beoordeeld zijn (dit betreft in totaal 2 ha van P1a1 naar P2c en 4 ha van P2c naar P1a1).

Op basis van de hierboven gestelde criteria wordt er slechts een klein deel van deze overgangen als zeer onwaarschijnlijk (0 punten) beschouwd (=3% van de beschouwde overgangen). Het grootste deel wordt als waarschijnlijk realistisch (3 punten) beschouwd (=41% van de beschouwde overgangen). Kijken we naar de betwistbare gebieden (2 of minder punten) dan bedragen de oppervlaktes voor de overgangen van P1a1 naar P2c 133 ha en de overgangen van P2c naar P1a1 143 ha. Dit is ongeveer 40 tot 30 ha minder dan het interpretatieverschil afgeleid uit de lineaire trend (175 ha) door Cleveringa (2014).

Eenzelfde exercitie is uitgevoerd voor de overgangen tussen 2010 en 2011, met sterk vergelijkbare resultaten. Er is 612 ha die overgaan van laag-energetisch vlak (P1a1) naar hoog energetisch vlak (P2c) en vice versa. Ongeveer 3% van deze overgangen wordt als zeer onrealistisch aangemerkt (0 punten). Terwijl 54 % (330 ha) als waarschijnlijk wordt aangemerkt (3 punten). Ook hier zien we dat het areaal van de betwistbare gebieden (2 of minder punten) iets lager liggen dan 175 ha maar overeenkomen met de verschillen tussen de kaart van 2011 en 2012. De vergelijkbaarheid tussen jaren geeft aan dat de betrouwbaarheid vrij constant is, zodat deze arbeidsintensieve methode niet bij elke kartering opnieuw toegepast hoeft te worden.



Figuur 3.14 Overgangen van P1a1 naar P2c (rood) of andersom (groen), van de geomorfologische kaart 2011 naar 2012. Geel is onveranderd. De punten zijn de veldopname-locaties van 2012. Bovenste kaart is het westelijk deel van de Westerschelde. Onderste kaart is het oostelijk deel van de Westerschelde

Diepen we bovenstaand resultaat nog iets verder uit dan zien we dat het criterium m.b.t. tot de ligging in heel veel gevallen (>90%) bijdraagt aan de betrouwbaarheid van de kartering (Tabel 3.11). Het criterium, aanwezigheid van aaneengesloten gebieden draagt in iets minder dan 60% van de gevallen bij, en veldopnames in slechts 1%. Hierbij wordt uitgegaan van een veldopname in beide jaren. Als een veldopname in alleen het laatste jaar als voldoende beschouwd wordt, dan is dit ongeveer 15%.

Tabel 3.11 Percentage gevallen waarin een punt is toegekend voor de individuele realiteitscriteria per overgang in de geomorfologische kaart 2011-2012. 'Veldopname' is alleen meegeteld als er een opname in beide jaren is geweest, tussen haakjes staat wat het percentage zou zijn als veldopnamen van alleen het laatste jaar gebruikt zouden worden.

	Percentage waarin een punt is toegekend (%)			
	Veldopname	Aaneengesloten	Eenduidig	Ligging
P1a1 naar P2c	1 (14)*	57	48	91
P2c naar P1a1	1 (17)*	58	31	94

* Percentage wanneer er slechts een veldopname in een jaar voldoende is

Het gebruik van slechts één veldopname is te rechtvaardigen op basis van de veronderstelling dat de voorgaande kartering eens in de voorgaande jaren wel in het veld gevalideerd is, en mede door het gebruik van de Oude Grenzen Methode, in die tijd niet gewijzigd is. Figuur 3.14 laat ook zien dat de meeste overgangen voorkomen in gebieden waar geen veldopnames plaatsvinden. Het is onbekend in hoeveel gevallen de kartering is bijgesteld op basis van veldopnames voor deze definitief werd. Op de Hooge Platen West liggen in 2012 bijvoorbeeld zowel P1a1, P2c als andere types in een grote polygoon getypeerd als P2a. Wanneer veldopnames gericht uitgevoerd kunnen worden uitgevoerd zodat moeilijk te karteren gebieden beter bemonsterd worden zou dit de nauwkeurigheid van de geomorfologische kaart, en daarmee de ecotopenkaart, verbeteren.

Methode 2: Kwantificeren nauwkeurigheid grenzen geomorfologische kaart 2011-2012

Waar de methodiek hiervoor de betrouwbaarheid van de inhoud van het gekarteerde oppervlak betreft, gaat deze methodiek over de nauwkeurigheid van het trekken van de grenzen. De Dienstbeschrijving geeft aan dat niet meer dan 5 m mag worden afgeweken van de precieze grens, maar omdat deze precieze grens vaak moeilijk te definiëren is kan de onnauwkeurigheid in de praktijk groter zijn. Deze fout heeft een onbekende systematische component, namelijk de waarnemersbias: de ene waarnemer zal de grens net iets meer naar het ene type trekken dan de andere. Deze is alleen te kwantificeren door een aantal waarnemers precies hetzelfde gebied te laten karteren, wat buiten de mogelijkheden van deze studie valt. Tegelijkertijd heeft deze fout een toevallige component, die gekwantificeerd kan worden middels inschattingen van experts. Deze toevallige fout geeft geen verkeerd beeld op lange termijn omdat dan inschattingen uitmiddelen, maar leidt wel tot ruis in de vergelijking tussen enkele jaren.

Een inschatting van Edwin Parée (dd 4-12-2014) geeft aan dat de nauwkeurigheid van een P1a1-grens circa 15 m is (minimaal 2 m, maximaal 50 m). Voor P2c is de nauwkeurigheid 5 m, met 1 m en 20 m als extremen. Ook andere typen kennen onnauwkeurigheden, maar voor de ecotopenkaart, is vooral het onderscheid tussen deze laag- en hoog energetische typen van belang. Een vertaling naar nauwkeurigheid van het gekarteerde oppervlak van deze typen is lastig vanwege de veelheid aan grenzen. Om een idee te geven van hoeveel oppervlak P1a1 en P2c er had kunnen zijn als de grenzen 15 m respectievelijk 5 m meer naar binnen of naar buiten zouden zijn getrokken, is de omtrek van alle gebieden van deze types vermenigvuldigd met hun gemiddelde onnauwkeurigheid. Dit geeft een indicatie van de gemiddelde toevallige fout. Zoals Tabel 3.12 laat zien, gaat het om aanzienlijke oppervlaktes.

Tabel 3.12 Toevallige fouten in het bepalen van de oppervlaktes van de geomorfologische kaart typen P1a1 en P2c in de gehele Westerschelde, gebaseerd op de omtrek en een expert-schatting van de gemiddelde fout in de grens.

geomorfologische kaart-type	Omtrek (m)	Oppervlak (ha)	Toevallige fout (m)	Toevallige fout (ha)	Toevallige fout (%)
P1a1	328209	2469	15	492	20
P2c	404577	1794	5	202	11

Deze methode is minder locatie specifiek voor de geomorfologische kaart typen P1a1 en P2c dan de methode gericht op het bepalen van de betrouwbaarheid van overgangen. Het geeft wel een zelfde ordegrootte aan.

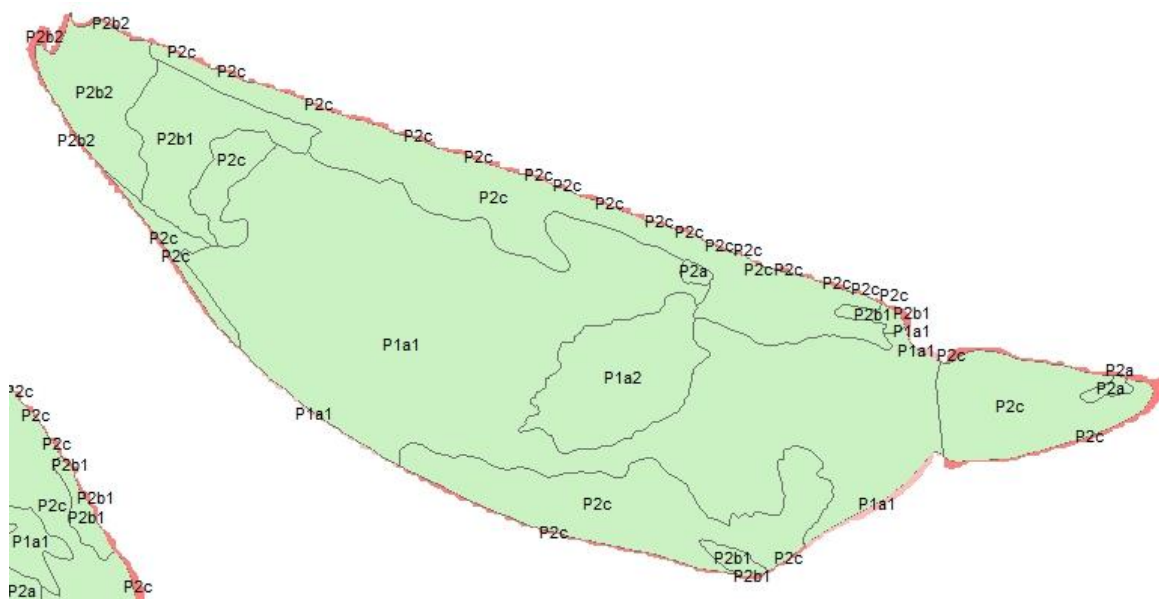
3.5.4 Nauwkeurigheid geomorfologische kaart

De nauwkeurigheid van de geomorfologische kaart werkt niet lineair door in de ecotopenkaart omdat de fouten in bijvoorbeeld bodemligging en droogvalduur ook invloed kunnen hebben. Een eenvoudige vertaling als 'een fout van 152 ha in de geomorfologische kaart betekent een fout van 152 ha in de ecotopenkaart' is niet te maken. Daarnaast zijn veranderingen in de droogvalduur ook van invloed om de geomorfologische kaart. De grens tussen het sublitoraal en het litoraal wordt immers bepaald door de droogvalduur. Het litorale gebied wordt groter bij een lagere droogvalduur grens dan 4 % en kleiner bij een hogere grenswaarde.

Daarom is naast de originele geomorfologische kaart van 2012 een tweede geomorfologische kaart gemaakt, waarin alle overgangen die als 'niet waarschijnlijk' (≤ 2 punten) zijn geclassificeerd, zijn teruggedraaid naar de typen in de geomorfologische kaart van 2011. Op deze kaart zijn in de verdere analyse dezelfde bewerkingen uitgevoerd als op de originele geomorfologische kaart. Het terugdraaien is alleen om de grootte van de verandering te kunnen kwantificeren; het impliceert niet dat dit de correcte geomorfologische kaart is. Vervolgens is het effect van de droogvalduur in zowel de originele als de aangepaste geomorfologische kaart verwerkt.

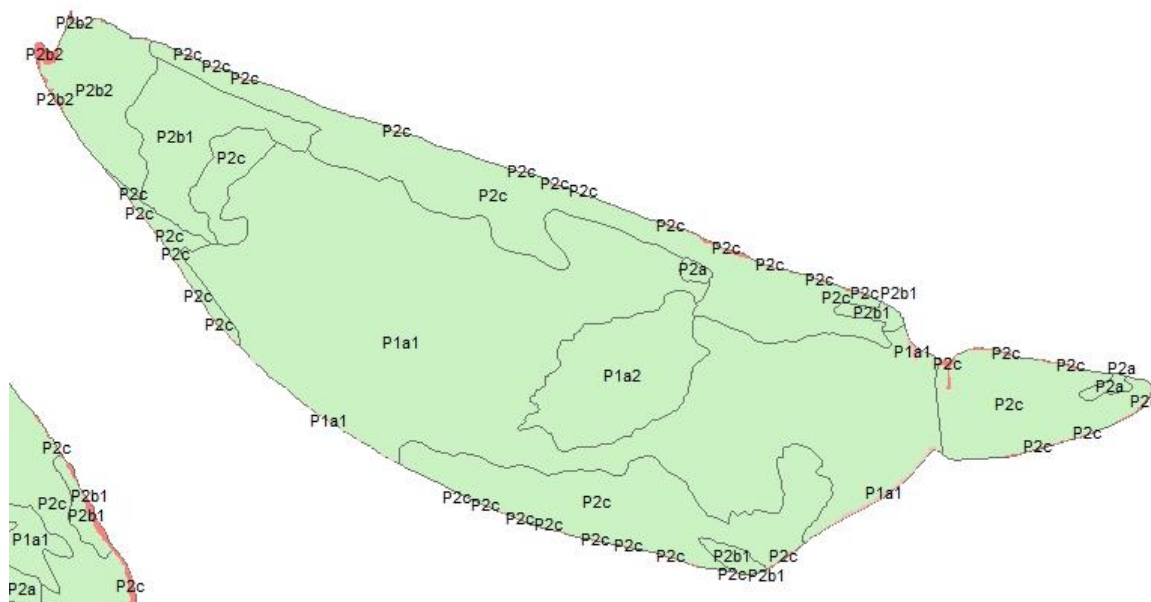
Doorwerking droogvalduur in de geomorfologische kaart

In de onderstaande figuren en tabellen is het effect van de minimale en maximale droogvalduur, zoals beschreven in paragraaf 3.3, weergegeven voor de geomorfologie. Dit is van belang voor het combineren van de geomorfologische kaart in de scenario's (hst 4). De onderstaande figuur geeft een voorbeeld van de originele geomorfologische kaart voor 2012 opgerekt naar de grens van 2,4 procent droogvalduur. Hiervoor is eerst de 2,4 procent droogvalduurlijn uit de droogvalduurkaart bepaald en vervolgens is deze samengevoegd met de originele geomorfologische kaart. Hierbij is de minimale omtrek van de geomorfologische kaart behouden en is daar waar de 2,4 procentlijn buiten de originele geomorfologische kaart lag opgerekt tot aan de 2,4 procentlijn. De nieuw verkregen gebieden hebben vervolgens de classificatie van de aanliggende gebieden gekregen.



Figuur 3.15 Voorbeeld van de tot de 2,4 procent droogvalduurlijn opgerekte geomorfologische kaart. In groen de originele kaart, in rood gekleurde vlakken de toegevoegde gebieden.

De geomorfologische kaart voor de 5,8 procent droogvalduur is op een gelijkaardige manier gemaakt. Hier zijn alle gebieden die binnen de 5,8 procentlijn liggen afgesneden van de originele geomorfologische kaart. Echter op sommige plekken lag de 5,8 procentlijn buiten de geomorfologische kaart hier is de oorspronkelijke grens van de geomorfologische kaart aangehouden.

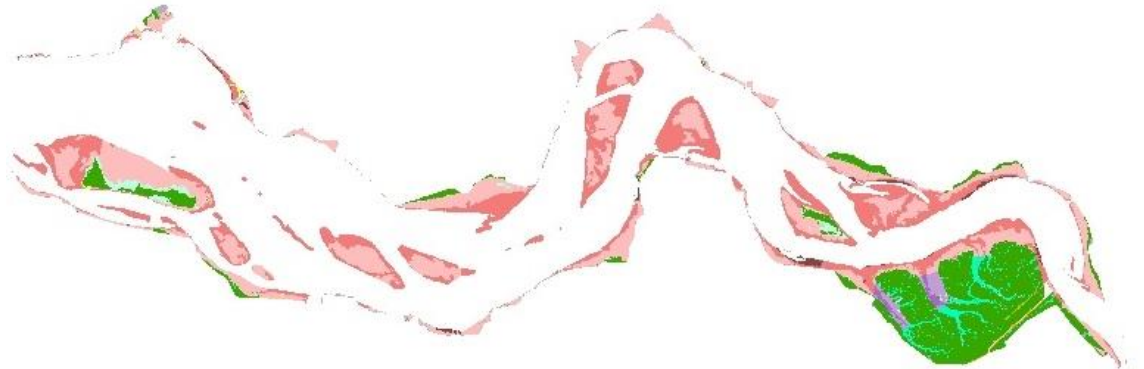


Figuur 3.16 Voorbeeld van de tot de 5,8 procent droogvalduurlijn afgesneden gebieden. In groen, de originele geomorfologische kaart, in rood de weggesneden gebieden.

Dit resulteert in de volgende inputkaarten voor de originele geomorfologische kaart.



Geomorfologische kaart bij 5,8 % droogvalduur



Geomorfologische kaart bij 4 % droogvalduur



Geomorfologische kaart bij 2,4 % droogvalduur

- D1 : Natuurlijke duinen
- D2 : Antropogene duinen (stuifdijken etc.)
- H1_ : Hard substraat veen-/kleibanken (onbegroeid)
- H2_ : Hard substraat antropogeen (glooiing, krib etc)
- K1_ : Laag energetische kreek (> 25m breed)
- K2_ : Hoog energetische kreek (>25m breed)
- P1_ : Laag energetische plaat
- P2_ : Hoog energetische plaat

P3	: Openwater (bodem zichtbaar)
S1_	: Begroeid schor/strand (gesloten, > 50% bedekking)
S2_	: Begroeid schor/strand (open, <50% bedekking)
S3_	: Schorkreek/sloot (<25m breed, onbegroeid)
O1	: Zanddam
O2	: Plateau/verhoging antropogeen
O3	: Wegen/paden
O4, O5	: Getijdenhaven

Figuur 3.17 : Geomorfologische kaarten voor respectievelijk 5, 8, 4 en 2,4 procent droogvalduur.

In de onderstaande tabel zijn voor beide droogvalduur scenario's de totale toegevoegde en afgesneden oppervlaktes per geomorfologische klasse weergegeven. Duidelijk is te zien dat een verlaging van de droogvalduur van 4 naar 2,4 procent een groter gebied toevoegt aan de geomorfologische kaart dan wat er af gaat bij een verhoging van 4 naar 5,8 procent droogvalduur. Dit verschil komt door de hoogtegradiënt in het gebied. De gradiënt van 2,4 naar 4 procent droogvalduur is vlakker dan de gradiënt van 4 naar 5,8 procent droogvalduur.

Tabel 3.13 Totaal overzicht oppervlak per klasse veranderd aan de originele geomorfologische kaart

geomorfologische kaart_klasse	Oppervlak [ha]	
	Min-variant Dvd 2,4 %	Plus-variant Dvd 5,8 %
H1ah	16,8	-7,7
H1bh	3,9	-1,6
H2a	6,6	-4,1
H2b	1,4	-5,9
H2c	0,3	
P1a1	27,6	-17,1
P1a2	17,8	-8,6
P2a	8,1	-2,6
P2b1	50,0	-17,1
P2b2	35,4	-13,3
P2c	107,7	-35,1
P2d2	0,4	
Totaal	276,0	-113,1

Opgemerkt wordt dat deze toename en afname in oppervlakte in de geomorfologische kaart ten gevolge van de min-variant en plus-variant van de droogvalduur niet precies overeenkomt met de oppervlakte verandering in het litoraal en sublitoraal ten gevolge van de droogvalduur zoals weergegeven in paragraaf 3.3.3 Tabel 3.4. Dit komt omdat we hier apart naar de invoerkaart kijken. De geomorfologische kaart bevat de 'werkelijke' laagwaterlijn. Deze lijn valt niet exact gelijk met de 4% droogvalduurlijn zoals bepaald voor de droogvalduurkaart. De ordegrrootte komt overeen echter de precieze waarde niet. Daarnaast is het hardsubstraat 'hard' in de geomorfologische kaart weergegeven ongeacht of dit nu (deels) in het sublitoraal ligt of niet. In het verwerkingsproces tot ecotopenkaart wordt dit opgelost door alles af te snijden op de 4% droogvalduurlijn en de afgesneden gebieden opnieuw toe te kennen aan het sublitoraal of het litoraal. Zie hiervoor de Lange *et al.* (2013).

Het bepalen van de geomorfologische kaart voor de plus- en min-variant van de droogvalduur is herhaald voor de aangepaste geomorfologische kaart. In totaal zijn er dus 6 geomorfologische kaarten opgesteld.

4 Scenario's per inputparameter

De ecotopen voor de Westerschelde worden bepaald aan de hand van een zestal kenmerkende abiotische parameters welke met elkaar gecombineerd worden tot een ecotopenkaart. Deze input parameters zijn in de voorgaande hoofdstukken uitgebreid beschreven.

Omdat de kaartlagen niet op een puur rekenkundige manier met elkaar gecombineerd worden maar volgens een set regels, is het niet mogelijk om de fout in de ecotopenkaart te bepalen middels een sommatie van de individuele fouten. Om toch een uitspraak over de grootte van de fout in de ecotopenkaart te kunnen doen is gekozen voor een aanpak gebaseerd op scenario's van foutencombinaties in de onderliggende kaarten. De in de voorgaande hoofdstukken bepaalde individuele fouten zijn de input voor deze scenario's, waarin de verschillende kaartlagen met of zonder hun mogelijke fout gecombineerd worden tot een ecotopenkaart. Door scenario's met en zonder fouten voor de verschillende kenmerkende parameters met elkaar te vergelijken levert dit een schatting voor de mogelijke fouten in de arealen aan ecotopen in de ecotopenkaart. Ook ontstaat een beeld van welke fouten in welke parameters de meeste invloed hebben op de precisie en nauwkeurigheid van de ecotopenkaarten.

Niet elke inputparameter heeft een effect op alle ecotopen in de hele Westerschelde. Dit komt doordat sommige ecotopen maar een paar inputparameters gebruiken. Zo worden de litorale en supralitorale ecotopen beïnvloed door de droogvalduur en de geomorfologische kaart. De sublitorale ecotopen worden voornamelijk beïnvloed door de bodemhoogte en de stroomsnelheid en in zeer kleine mate door de droogvalduur. Het is dus niet nodig om alle combinaties aan kaarten door te rekenen. Zo is het niet nodig om de aangepaste stroomsnelheidskaart te combineren met de geomorfologische kaart omdat het resultaat niet anders is dan de uitkomsten van de afzonderlijke scenario's. Op basis hiervan is er voor het bepalen van mogelijke effecten op de ecotopen van de Westerschelde als gevolg van onnauwkeurigheden in de inputkaarten een 21 tal scenario's opgesteld steeds met een systematisch variërende set aan inputparameters. De scenario's zijn weergegeven in de onderstaande tabel en schema.

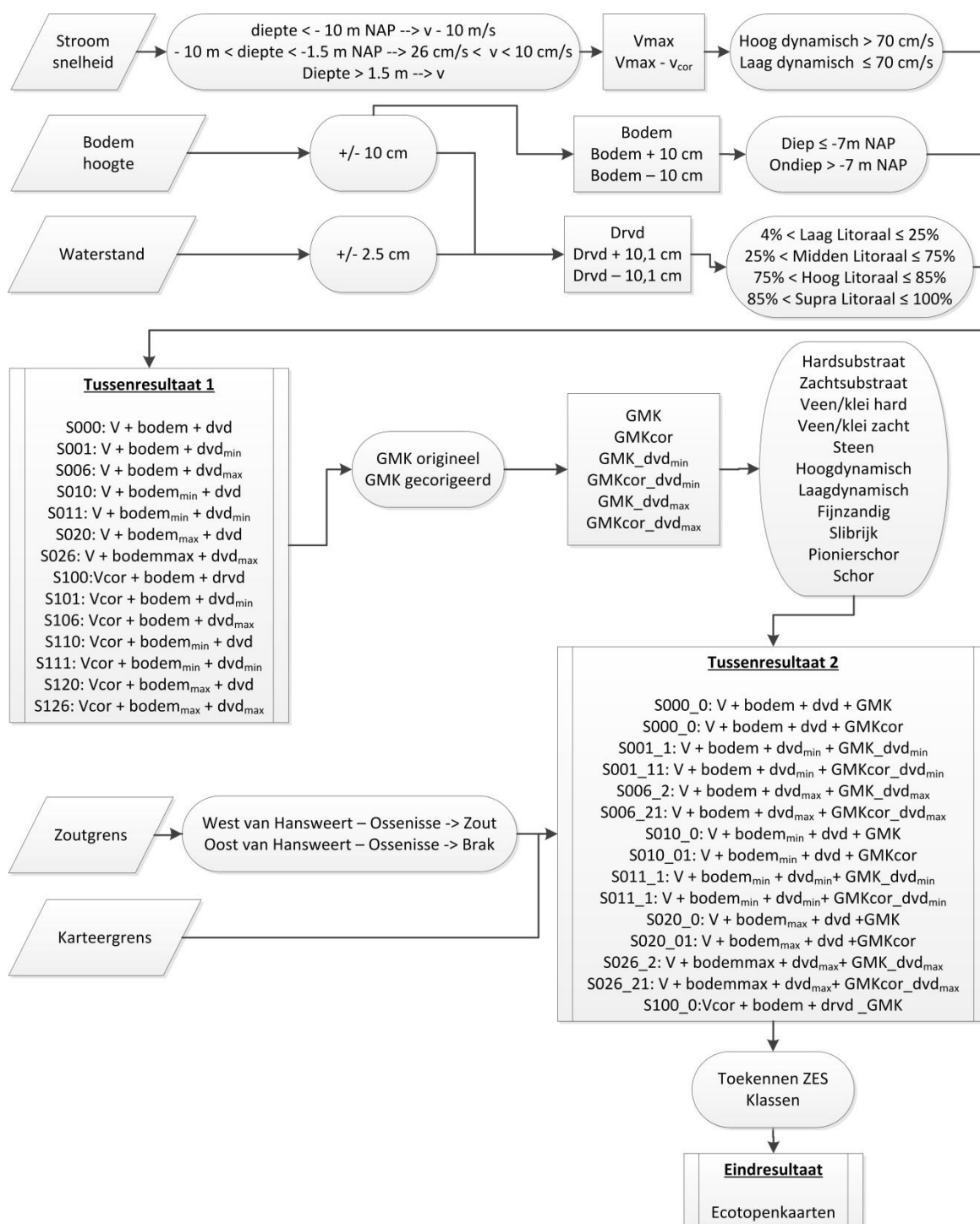
Tabel 4.1 Overzicht van alle scenario's voor het jaar 2012

Scenario	Tussenresultaat (stap 1)			Eindresultaat (stap 2 & 3)	Effect op
	Stroom- snelheid	Bodem- hoogte	Droog- valduur	Geomorfologie	
S000_0	Vmax	Bodem	Dvd	GMK	Origineel
S000_01	Vmax	Bodem	Dvd	GMKcor	Litoraal
S001_1	Vmax	Bodem	Dvd-	GMK2.4	Litoraal
S001_11	Vmax	Bodem	Dvd-	GMK2.4cor	Litoraal
S006_2	Vmax	Bodem	Dvd+	GMK5.8	Litoraal
S006_21	Vmax	Bodem	Dvd+	GMK5.8cor	Litoraal
S010_0	Vmax	Bodem-	Dvd	GMK	Sublitoraal
S010_01	Vmax	Bodem-	Dvd	GMKcor	Sub- + Litoraal
S011_1	Vmax	Bodem-	Dvd-	GMK2.4	Sub- + Litoraal
S011_11	Vmax	Bodem-	Dvd-	GMK2.4cor	Sub- + Litoraal
S020_0	Vmax	Bodem+	Dvd	GMK	Sublitoraal
S020_01	Vmax	Bodem+	Dvd	GMKcor	Sub- + Litoraal
S026_2	Vmax	Bodem+	Dvd+	GMK5.8	Sub- + Litoraal
S026_21	Vmax	Bodem+	Dvd+	GMK5.8cor	Sub- + Litoraal
S100_0	Vmax_new	Bodem	Dvd	GMK	Sublitoraal
S101	Vmax_new	<i>Bodem</i>	Dvd-		
S106	Vmax_new	<i>Bodem</i>	Dvd+		
S110_0	Vmax_new	Bodem-	Dvd		Sublitoraal
S111	Vmax_new	Bodem-	Dvd-		
S120_0	Vmax_new	Bodem+	Dvd		Sublitoraal
S126_2	Vmax_new	Bodem+	Dvd+		

Het ArcGIS Modelbuilder model rekent in 3 stappen waarbij in de eerste stap de combinatie van de stroomsnelheid, bodemhoogte en droogvalduur wordt gemaakt. In de tweede stap wordt de zoutgrens en de karteergrens aan het tussenresultaat toegevoegd. Waarna in de derde stap de omzetting naar de ecotopen plaatsvindt.

In de eerste tussenstap zijn zes scenario's opgenomen voor de combinaties van de aangepaste stroomsnelheid met de varianten voor de bodemhoogte en de droogvalduur. Omdat de combinatie met de geomorfologische kaart geen extra informatie oplevert ten opzichte van de reeds uitgevoerde scenario's is voor deze scenario's de 2^{de} en 3^{de} stap niet uitgevoerd.

De resultaten van de eerste tussenstap en tussenstap 2 en 3 (is het eindresultaat) zijn apart geanalyseerd



Figuur 4.1 Schematische modelweergave

5 Productieproces ecotopenkaarten

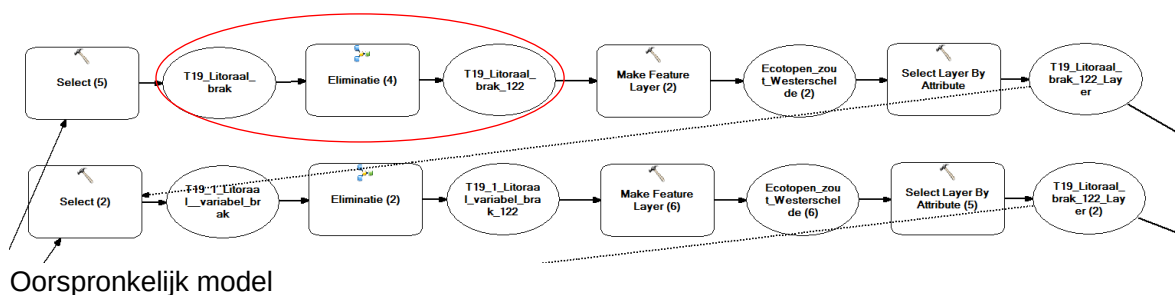
5.1 Inleiding

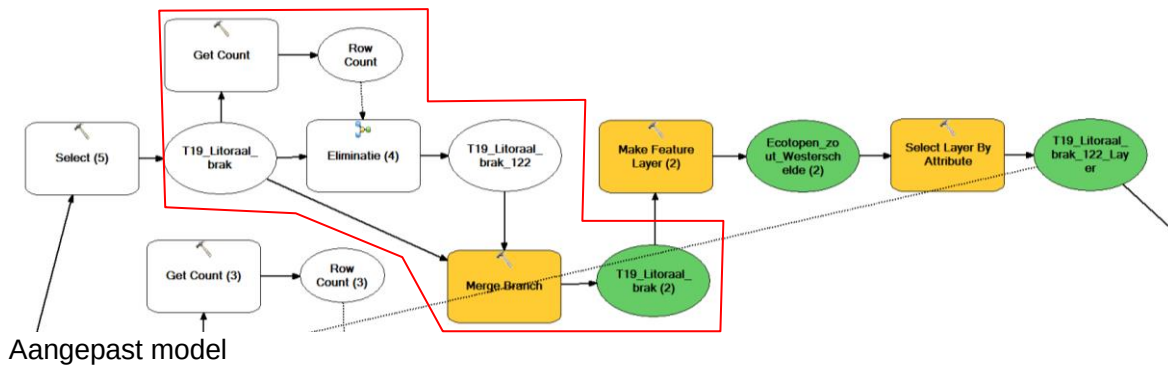
De ecotopenkaarten worden normaal gesproken eens per zes jaar gemaakt; vaker als daar behoefte aan is. Voor het productieproces van de ecotopenkaarten is het van belang dat elke ecotopenkaart reproduceerbaar is en steeds hetzelfde resultaat geeft. Daarom heeft Rijkswaterstaat Grontmij de opdracht gegeven om de werkwijze voor het vervaardigen van de ecotopenkaart te automatiseren. Hoe de inputparameterkaarten worden samengevoegd tot de uiteindelijke ecotopenkaart is vastgelegd in een ArcGIS Modelbuilder model (de Lange *et al.* 2013). Met dit model is de hele werkmethode voor het vervaardigen van de zoute ecotopenkaarten in beperkte tijd te doorlopen. Daarnaast is de werkmethode nu geautomatiseerd wat er voor gezorgd heeft dat, onafhankelijk door wie of waar het model wordt uitgevoerd, de stappen altijd op dezelfde wijze en in dezelfde volgorde worden uitgevoerd.

Aan de hand van de set kaarten voor 2012, de beschrijving van het handmatige proces in hoofdstuk drie van de documentatie voor de vervaardiging van de zoute ecotopenkaart (de Lange *et al.* 2013) en het model zelf is het productieproces voor het vervaardigen van de ecotopenkaart stapsgewijs doorlopen.

5.2 Model aanpassingen

Om het model draaiende te krijgen zijn er, ondanks dat dit in principe niet de bedoeling was, aanpassingen gemaakt: In tussenstap 2 is een check toegevoegd op de aanwezigheid van de categorieën, Litoraal_brak, Litoraal_variabel_brak, Litoraal_zout, Sublitoraal_brak, Sublitoraal_variabel_brak, Sublitoraal_zout, NoData en H2_Overig. In het aangeleverde model werd de 'Eliminatie' stap niet uitgevoerd wanneer dit een lege selectie betrof (zie rode cirkel Figuur 5.1, deel A). Dit is vervolgens opgelost door het aantal geselecteerde regels te tellen en dit als voorwaarde mee te geven aan de Eliminatie stap. Wanneer het een lege selectie betrof is de Eliminatie stap overgeslagen (zie rood vak Figuur 5.1 deel B).



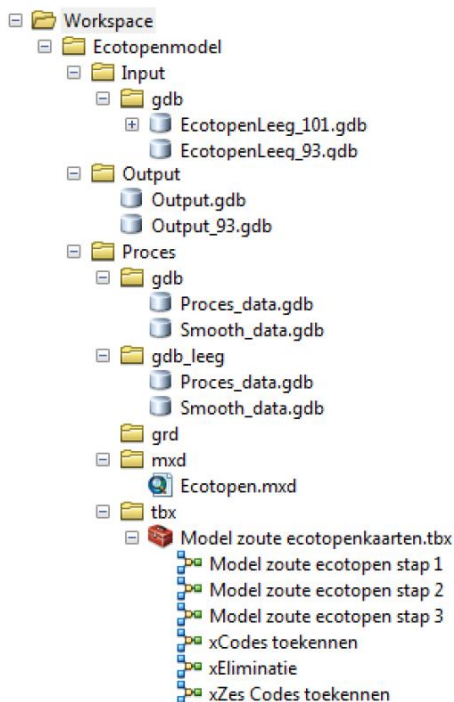


Figuur 5.1 Aangepassing modelstap3. Bovenste figuur (A) is het aangeleverde model. Onderste figuur (B) geeft het huidige model weer waarmee de run in deze studie zijn uitgevoerd. De kleuren in de figuur hebben geen betekenis.

Verder is gebleken dat er in het aangeleverde model gerekend werd met een grenswaarde van 0.8 m/s voor de stroomsnelheid i.p.v. 0.7 m/s. Deze grenswaarde voor de stroomsnelheid is in het aangeleverde model aangepast naar 0.7 m/s om de vergelijkbaarheid met de definitief door RWS uitgegeven ecotopenkaarten niet te verliezen. Om het model te draaien is een externe ET GeoWizard 10.2 licentie nodig.

5.3 Werkwijze van het model

Het model is stapsgewijs opgezet in een ArcGIS Modelbuilder model. Het model is opgesplitst in 3 hoofdmodellen (Model zoute ecotopen stap 1 t/m 3) en 3 submodellen (xCodes toekennen, xEliminatie en xZes Codes toekennen) met een voorgeschreven mappenstructuur (Figuur 5.2).



Figuur 5.2 Verplichte mappenstructuur en bestanden

Samen met de tussenresultaten 1 en 2 worden tussen de modelstappen een groot aantal bestanden tijdelijk opgeslagen. Deze dienen na elke modelstap handmatig gewist te worden door middel van het afsluiten van het ArcGis programma en specifieke mappen te verwijderen en vervolgens een 'schone' versie van de map te kopiëren en te hernoemen naar de gewenste map.

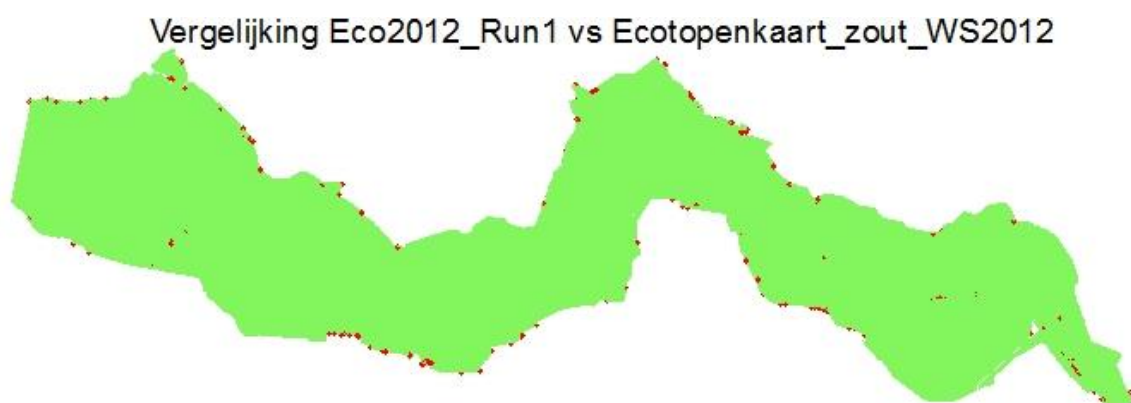
5.4 Analyse reproduceerbaarheid

Na de hierboven beschreven aanpassingen aan het model is de Ecotopenkaart voor 2012 vijf keer gemaakt met behulp van de basis input kaarten. Dit leverde vijf maal exact dezelfde kaart op. Wel is er sprake van een verschil tussen de aangeleverde Ecotopenkaart Westerschelde 2012 van RWS en de nieuw gemaakte Ecotopenkaart.

Tabel 5.1 Verschil tussen oorspronkelijke Ecotopenkaart 2012 aangeleverde door RWS en de nieuw gegenereerde ecotopenkaart 2012

Aangeleverde kaart vs Nieuwe run [ha]	
Oppervlak gelijk	31739,62
Oppervlak verschil	1,07
Totaal oppervlak	31740,69

Waar dit verschil precies door veroorzaakt wordt is niet direct duidelijk. Het zijn 'gaatjes', die door het model gegenereerd worden. In het ruimtelijke beeld is te zien dat deze verschillen voornamelijk optreden aan de randen van het gekarteerde gebied en op enkele overgangen tussen sublitoraal en litoraal (Figuur 5.3). De reden hiervan is niet duidelijk en het voert te ver om dit in het kader van deze studie uit te zoeken. Wanneer er in de toekomst vaker met dit model gewerkt gaat worden zal dit wel eerst uitgezocht moeten worden. In de verdere analyses is steeds vergeleken met het resultaat voor 2012 uit de modelberekening op basis van de oorspronkelijke invoerkaarten, het Nul-scenario (S000_0).



Figuur 5.3 Weergave verschillen origineel door RWS aangeleverde Ecotopenkaart 2012 en de nieuw verkregen kaart op basis van het aangeleverde model.

5.5 Analyse werkmethode

Door de Lange *et al.* (2013) is een werkwijze vervaardigd voor het opstellen van de zoute ecotopenkaarten. In de onderstaande paragraaf geven we enkele suggesties en opmerkingen ten aanzien van de huidige werkwijze.

In de huidige werkwijze wordt er gestart met een *Classificatie rasterbestanden (1)* waarin het hulpraster 'litoraal' wordt bepaald op basis van de droogvalduurkaart en een onderscheid maakt tussen het litoraal en sublitoraal. Argumentatie die gegeven wordt is dat de diepte alleen geldt in het sublitoraal en de droogvalduur enkel in het litoraal. Voor de grenswaarde wordt de 4% droogvalduur aangehouden. Dit klopt, echter de uiteindelijke grens tussen het litoraal en sublitoraal wordt niet bepaald door de Droogvalduurkaart (=gridkaart met rechte 20x20 cellen) maar door de Geomorfologische kaart (= een shape met vloeiende lijnen). Door gebruik te maken van het hulpraster 'litoraal' creëer je op de overgang tussen litoraal en sublitoraal veel kleine vlakjes die in een later stadium weer opgelost moeten worden. Het werken met het hulpraster Litoraal is in principe niet nodig.



Figuur 5.4 Voorbeeld van de 4 procent droogvalduur grensovergang tussen litoraal (geel) en sublitoraal (blauw). De grens moet overeenkomen met de grens van de geomorfologische kaart (zwarte lijn).

Wanneer je bij het bepalen van diep-ondiep de ondiepe zone niet begrenst bij het litoraal, krijg je een vlakdekkende kaart. Vervolgens voeg je hieraan de stroomsnelheid toe en bepaal je de categorieën diep-HD, diep-LD, ondiep-HD en ondiep-LD. Vervolgens zet je de gridkaart om naar een shape en met behulp van de geomorfologische kaart wis je het litorale deel uit de kaart. Vervolgens doe je een vergelijkbare stap voor de droogvalduur. Eerst bepaal je de verschillende droogvalduurklassen waarbij je de laagste klasse tot 25% droogvalduur door laat lopen in het sublitoraal. Dus i.p.v. af te snijden bij de 4% droogvalduur laat je het doorlopen tot 0%. Vervolgens zet je de gridkaart om naar een polygonenkaart en snij je met behulp van de geomorfologische kaart de litorale zone uit de kaart. Let hierbij wel op dat de geomorfologische kaart eerst is afgesneden op een nette 4% droogvalduurlijn voordat hij gebruikt wordt om de litorale zone eruit te snijden.

Wanneer je nu beide polygonenkaarten voor het sublitoraal en litoraal samenvoegt heb je de droogvalduur-diepte-dynamiek kaart verkregen en zijn alle stappen *Raster -> polygoon (2), Splitsing diepte en dvd (3.1), Eliminatie diepte (3.2), Eliminatie dvd (3.3), Uitwisseling DVD en DIEPTE (4)* overbodig. Omdat direct de diepte en de stroomsnelheid zijn samengevoegd in een kaart zijn de stappen *Dynamiek, Codes toekennen aan Dynamiek (7), en Samenvoegen DV_DIEPT en Dynamiek (8)* niet meer nodig. Ook de latere stap *Grens litoraal <-> sublitoraal gelijk maken aan geomorfologische kaart (9)* hoeft niet meer uitgevoerd te worden.

Enkel het samenvoegen van vakken met dezelfde code ('dissolve') en vervolgens omzetten naar ene kaart met meerdere delen ('multi-part to single-part') en de eliminatie van vlakken $<400\text{m}^2$ in het sublitoraal en vlakken $<1000\text{m}^2$ in het litoraal zal nog uitgevoerd moeten worden, inclusief het toekennen van de definitieve codes.

In de uiteindelijke ecotopenkaart valt alles wat hoogdynamisch sublitoraal is in één ecotoop en wordt er dus geen onderscheid meer gemaakt tussen diep of ondiep. De reden die gegeven wordt is dat het ecotoop ondiep-HD niet aanwezig kan zijn (de Lange *et al.* 2013). Tevens wordt aangegeven dat het hoogdynamische gebied zowel litoraal als sublitoraal als ecologisch arm wordt beschouwd. Het onderscheid in mate van droogvalduur voor het litoraal of diepte in het sublitoraal heeft daarom weinig zin (pers med Dick de Jong).

Vanuit het perspectief van nauwkeurigheid is deze omzetting merkwaardig omdat de bodemhoogte een hogere nauwkeurigheid kent dan de stroomsnelheidsberekening; een nauwkeurige parameter wordt hier dus overschreven door een minder nauwkeurige parameter. Daarnaast gebeurt deze aanpassing automatisch waardoor er geen zicht is of de omzetting niet plaatsvindt in een gebied wat echt tot de ondiepe zone gerekend moet worden. Het areaal diep wordt daarmee dus groter weergegeven dan het daadwerkelijk is. Idealiter zou het model hier informatie over moeten geven zodat door de expert beoordeeld kan worden of de aanpassing terecht is of niet.

6 Effecten ecotopenkaart 2012

Het resultaat van elk scenario, zoals weergegeven in hoofdstuk 4, wordt besproken aan de hand van **tussenresultaat 1** en het **eindresultaat**. Hierbij is tussenresultaat 1 het resultaat voordat de geomorfologische kaart wordt toegevoegd. Het eindresultaat is de uiteindelijke ecotopenkaart.

6.1 Resultaten Tussenresultaat 1

Het eerste tussenresultaat is nog geen ecotopenkaart maar is nog relatief eenvoudig omdat de geomorfologische kaart nog niet is toegevoegd en vrijwel één op één te vertalen is naar de ecotopenkaart. Omdat we voor tussenresultaat 1 nog niet kunnen spreken van een ecotopenkaart wordt er gesproken over klassen i.p.v. ecotopen. De verschillen met het basisscenario, de inputkaarten van 2012, in berekend areaal en percentage zijn per klasse en per scenario weergegeven (Tabel 6.1).

Tabel 6.1 Verschillen in berekend areaal (in hectare en percentage) tussen de berekende scenario's en het basisscenario (S000) weergegeven in de eerste kolom, uitgesplitst naar klasse. Bovenin de kolom is aangegeven welke parameters in het scenario gebruikt zijn. '0' staat voor de originele invoer, '-' voor de min-variant, '+' voor de plus-variant en 'new' voor de aangepaste variant voor de stroomsnelheid. De markeringen geven de hoogste waarden in hectare (roze) en procenten (paars) weer voor het litoraal en het sublitoraal.

Scenario	S000	S001	S006	S010	S011	S020	S026
Vmax	0	0	0	0	0	0	0
Bodem	0	0	0	-	-	+	+
Dvd	0	-	+	0	-	0	+
Klasse	ha	ha	%	ha	%	ha	%
Supralitoraal	3047	299	9,8	-94	-3,1	0	0,0
Laag litoraal	1399	-41	-3,0	69	4,9	0	0,0
Midden litoraal	5698	-9	-0,2	-42	-0,7	0	0,0
Hoog litoraal	949	-75	-7,9	-11	-1,1	0	0,0
HD diep	14959	6	0,0	-3	0,0	114	0,8
HD ondiep	4870	-129	-2,6	60	1,2	-114	-2,3
LD diep	349	2	0,6	-1	-0,4	5	1,5
LD ondiep	469	-53	-11,4	23	4,8	-5	-1,1

Vervolg Tabel 6.1

Scenario	S100	S101	S106	S110	S111	S120	S126
Vmax	new	new	new	new	new	new	new
Bodem	0	0	0	-	-	+	+
Dvd	0	-	+	0	-	0	+
Klasse	ha	%	ha	%	ha	%	ha
Supralitoraal	0	0,0	299	9,8	-94	-3,1	0
Laag litoraal	0	0,0	-41	-3,0	69	4,9	0
Midden litoraal	0	0,0	-9	-0,2	-42	-0,7	0
Hoog litoraal	0	0,0	-75	-7,9	-11	-1,1	0
HD diep	194	1,3	202	1,3	190	1,3	312
HD ondiep	378	7,8	209	4,3	453	9,3	260
LD diep	-194	-55,5	-194	-55,6	-194	-55,7	-193
LD ondiep	-378	-80,6	-392	-83,5	-370	-78,9	-379

6.1.1 Verschillen per klasse op basis van Tussenresultaat 1

Litorale gebieden

De veranderingen in het areaal litoraal en supralitoraal wordt in tussenresultaat 1 alleen door de droogvalduur bepaald (S001 en S006 in Tabel 6.1). De grootte van het effect van de verschuiving van de droogvalduurgrenzen wordt sterk bepaald door de hoogte gradiënt in de gebieden. Immers een steile gradiënt zorgt voor een kleinere verandering in oppervlak dan een vlakke gradiënt.

Een verlaging van de droogvalduurgrenzen heeft relatief gezien het meeste effect op het supralitoraal (9,8%) gevolgd door het hoog litoraal (-7,9%) terwijl een verhoging van de droogvalduurgrenzen het meeste effect heeft op het laag litoraal (4,9%).

Supralitoraal

De grootste verandering in de litorale gebieden ten opzichte van het basisscenario, zowel in absolute als relatieve zin, is een toename van 299 ha (9,8%) voor het supralitoraal welke wordt veroorzaakt door de verlaging van de droogvalduurgrenzen (min-variant; S001). Deze toename in het areaal supralitoraal gaat ten koste van het lager gelegen litoraal. De hogere droogvalduurgrenzen (plus-variant; S006) resulteren in een afname van het supralitoraal met 94 ha (-3,1%).

Hoog litoraal en midden litoraal

Het areaal hoog litoraal neemt zowel bij een verlaging als een verhoging van de droogvalduurgrenzen af, respectievelijk -75 ha (-7,9%) en -11 ha (-1,1%). Ook het areaal midden litoraal neemt zowel bij een verlaging als een verhoging van de droogvalduurgrenzen af, respectievelijk -9 ha (-0,2%) en -42 ha (-0,7%). De oppervlaktes zijn hier alleen zeer klein, zeker relatief gezien.

Laag litoraal

Opvallend is dat het areaal laag litoraal af neemt bij een verlaging van de droogvalduurgrenzen met 41 ha (-3,0%) en toeneemt met 69 ha (4,9%) bij een verhoging van de droogvalduurgrenzen. De oorzaak hiervan is de hoogte gradiënt van ondiep water naar midden hoog litoraal. De overgang van ondiep water naar laag litoraal is steiler dan de overgang van laag litoraal naar midden litoraal. Hierdoor levert een verlaging van de laagste gelegen droogvalduurgrens minder areaal winst op dan er aan verlies optreedt ten gevolge van de verlaging van de hoger gelegen droogvalduur grens.

Sublitorale gebieden

De stroomsnelheid is in zowel de diepe als de ondiepe gebieden bepalend voor het onderscheid tussen hoog- en laagdynamisch. Daarnaast wordt het areaal ondiep ook bepaald door de droogvalduur en de bodemligging (alle scenario's). Het areaal diep wordt daarnaast enkel bepaald door de bodemligging (scenario's S010, S020, S100, S110 en S120).

De grootste verandering in hectares in het sublitoraal treedt op in het areaal hoogdynamisch ondiep (een toename van 569 ha) bij een combinatie van een aanpassing van de stroomsnelheid, de min-variant van de bodemligging en de plus-variant van de droogvalduur (S126). Procentueel gezien is het effect van de stroomsnelheid in combinatie met lagere droogvalduurgrenzen (S101) op het areaal laagdynamisch ondiep het grootst (een afname van circa 83,5%).

Hoogdynamisch diep

Het areaal hoogdynamisch diep wordt niet door droogvalduur bepaald, wel sterk door bodemligging en stroomsnelheid. Opgemerkt wordt dat er voor de droogvalduur varianten wel een kleine verandering in ha is weergegeven. Dit komt waarschijnlijk door randen en zijn geen werkelijke veranderingen. Relatief gezien zijn dit veranderingen van 0 procent.

Het areaal hoogdynamisch diep is het meest gevoelig voor een combinatie van de aanpassing van de stroomsnelheid en verlaging van de bodemhoogte (S110). Deze combinatie zorgt voor een toename in het hoogdynamisch diep areaal van 312 ha (2,1%), terwijl een hogere bodem in combinatie met de hogere stroomsnelheid (S120) zorgt voor een toename van 78 ha (0,5%). Enkel de aanpassing van de stroomsnelheid (S100) geeft slechts een toename van 194 ha hoogdynamisch diep gebied (1,3%), ten koste van hetzelfde oppervlak aan laagdynamisch diep gebied. Een lagere bodem (S010) zorgt ook voor een toename van het areaal hoogdynamisch diep (114 ha 0,8%). Een hogere bodem (S020) zorgt juist voor een vermindering van het areaal met 111 ha (-0,7%).

Hoogdynamisch ondiep

Het hoogdynamisch ondiep wordt wel wezenlijk door de droogvalduur bepaald, naast de bodemhoogte en de stroomsnelheid.

De grootste verandering binnen het hoogdynamisch ondiepe gebied is de toename van 569 ha. Deze toename treedt op bij een combinatie van verhoogde droogvalduurgrenzen, verhoogde bodemhoogte en de aangepaste stroomsnelheid (S126). Deze verandering in het hoogdynamisch ondiep is ook procentueel de grootste (11,7%). De afzonderlijke parameters zorgen voor kleinere veranderingen. Zo zorgt een verlaging van de droogvalduurgrenzen (S001) voor een afname van 129 ha (-2,6%) hoogdynamisch ondiep, terwijl de variant met de hogere droogvalduurgrenzen (S006) voor een toename van 60 ha (1,2%) zorgt. Een verandering in bodemhoogte, zowel een verhoging als een verlaging (S010 & S020), zorgt voor een uitwisseling van areaal hoogdynamisch ondiep naar areaal hoogdynamisch diep (circa 113 ha 2,3%). De aanpassing van de stroomsnelheid (S100) geeft een toename van het areaal hoogdynamisch ondiep (378 ha) en gaat, net als in het diepe areaal, ook rechtstreeks ten koste van het laagdynamische areaal. Echter is het effect voor het areaal hoogdynamisch ondiep groter (7,8%) dan voor het areaal hoogdynamisch diep (1,3%) dit, omdat het totale areaal hoogdynamisch ondiep kleiner is.

Laagdynamisch diep

Het areaal laagdynamisch diep is, net als het hoogdynamisch diep gebied, niet gevoelig voor de droogvalduur. Ook de plus- en minvarianten voor de bodemhoogte (S010 en S020) en de combinatie van bodemhoogte en droogvalduur (S011 en S026) geven weinig tot geen verschillen in hectares ten opzichte van het basisscenario (± 5 ha, respectievelijk ± 7 ha). Omdat het hier een klein areaal betreft (slechts 349 ha) is het effect wel degelijk aanwezig (respectievelijk $\pm 1,5$ of 2,1%)

De aangepaste stroomsnelheid (S100) heeft het grootste effect op het areaal laagdynamisch diep met een afname van circa 195 ha (55%). De combinatie met de veranderde bodemligging levert extra verandering.

Laagdynamisch ondiep

Het areaal laagdynamisch ondiep wordt voornamelijk beïnvloed door de stroomsnelheid al is de droogvalduur ook van belang. De grootste veranderingen treden op bij een verlaging van de droogvalduur in combinatie met de aangepaste stroomsnelheid (S101). Dit zorgt voor een

afname van 392 ha (83,5%). Enkel de aangepaste stroomsnelheid geeft een verlaging van 378 ha (80,6%). Alleen lagere droogvalduurgrenzen leidt tot een afname van 53 ha (-11,4%), terwijl hogere droogvalduurgrenzen leiden tot een toename van 23 ha (+4,8%).

6.1.2 Verschillen per scenario

De verschillen tussen de scenario's en het basisscenario zijn een maat voor hoe sterk een verhoging of een verlaging van een individuele parameter door kan werken in de verschillende klassen.

S010 en S020 (Bodemligging)

Doordat de bodemligging in de ecotopenkaarten-systematiek als aparte parameter wordt ingelezen en dus niet direct bepalend is voor de droogvalduur, heeft de bodemligging in de scenario's S020 en S010 alleen effect op het sublitoraal. De bodemligging heeft vooral effect op de verdeling tussen hoogdynamisch diep en hoogdynamisch ondiep. Dit effect is vrijwel symmetrisch, ter grootte van 114 (S010) en -111 (S020) ha. De bodemligging heeft nauwelijks effect (± 5 ha) op de laagdynamische gebieden, en geen effect op het supralitoraal en litoraal.

S001 en S006 (Droogvalduur)

De droogvalduur heeft vooral invloed op het supralitoraal en in mindere mate in het litoraal. Daarnaast bepaalt een hogere of lagere waarde van de laagste droogvalduurgrens of een gebied in het lage litoraal of in het ondiepe sublitoraal valt. De droogvalduur beïnvloedt daarmee ook het ondiepe sublitoraal.

S026 en S011 (Bodemligging en droogvalduur)

De oppervlakte die wordt beïnvloed door de combinatie van bodemligging en droogvalduur is een samenvoeging van de mogelijke fouten in oppervlaktes door bodemligging en droogvalduur. Deze combinatie heeft het meeste effect op het hoogdynamisch ondiepe gebied (-242 ha S011 en 171 ha S020).

S100 (Stroomsnelheid)

De aanpassing van de stroomsnelheid werkt het sterkst door in de ondiepe gebieden (± 378 ha; directe uitwisseling tussen hoogdynamisch en laagdynamisch). Het effect op de diepe gebieden is kleiner (± 194 ha; eveneens directe uitwisseling tussen hoogdynamisch en laagdynamisch), zeker in relatieve zin gezien het totale oppervlak van deze gebieden. Er is geen effect op de (supra)litorale gebieden aangezien deze boven water liggen.

S110 en S120 (Bodemligging en stroomsnelheid)

Er treedt enkel een effect op in de sublitorale gebieden, waarbij het effect van bodemligging en stroomsnelheid elkaar versterken in het hoogdynamische diepe gebied. In de laagdynamische gebieden is de verandering in de bodem ondergeschikt aan de verandering in de stroomsnelheid.

S101 en S106 (Droogvalduur en stroomsnelheid)

De combinatie van droogvalduur en stroomsnelheid beïnvloedt alle ecotopen, en leidt daardoor tot de grootste verschillen t.o.v. de originele situatie.

S111 en S126 (Droogvalduur, bodem en stroomsnelheid)

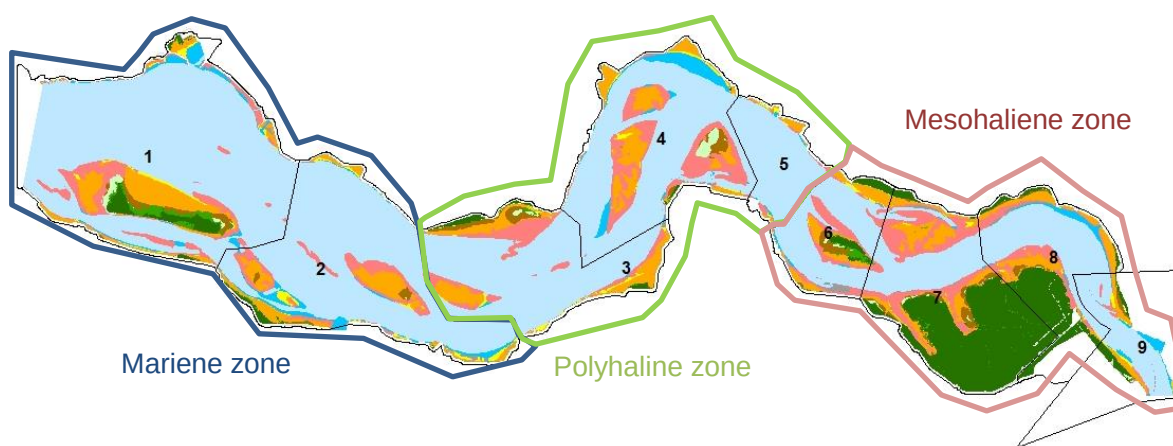
Hoewel in deze combinatie de drie factoren samenkomen is het effect kleiner dan voor het gecombineerde effect van de stroomsnelheid en de droogvalduur (S101 en S106).

6.2 Eindresultaat de Ecotopen

In de voorgaande paragraaf zijn de effecten besproken van tussenresultaat 1, dus voordat de combinatie is gemaakt met de geomorfologische kaart. In deze paragraaf zijn beide varianten van de geomorfologische kaart (origineel & aangepast) toegevoegd voor het verkrijgen van het eindresultaat, de ecotopenkaart.

Zoals in hoofdstuk 4 aangegeven zijn er 13 scenario's opgenomen voor de combinaties van varianten voor stroomsnelheid, bodemhoogte en droogvalduur. Aangezien de combinaties met de aangepaste stroomsnelheid geen nieuwe informatie geven tov van de combinaties met de originele stroomsnelheid. Zijn er enkel ecotopenkaarten gemaakt voor combinaties op basis van de originele invoer, aangepast geomorfologische kaart, plus- en min variant droogvalduur en plus- en min variant bodemhoogte. Voor de stroomsnelheid nieuw is enkel een combinatie gemaakt met de originele invoer voor droogvalduur, bodemhoogte en geomorfologie.

De grootte en type ecotoop verandert langs de Westerschelde. Voor een beter begrip waar in de Westerschelde welke invoerparameters sturend zijn voor de nauwkeurigheid van de ecotopen, zijn de verschillen van de scenario's ten opzichte van de originele situatie bepaald voor 3 zones opgedeeld naar zout en variabel brak en naar getijregime in de vorm van samengevoegde de OMES segmenten. Segment 1 en 2 vormen de mariene zone, segment 3,4 en 5 de polyhaline zone en segment 6, 7, 8 en 9 de mesohaliene zone.



Figuur 6.1 Vakindeling op basis waarvan de resultaten zijn geanalyseerd.

Om inzicht te krijgen in welke ecotopen er gevoelig zijn voor mogelijke onnauwkeurigheden in de invoerparameters en welke ecotopen 'robuster' zijn is er een sortering gemaakt tussen ongevoelige en meest gevoelige ecotopen op basis van het verschilpercentage ten opzichte van het basisscenario. Hierbij is er voor gekozen om de volgende verdeling aan te houden.

Tabel 6.2 Indeling mate van gevoeligheid op basis van het relatieve verschil ten opzichte van het basis scenario.

Relatief verschil (%)	Mate van gevoeligheid
< -/+ 5	Ongevoelig
-/+ 5-10	Iets gevoelig
-/+ 10-20	Gevoelig
> -/+ 20	Heel gevoelig

6.2.1 Ecotopen in de zoute zone

Zoals eerder aangegeven is er in deze studie uitgegaan van mogelijke min- en plus-varianten van de invoerparameters met als doel om een schatting te kunnen maken van de nauwkeurigheid van de ecotopenkaart. We geven nadrukkelijk aan dat de onderstaande resultaten de mogelijke range in procenten en ha per ecotoop weergeven. En dat ondanks dat er een heel aantal scenario's (13) zijn doorgerekend is er gekozen om geen gemiddelde te berekenen over alle scenario's. Hiervoor is een aanpak met meer varianten per invoerparameter meer geschikt. Denk bijvoorbeeld aan een Monte Carlo gerichte aanpak. Hiervoor was het ArcGIS Modelbuilder model echter niet geschikt. Desondanks geven de onderstaande resultaten wel een goed beeld van welke ecotopen gevoelig zijn voor de nauwkeurigheid van de invoerparameters.

In Tabel 6.3 zijn de grootste verschillen (positief en negatief) ten opzichte van het basisscenario voor het meest westelijke deel van de Westerschelde (segment 1 & 2) weergegeven. De verschiloppervlaktes per ecotoop voor alle scenario's zijn weergegeven in bijlage B.1.

Tabel 6.3 Het grootste negatieve en positieve verschil per ecotoop in het meest westelijke deel van de Westerschelde als percentage van het totale beschikbare oppervlak.

Gevoeligheidsklasse	Ecotoop		Totaal oppervlak [ha]	Verschil negatief		Verschil positief	
				[%]	Meest sturende parameter	[%]	Meest sturende parameter
Niet gevoelig (0%)	overig	Overig	33	0		0	
	Z2.x22	Schor	256	0		0	
Ongevoelig (< +/- 5%)	Z2.x21	Pionierzone	141	0		0,1	Droogvalduur
	Z2.222s	Laagdynamisch middenlitoraal, slibrijk	396	-1,5	Droogvalduur	0	
	Z2.222f	Laagdynamisch middenlitoraal, fijnzandig	689	-2,0	Droogvalduur	0,0	
	Z2.11x	Hoogdynamisch sublitoraal	9645	-0,8	Droogvalduur	2,7	Stroomsnelheid
	Z2.221f	Laagdynamisch laaglitoraal, fijnzandig	95	-2,4	Droogvalduur	3,0	Droogvalduur
Iets gevoelig (+/- 5-10%)	Z2.21f	Hoogdynamisch litoraal	903	-2,8	Droogvalduur	6,9	Droogvalduur
	Z1.2x1	Hard substraat steen	77	-4,6	Droogvalduur	5,2	Droogvalduur
	Z2.223f	Laagdynamisch hooglitoraal, fijnzandig	95	-7,8	Droogvalduur	6,3	Droogvalduur
	Z2.221s	Laagdynamisch laaglitoraal, slibrijk	59	-6,8	Droogvalduur	7,7	Droogvalduur
Gevoelig (+/- 10-20%)	Z1.2x2h	Hard substraat veen/klei	29	-6,5	Droogvalduur	14,3	Droogvalduur
	Z2.223s	Laagdynamisch hooglitoraal, slibrijk	52	-12,5	Droogvalduur	15,2	Droogvalduur
Heel gevoelig (> +/- 20%)	Z2.122x	Laagdynamisch sublitoraal, diep	121	-51,6	Stroomsnelheid	1,3	Bodem
	Z2.31x	Hoogdynamisch supralitoraal	30	-14,2	Droogvalduur	54,4	Droogvalduur
	Z2.123x	Laagdynamisch sublitoraal, ondiep	246	-80,0	Stroomsnelheid	11,2	Droogvalduur
	Z2.320	Laagdynamisch supralitoraal	35	-22,5	Droogvalduur	103,9	Droogvalduur

Het supralitoraal en het laagdynamisch sublitoraal zijn het meest gevoelig voor de nauwkeurigheid van de invoerparameters. Waarbij het supralitoraal voornamelijk wordt beïnvloed door de nauwkeurigheid in de droogvalduur en het sublitoraal door de nauwkeurigheid in de stroomsnelheid.

De pionierzone, het laagdynamisch middenlitoraal, hoogdynamisch sublitoraal en het laagdynamisch laaglitoraal fijnzandig zijn het minst gevoelig voor onnauwkeurigheden in de invoerparameters. De verschillen worden voornamelijk bepaald door de nauwkeurigheid in de droogvalduur en enkel in het sublitoraal ook door de stroomsnelheid.

Het totale oppervlak binnen dit deel van de Westerschelde van de ecotopen overig, hardsubstraat veen/klei in het supralitoraal en schor verschilt niet met het basisscenario.

6.2.2 Ecotopen in de polyhaliene zone

In Tabel 6.4 zijn de grootste verschillen (positief en negatief) ten opzichte van het basisscenario voor het midden deel van de Westerschelde (segment 3, 4 & 5) weergegeven. De verschiloppervlaktes per ecotoop voor alle scenario's zijn weergegeven in bijlage B.2.

Ook in het midden deel van de Westerschelde zijn de supralitorale en de sublitorale ecotopen het meest gevoelig voor onnauwkeurigheden in de invoerparameters. Echter in deze zone vertonen ook het fijnzandig laag litoraal en hoog litoraal voor meer dan 20% een verschil ten opzichte van het basisscenario. De droogvalduur in het litorale deel en de stroomsnelheid in het sublitorale deel zorgen voor de meeste gevoeligheid.

Het minst gevoelig zijn nu ook het schor, het laagdynamisch middenlitoraal, hoogdynamisch sublitoraal, laagdynamisch laaglitoraal aangevuld met het hoogdynamisch litoraal.

Het totale oppervlak binnen dit deel van de Westerschelde aan overige ecotopen en pionierzone verschilt niet met het.

Tabel 6.4 Het grootste negatieve en positieve verschil per ecotoop in het midden deel van de Westerschelde als percentage van het totale beschikbare oppervlak.

Gevoeligheidsklasse	Ecotoop		Totaal oppervlak [ha]	Verschil negatief		Verschil positief	
				[%]	Meest sturende parameter	[%]	Meest sturende parameter
Niet gevoelig (spreiding 0%)	overig	Overig	1	0		0	
	Z2.x21	Pionierzone	16	0		0	
Ongevoelig (spreiding < +/- 5%)	Z2.x22	Schor	74	-0,1	Droogvalduur	0,0	
	Z2.222f	Laagdynamisch middenlitoraal, fijnzandig	706	-1,0	Geomorfologie	1,9	geomorfologie
	Z2.11x	Hoogdynamisch sublitoraal	6510	-1,1	Droogvalduur	3,1	Stroomsnelheid
	Z2.221s	Laagdynamisch laaglitoraal, slibrijk	42	-1,0	Droogvalduur	3,7	Droogvalduur
	Z2.21f	Hoogdynamisch litoraal	1198	-2,2	Droogvalduur	4,5	Droogvalduur
	Z2.222s	Laagdynamisch middenlitoraal, slibrijk	278	-4,6	Droogvalduur	2,8	Droogvalduur
Iets gevoelig (spreiding +/- 5-10%)							
Gevoelig (spreiding +/- 10-20%)	Z2.223s	Laagdynamisch hooglitoraal, slibrijk	112	-10,5	Droogvalduur	0,0	Droogvalduur
Heel gevoelig (spreiding > +/- 20%)	Z2.221f	Laagdynamisch laaglitoraal, fijnzandig	64	-20,3	Droogvalduur	14,4	geomorfologie
	Z2.223f	Laagdynamisch hooglitoraal, fijnzandig	58	-28,6	Droogvalduur	19,8	Droogvalduur
	Z1.2x2h	Hard substraat veen/klei	10	-11,6	Droogvalduur	44,7	Droogvalduur
	Z2.122x	Laagdynamisch sublitoraal, diep	135	-66,1	Stroomsnelheid	3,0	Bodem
	Z1.2x1	Hard substraat steen	59	-4,3	Droogvalduur	66,0	Droogvalduur
	Z2.123x	Laagdynamisch sublitoraal, ondiep	137	-80,8	Stroomsnelheid	7,8	Droogvalduur
	Z2.31x	Hoogdynamisch supralitoraal	19	-30,3	Geomorfologie	67,4	Droogvalduur
	Z2.320	Laagdynamisch supralitoraal	63	-39,2	Droogvalduur	94,9	Droogvalduur

6.2.3 Ecotopen in de mesohaliene zone

In Tabel 6.5 zijn de grootste verschillen (positief en negatief) ten opzichte van het basisscenario voor het oostelijk deel van de Westerschelde (segment 6, 7, 8 & 9) weergegeven. De verschiloppervlaktes per ecotoop voor alle scenario's zijn weergegeven bijlage B.3.

Net als in de voorgaande zones treden de grootste relatieve verschillen op in het supralitoraal en het sublitoraal. Deze verschillen worden voornamelijk veroorzaakt door onnauwkeurigheden in de droogvalduur en de stroomsnelheid. De minste verschillen treden op in het schor, pionierzone en het hoogdynamisch sublitoraal. Het verschil wordt hier voornamelijk veroorzaakt door de droogvalduur en de stroomsnelheid.

De overige ecotopen laten voor alle scenario's geen verschil zien t.o.v. van de basisscenario's.

Tabel 6.5 Het grootste negatieve en positieve verschil per ecotoop in het oostelijk deel van de Westerschelde als percentage van het totale beschikbare oppervlak

Gevoeligheidsklasse	Ecotoop		Totaal oppervlak [ha]	Verschil negatief		Verschil positief	
				[%]	Meest sturende parameter	[%]	Meest sturende parameter
Niet gevoelig (spreiding 0%)	overig	Overig	45	0		0	
Ongevoelig (spreiding < +/- 5%)	V2.x22	Schor	2691	0,0		0,0	
	V2.x21	Pionierzone	82	-0,1	Droogvalduur	0,1	Droogvalduur
	V2.11x	Hoogdynamisch sublitoraal	3656	-1,7	Droogvalduur	2,9	Stroomsnelheid
Iets gevoelig (spreiding +/- 5-10%)	V2.223f	Laagdynamisch hooglitoraal, fijnzandig	146	-6,7	Droogvalduur	0,1	Geomorfologie
	V2.21f	Hoogdynamisch litoraal	1233	-1,4	Droogvalduur	6,2	Droogvalduur
	V1.2x1	Hard substraat steen	45	-7,2	Droogvalduur	1,2	Droogvalduur
	V2.222f	Laagdynamisch middenlitoraal, fijnzandig	609	-7,5	Geomorfologie	1,2	Geomorfologie
	V2.222s	Laagdynamisch middenlitoraal, slibrijk	385	-6,9	Droogvalduur	2,7	Droogvalduur
Gevoelig (spreiding +/- 10-20%)	V1.2x2h	Hard substraat veen/klei	91	-6,7	Droogvalduur	12,3	Droogvalduur
	V2.223s	Laagdynamisch hooglitoraal, slibrijk	82	-10,5	Droogvalduur	13,3	Droogvalduur
	V2.221s	Laagdynamisch laaglitoraal, slibrijk	18	-12,9	Droogvalduur	16,1	Droogvalduur
	V2.221f	Laagdynamisch laaglitoraal, fijnzandig	45	-17,1	Droogvalduur	18,9	Geomorfologie
Niet gevoelig (spreiding > +/- 20%)	V2.122x	Laagdynamisch sublitoraal, diep	83	-48,4	Stroomsnelheid	0,6	Bodem
	V2.123x	Laagdynamisch sublitoraal, ondiep	81	-81,5	Stroomsnelheid	7,1	Droogvalduur
	V2.320	Laagdynamisch supralitoraal	41	-32,9	Droogvalduur	141,1	Droogvalduur

6.3 Gevoeligheid van ecotopen in de gehele Westerschelde

Tabel 6.6 geeft voor de gehele Westerschelde weer welke negatieve en positieve verschillen er in de ecotopenkaart kunnen optreden, en welk oppervlak de verschillende ecotopen in de kaart van 2012 hadden.

Samenvattend geldt voor de gehele Westerschelde, dat het supralitoraal en het laagdynamisch sublitoraal het meest gevoelig zijn voor de nauwkeurigheid van de invoerparameters. Het supralitoraal wordt voornamelijk beïnvloed door de nauwkeurigheid in de droogvalduur en het sublitoraal door de nauwkeurigheid in de stroomsnelheid. Het hoogdynamisch sublitoraal, het hoogdynamisch litoraal en de schorren zijn het minst gevoelig voor onnauwkeurigheden in de invoerparameters. De verandering in het oppervlak hoogdynamisch sublitoraal is absoluut weliswaar het grootst, maar relatief juist klein.

Tabel 6.6 Oppervlak van de ecotopen voor de hele Westerschelde met mogelijke negatieve en positieve variatie (Tabel 6.3-6.5 samen genomen).

Gevoeligheids-klasse	Ecotoop	Totaal oppervlak 2012 [ha]	Nauwkeurigheid op basis van het jaar 2012		Meest sturende parameter
			[ha]	[%]	
Meest gevoelig (spreiding > +/-20%)	Supralitoraal	190	-56; +186	-29,5; +97,9	Droogvalduur
	Laagdynamisch ondiep	464	-373; +44	-80,4; +9,5	Stroming en droogvalduur
	Laagdynamisch diep	339	-193; +5	-56,9; +1,5	Stroming
Gevoelig (spreiding +/- 10-20%)	Laagdynamisch laag litoraal	321	-28; +27	-8,7; +8,4	Droogvalduur
	Laagdynamisch hoog litoraal	546	-39; +16	-7,1; +2,9	Droogvalduur
	Hard substraat	312	-19; +29	-6,1; +9,3	Droogvalduur
Iets gevoelig (spreiding +/- 5-10%)	Laagdynamisch midden litoraal	3063	-98; +35	-3,2; +1,1	Droogvalduur en geomorfologie
Niet gevoelig (spreiding < +/- 5%)	Hoogdynamisch litoraal	3334	-70; +193	-2,1; +5,8	Droogvalduur
	Hoogdynamisch sublitoraal	19812	-203; +565	-1,0; +2,9	Droogvalduur en stroming
	Schor	3261	0	0	nvt
	Overig	79	0	0	nvt

Tot slot is in Tabel 6.7 de op basis van de gegevens van 2012 berekende nauwkeurigheid in arealen ten gevolg van de nauwkeurigheden in de inputparameters vergeleken met de variatie in ha tussen de opeenvolgende karteringen over de jaren 1996 t/m 2012 zoals berekend in de studie van Cleveringa (2014). In bijlage C zijn deze getallen in grafieken weergegeven.

Tabel 6.7 De verschillen tussen opeenvolgende Ecotopenkarteringen in ha, afgeleid van Tabel 1 in Bijlage 1 van Cleveringa (2014). Groen gearceerde velden geven aan waar de geobserveerde verandering groter is dan het maximale negatieve en positieve verschil, dus waar het vrij zeker is dat de verandering daadwerkelijk heeft plaatsgevonden. *Cleveringa maakt geen onderscheid tussen laagdynamisch diep en ondiep; deze zijn hier daarom ook samen genomen.

Ecotoop	1996-2001	2001-2004	2004-2008	2008-2010	2010-2011	2011-2012
Supralitoraal	-96	5	-54	57	-29	-27
Laagdynamisch diep & ondiep*	77	63	68	66	34	17
Laagdynamisch laag litoraal	97	51	-99	16	-10	-15
Laagdynamisch hoog litoraal	-133	2	-94	124	18	-85
Hard substraat	-21	-64	14	15	6	6
Laagdynamisch midden litoraal	25	186	-217	189	90	30
Hoogdynamisch litoraal	-138	-292	205	-326	-14	-14
Hoogdynamisch sublitoraal	86	115	-128	-51	-170	25
Schor	96	-60	308	-104	70	67
Overig	6	-4	-3	15	2	-1

Voor enkele ecotopen geldt dat de nauwkeurigheid in arealen in 2012 zoals weergegeven in Tabel 6.6 groter is dan de verschillen die de ecotopenkaarten tussen de opeenvolgende meet jaren laat zien. Wanneer dit optreedt kan met minder zekerheid gezegd worden dat de waargenomen verandering over de jaren ook daadwerkelijk is opgetreden. Dit geldt vooral voor het supralitoraal, het laagdynamisch sublitoraal en hardsubstraat, waar de verschillen tussen de jaren altijd kleiner zijn dan de geschatte nauwkeurigheid op basis van de gegevens van 2012.

Voor het areaal schor, hoogdynamisch litoraal, het laagdynamisch (hoog, midden en laag) litoraal en het hard substraat geldt dat veranderingen tussen één of meerdere jaren groter zijn dan het maximale verschil. Daarvoor kan met zekerheid gesteld worden dat er een verandering heeft plaatsgevonden. De grootte van deze verandering heeft vervolgens wel weer een onzekerheid met een orde grootte zoals weergegeven in Tabel 6.6.

7 Conclusies en advies

7.1 Omgang met de gevoeligheid van de ecotopenkaarten

In de Westerschelde worden de laagdynamische ecotopen het hoogst gewaardeerd. Uit de scenariostudie blijkt dat vooral het laagdynamisch sublitoraal het gevoeligst is voor de nauwkeurigheid van de invoerparameters, met name voor de verschillen in de stroomsnelheid. Het laagdynamisch litoraal is beperkt gevoelig voor de nauwkeurigheid van de invoerparameters en dan met name voor verschillen in de droogvalduur. Hier zal dan ook rekening mee gehouden moeten worden bij uitspraken over trendontwikkelingen en effecten op deze ecotopen.

De verschillen binnen het litoraal zijn beperkt, waarbij de laagdynamisch arealen 'laag litoraal' en 'hoog litoraal' een relatief klein oppervlak beslaan ten opzichte van het laagdynamische areaal 'midden litoraal'. De reden dat het laagdynamisch midden litoraal niet zo heel gevoelig is voor de verschillen in de invoerparameters is dat het een redelijk groot oppervlak beslaat en daarnaast het de mogelijkheid heeft om verlies aan de 'ene' kant te compenseren door winst aan de 'andere' kant.

De meest gevoelige ecotoop is het supralitoraal; deze wordt beïnvloed door de droogvalduur. Opgemerkt wordt dat het hier de supralitorale zones zonder begroeiing betreft, dus niet de schor en pionier zones. De opname hiervan is eenduidig en zorgt daardoor voor weinig tot geen verschil in de ecotopenkaart.

De gevoeligheid van de supralitorale ecotopen is niet vreemd aangezien het de hoogste gelegen ecotopen zijn waardoor een verandering in de droogvalduur niet gecompenseerd wordt door een verschuiving naar naast gelegen areaal.

7.2 Nauwkeurigheid van de kaarten

De kaarten van de individuele parameters worden met zorg vervaardigd en zijn gebaseerd op observaties met nauwkeurige apparatuur. Daardoor is de nauwkeurigheid van een direct te meten parameter zoals de bodemligging vrij goed. Onnauwkeurigheden kunnen vooral ontstaan door modellering van parameters, zoals droogvalduur en stroomsnelheid, en als er een interpretatie nodig is zoals bij de geomorfologische kaart.

De geomorfologische kaart wordt volgens een strikt protocol, namelijk een interpretatiematrix, vervaardigd. Interpretatie blijft echter een bron van mogelijke verschillen, die voor de moeilijk te karteren typen 'hoogenergetisch, vlak' en 'laag-energetisch, vlak' een gemiddelde nauwkeurigheid heeft van 136 ha. Deze nauwkeurigheid zou te verbeteren zijn door meer en/of gerichtere veldopnames plaats te laten vinden ter controle van de luchtopnames; dit gebeurt nu in slechts enkele gebieden maar geeft wel waardevolle informatie over de werkelijke dynamiek en de snelheid waarmee de bodem verandert. Het gebruik van de, door alle arbeid en fotovluchten dure, geomorfologische kaart voor andere doelen kan wellicht bijdragen aan deze veldopnamen.

Het stromingsmodel is niet specifiek ontwikkeld voor de ecotopenkaart maar voor waterstandsberekeningen en stroomsnelheden in de geulen, en geeft daardoor een onvoldoende goed beeld van de hydrodynamiek in ondiepe gebieden. Belangrijkste oorzaak is dat het stromingsmodel de stroomsnelheden onderschat en geen rekening houdt met een in de tijd variërende, bodenvormafhankelijke, ruwheid.

In de ondiepe gebieden is de uitkomst van het stromingsmodel zeer bepalend voor het areaal laagdynamisch ondiep water. Er zijn inmiddels technische mogelijkheden om de modelprestaties in ondiepe gebieden te verbeteren. De stromingsmodellen zelf zijn verbeterd, computers zijn sneller geworden, en er zijn dankzij MONEOS en andere meetcampagnes beschikken we over goede metingen in ondiepe gebieden om dergelijke modellen mee te valideren.

Uit de verschillende scenario's is gebleken dat de grootste verschillen in de litorale ecotopen worden veroorzaakt door o.a. de nauwkeurigheid van de droogvalduur. Het effect hiervan is het grootst in de supralitorale ecotopen zonder begroeiing. Hier zorgt de vegetatie of de bodemhoogte voor een harde bovengrens terwijl de ondergrens varieert met de droogvalduur. In de litorale delen is het effect van de droogvalduur kleiner en komt enkel het laagdynamische hoog en laaggelegen sublitoraal in het midden deel van de Westerschelde boven de 20% uit.

Zoals in de voorgaande hoofdstukken beschreven wordt de droogvalduur bepaald op basis van de waterstand en de bodemhoogte, waarbij de bodemhoogte de grootste onnauwkeurigheid met zich meebrengt. De doorwerking van de nauwkeurigheid van de bodemhoogte in de droogvalduur is met name groot in vlakke gebieden of gebieden met een kleine helling.

Voor de litorale laagdynamische gebieden zal een nauwkeurigere bepaling van de bodemhoogte een betere schatting van de droogvalduur opleveren. De droogvalduurbepaling in deze laagdynamische litorale gebieden kan verbeterd worden door een hogere frequentie aan metingen waarmee de variabiliteit binnen een jaar verdisconteerd kan worden. Het is immers niet wenselijk dat temporele fluctuaties van enkele centimeters leiden tot een indeling in een andere droogvalduurklasse. Wanneer vaker meten geen optie is, verdient het aanbeveling om te onderzoeken of bijvoorbeeld het werken met minder strikte, deels overlappende, droogvalduurklassen mogelijk is.

In de hoogdynamische litorale gebieden heeft een nauwkeuriger bepaling van de bodemhoogte geen toegevoegde waarde omdat in deze gebieden geen onderscheid gemaakt wordt in droogvalduurklassen.

Voor het gehele (supra)litoraal geldt dat het werken met de LiDAR-data op het originele 2 x 2 m grid de bepaling van de droogvalduur ten goede zal komen. Met de huidige punt dichtheden en rekenkracht is dit haalbaar, het is echter de vraag of het –gezien de 25 x 25 m resolutie van de dieptemetingen- mogelijk en wenselijk is om met een bodemhoogtebestand met ruimtelijk verschillende rastergrootte te werken.

7.3 Mogelijk nieuwe parameters

Door gebruik te maken van de geomorfologische kaart voor de bepaling van dynamiek in litorale gebieden wordt weliswaar de fout uit het stromingsmodel weggenomen, maar dit zorgt er ook voor dat ecotopenkaarten alleen achteraf te maken zijn, en dus niet te gebruiken zijn om effecten van ingrepen of ontwikkelingsscenario's vooraf te kwantificeren.

Oudere geomorfologische kaarten (voor 1980) kennen minder detail en hebben daardoor waarschijnlijk een andere nauwkeurigheid in het onderscheid tussen hoog- en laagdynamisch litoraal. Dit verschil in de grootte van de fout kan gevolgen hebben voor trendanalyses.

De stroomsnelheid is slechts één indicator voor de voor ecologie belangrijke bodemdynamiek; golven, turbulentie en de samenstelling van de bodem zijn ook van belang, omdat dit zeker in het ondiepe gebied een behoorlijke doorwerking kan hebben op de stabiliteit van de bodem en daarmee op de randvoorwaarden voor het voorkomen van biota.

Daarnaast zijn waarschijnlijk ook de periode waarover een bepaalde conditie optreedt, en de snelheid waarmee de bodem daarop reageert van belang. Het vergroten van de kennis over welke processen (de dynamiek van) het voorkomen van bodemleven bepalen verdient meer onderzoek.

Er wordt geen gebruik gemaakt van bodemhoogteverandering als indicator voor dynamiek. Een grote verandering in de bodemhoogte kan een indicator zijn voor hoge dynamiek. Deze zou aanvullend gebruikt kunnen worden om uitsluitel te geven of een gebied hoogdynamisch is. Hierbij moet er wel rekening gehouden worden met het feit dat grote bodemhoogte veranderingen niet alleen in een hoogdynamisch gebied kunnen optreden. Zo kan ook in laagdynamisch gebied er in korte tijd een toename van de bodemhoogte optreden doordat er bijvoorbeeld veel meer aanbod is van sediment ten gevolge van bepaalde ingrepen. Zie bijvoorbeeld het gebied tussen de kribben bij Waarde en recenter de noordzijde van de Hooze Platen. De kans is bestaat dat in deze gebieden de bodem te weinig geconsolideerd is waardoor het ondanks het laagdynamische karakter (nog) ongeschikt is voor bodemleven.

7.4 Methodiek en model

De huidige methode voor het vervaardigen van ecotopenkaarten balanceert tussen het werken met een constante invoer (bijvoorbeeld het zoutgehalte, maar indirect ook de droogvalduur en stroomsnelheid die gebaseerd zijn op vaste getijden) om kaarten tussen jaren vergelijkbaar te houden, en jaarlijks veranderende invoer om de realiteit van ontwikkelingen in het veld te volgen (bijvoorbeeld bodemhoogte). Het resultaat is een kaart die niet expliciet een beeld van het betreffende jaar geeft. Dit komt duidelijk naar voren tijdens de bodemdierbemonstering, welke volgens de ecotopenkartering is ingericht (Escaravage *et al.* 2010, Escaravage *et al.* 2011, Escaravage *et al.* 2013b, Escaravage *et al.* 2013a). Het vervaardigen van twee kaarten – één echt actuele en één op basis van een set referentiecondities – maakt een vergelijk met het veld en tussen ontwikkelingen mogelijk. Hiervoor is wel verdere automatisering van het proces nodig.

De ecotopenkaart wordt nu al geautomatiseerd opgesteld aan de hand van een ArcGis Modelbuilder model en een set invoer parameters. Het model zorgt voor een consequent resultaat en voldoet daarmee primair aan zijn doel. Het is echter niet goed mogelijk om gevoeligheidsanalyses en scenario's met het model uit te voeren omdat er teveel handmatige handelingen moeten worden uitgevoerd.

De aangeleverde versie van het model leverde niet direct een zelfde ecotopenkaart op zoals de kaart uitgeleverd door Rijkswaterstaat, wat verschillende kleine aanpassingen vergde voor het model bruikbaar was. Door het model op te nemen in een transparante beheer- en onderhoudsstructuur zoals het KPP B&O Waterkwaliteitsmodellen wordt de ontwikkeling en verbetering van het Ecotopenmodel geborgd. Hierdoor wordt voorkomen dat er verschillende versies van hetzelfde model in omloop komen en worden mogelijke foutjes geregistreerd en wanneer nodig aangepast. Ook kunnen verbeteringen zoals in deze rapportage voorgesteld stapsgewijs worden door gevoerd aan de hand van ervaringen van gebruikers. Versiebeheer zal ervoor moeten zorgen dat aanpassingen traceerbaar zijn zodat duidelijk is of een nieuw opgestelde ecotopenkaart direct vergelijkbaar is met oudere kaarten.

7.5 Vervolg studie

In deze studie is gewerkt met de gegevens van het jaar 2012. Aan de hand van deze gegevens, aangevuld met kennis uit literatuur over de nauwkeurigheid van de invoerparameters, is een beperkte set scenario's opgesteld aan de hand waarvan de nauwkeurigheid van de ecotopen is bepaald. Door te werken met een grotere set aan scenario's wordt er mogelijk nog meer inzicht verkregen in de specifieke invloed van de nauwkeurigheid van de verschillende invoerparameters voor de nauwkeurigheid van de ecotopenkaart.

Verder is er in deze studie enkel gerekend met de gegevens voor het jaar 2012. Wanneer deze studie herhaald wordt voor meerdere jaren kan het nu verkregen beeld bevestigd worden en wordt een meer generiek beeld van de nauwkeurigheid van ecotopen verkregen

8 Literatuur

Arentz, L. en J. Vroom (2014). Analyse LiDAR data voor het Friesche Zeegat (2010-2013). Delft, Deltares.

Beezemer, L. (2013). Typen hoog- en laagdynamische gebieden in de Westerschelde. Stage, Hogeschool Zeeland.

Behrens, H. W. A. (2008). Uitwerking informatiebehoefte waterstanden Rijkswaterstaat. Van informatiebehoefte naar meetprogramma, Rijkswaterstaat Waterdienst.

Beukema, J. J. (1976). "Biomass and species richness of the macro-benthic animals living on the tidal flats of the Dutch Wadden Sea." Netherlands Journal of Sea Research **10**(2): 236-261.

Bolleweg, A. E. en E. M. J. Vaessen (1997). Extractie van strandprofielen uit laseraltimetrie, Meetkundige dienst, Rijkswaterstaat.

Bouma, H., D. J. de Jong, F. Twisk en K. Wolfstein (2005). Zoute wateren EcotopenStelsel (ZES.1). Middelburg, RIKZ.

Cleveringa, J. (2014). Ecotopen in de Westerschelde. LTV - Veiligheid en Toegankelijkheid. Arnhem, Arcadis.

Dam, G. en M. Jansen (2002a). Verbeteren van het SCALWEST model. Eindrapport deel 1. Rotterdam, Royal Haskoning.

Dam, G. en M. Jansen (2002b). Verbeteren van het Scalwest model. Eindrapport deel I. , Royal Haskoning.

de Jong, J. W. (2013). Toelichting bij de geomorfologische kartering Westerschelde 2012. Op basis van false colour-luchtfoto's 1:15.000. Middelburg, Bureau Waardenburg.

de Lange, M. en H. Davelaar (2013). Vervaardiging zoute Ecotopenkaart. Documentatie werkwijze op basis van ArcGIS Modelbuilder. De Bilt, Grontmij.

Dekker, F. (2010). Flow modelling in intertidal areas. Investigation of underestimation of flow velocities in intertidal areas in the Western Scheldt. Delft, Deltares.

Escaravage, V., H. Hummel, D. Blok, A. Dekker, A. Engelberts, T. den Exter, E. Hartog, O. van Hoesel, L. Kleine Schaars, R. Markusse, T. Meliefste, W. Sistermans en S. Wijnhoven (2010). Macrozoöbenthosonderzoek MWTL in de delta, 2009. Yerseke, NIOO-CEME.

Escaravage, V., H. Hummel, D. Blok, A. Dekker, A. Engelberts, O. van Hoesel, L. Kleine Schaars, R. Markusse, T. Meliefste, W. Sistermans en S. Wijnhoven (2011). Macrozoöbenthosonderzoek MWTL in de delta, 2010. Yerseke, NIOO-CEME.

Escaravage, V., H. Hummel, D. Blok, A. Dekker, A. Engelberts, O. van Hoesel, L. Kleine Schaars, R. Markusse, T. Meliefste, W. Sistermans en S. Wijnhoven (2013a). Macrozoöbenthosonderzoek MWTL in de delta, 2011. Yerseke, NIOZ.

Escaravage, V., H. Hummel, D. Blok, A. Dekker, A. Engelberts, O. van Hoesel, L. Kleine Schaars, R. Markusse, T. Meliefste, W. Sijm, S. Wijnhoven (2013b). Macrozoöbenthosonderzoek MWTL in de delta, 2012. Yerseke, NIOZ.

Harezlak, V., W. Stolte en A. J. Nolte (2014). Objectiveren van onzekerheid van gebiedsmodellen voor waterkwaliteit en ecologie. Delft, Deltares.

Holzhauser, H., T. Maris, P. Meire, S. van Damme, A. Nolte, K. Kuijper, M. Taal, C. Jeuken, J. Kromkamp, B. K. van Wesebeeck, G. van Ryckegem, E. van den Bergh en S. Wijnhoven (2011). Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium. Fase 2. Delft, Deltares.

Jansen, M. (2002). Verbeteringen van het SCALWEST-model. Bouw SCALWEST2000-model. Eindrapport deel 2. Rotterdam, Royal Haskoning.

Janssen, J. A. M. en B. van Gennip (2000). "De oude grenzen methode. Een manier om betrouwbaar veranderingen in landschap en vegetatie te monitoren op basis van luchtfotokarteringen." *Landschap* **17**: 177-186.

Kers, A. S., L. Walburg, J. Bakker, M. Schrijver, L. Dekker, J. de Klerk, D. de Jong, P. Lieveense en M. de Lange (2013). Diensbeschrijving Zoute ecotopenkartering. Delft, Rijkswaterstaat, CIV.

Marijs, K. en E. Parée (2004). Nauwkeurigheid vaklodingen Westerschelde en -monding: "de praktijk". Middelburg, Rijkswaterstaat Meetinformatiedienst Zeeland.

Maris, T., A. Bruens, L. Van Duren, J. Vroom, H. Holzhauser, M. De Jonge, S. Van Damme, A. Nolte, K. Kuijper, M. Taal, C. Jeuken, J. Kromkamp, B. K. Van Wesebeeck, G. Van Ryckegem, E. Van den Bergh, S. Wijnhoven en P. Meire (2014). Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium. Update 2014. Antwerpen, Universiteit Antwerpen.

Meire, P. en T. Maris (2008). MONEOS. Geïntegreerde monitoring van het Schelde estuarium. Antwerpen, Universiteit Antwerpen.

ProSes (2005). Ontwikkelingsschets 2010 Schelde-estuarium. Besluiten van de Nederlandse en Vlaamse regering.

Reinders, J. en L. A. van Duren (2014). Benthic habitat classification in the Westerschelde. Optimal descriptors and splitting values for hydrodynamics. Delft, Deltares.

Rijkswaterstaat. (2014).

"http://waterberichtgeving.rws.nl/dynamisch/stroom/metingen/pdf/HPN_LIR_03_tvmax.pdf."

Retrieved 12-8-2014.

Schrijver, M., A. H. Daane en J. de Klerk (2012). Het berekenen van de droogvalduur. Een toelichting op de methodiek voor het berekenen van de droogvalduur van de Wester- en Oosterschelde. Middelburg, Rijkswaterstaat Zeeland, Meetadviesdienst.

TSC (2001). Langetermijnvisie Schelde-estuarium. Hoofdrapport.

van Wesebeeck, B. K., H. Holzhauser en T. Troost (2010). Using habitat classification systems to assess impacts on ecosystems. Validation of the ZES.1 for the Westerschelde. Delft: 45-45.

VNSC (2013). T2009-rapport Schelde-estuarium, VNSC.

Walker, R. G. (1992). Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. Facies Models: Re-sponse to Sea Level change. R. G. Walker and N. P. James, Geological Association of Canada: p. 1-14.

Wolff, W. J. en L. de Wolf (1977). "Biomass and production of zoobenthos in the Grevelingen estuary, the Netherlands." Estuarine and Coastal Marine Science **5**(1): 1-24.

Dankwoord

Deze rapportage is tot stand gekomen onder de begeleiding van Willem van Loon (RWS-WVL), Gerard Spronk (RWS-WVL) en Dick de Jong (RWS-ZD).

Daarnaast hebben veel mensen bijgedragen in de vorm van het aanleveren van informatie, bijdragen aan inhoudelijke discussies en de review van deze rapportage. Hieronder zijn alle personen in alfabetische volgorde weergegeven: Jeroen Bergwerff (RWS-CIV), Alexander van Braeckel (INBO), Luca van Duren (Deltares), Robert Jentink (RWS-CIV), Bas Kers (RWS-CIV), Edwin Paree (RWS-CIV), Marcel Taal (Deltares) en Lia Walburg (RWS-CIV).

Allemaal heel erg bedankt voor jullie waardevolle inbreng.

A Overzicht Geomorfologietypen

LEGCOD	Omschrijving
P1a1	Laag energetische vlakke plaat, zand
P1a2	Laag energetische vlakke plaat, slibrijk zand (> 8% lutum)
P1a3	Laag energetische vlakke plaat, met laagje water
P1b	Laag energetische plaat met laag golvend reliëf (H < 0,25m, L = 10-25m)
P1c1	Natuurlijke mossel/oesterbank
P1c2	Mossel/oester cultuurpercelen
P1c3d	laag energetisch plaat/slik, met natuurlijke, dichte Japanse oesterbank (>75% bedekking)
P1c3m	laag energetisch plaat/slik, met natuurlijke, matig dichte Japanse oesterbank (25-75% bedekking)
P1c3o	laag energetisch plaat/slik, met natuurlijke, open Japanse oesterbank (5-25% bedekking)
P2a	Hoog energetische plaat gegolfd reliëf (H < 0,25m, L > 25m)
P2b1	Hoog energetische plaat met regelmatige 2-dimensionale megaribbels (H > 0,25m)
P2b2	Hoog energetische plaat met onregelmatige 3-dimensionale megaribbels (H > 0,25m)
P2c	Hoog energetische vlakke plaat
P2d1	(Geïsoleerde) zandrug op hoog energetische plaat
P2d2	(Geïsoleerde) schelpenrug op hoog energetische plaat
P2d3	(Geïsoleerde) schelpenrug op hoog energetische plaat langs dijk
P3	Plaat/slik met water (bodem onzichtbaar)
K1a1	Laag energetische vlakke plaat, zand
K1a2	Laag energetische vlakke plaat, slibrijk zand (> 8% lutum)
K2a	Hoog energetische plaat met gegolfd reliëf (H < 0,25m, L > 25m)
K2b1	Hoog energetische plaat met megaribbels (H > 0,25m) 2-dimensionaal
K2b2	Hoog energetische plaat met megaribbels (H > 0,25m) 3-dimensionaal
K2c	Hoog energetische vlakke plaat
K2d1	(Geïsoleerde) zandrug op hoog energetische plaat
K3	Kreken met water (> 25m breed) (bodem onzichtbaar)
H1a	Hard substraat veen-/kleibanken (onbegroeid) < 25% zandbedekking antropogene sporen
H1b	Hard substraat veen-/kleibanken (onbegroeid) > 25% zandbedekking antropogene sporen
H2a	Hard substraat antropogeen (glooiing, krib etc) dijkglooiing
H2b	Hard substraat antropogeen (glooiing, krib etc) krib havendam
H2c	Hard substraat antropogeen (glooiing, krib etc) geulrandverdediging
H2d	Hard substraat antropogeen (glooiing, krib etc) vooroever / schorrandverdediging
S1a	Begroeid schor/strand (gesloten, > 50 % bedekking) natuurlijke (kwelder)vorm
S1b	Landaanwinningswerken (gesloten, > 50 % bedekking)
S1c	Begroeid schor/strand (gesloten, > 50 % bedekking) open plek in het kwelder (< 25% bedekking)
S2a	Begroeid schor/strand (open, 10-50% bedekking) natuurlijke (kwelder)vorm
S2b	Begroeid schor/strand (zeer open, < 10% bedekking en/of pollenstructuur (> 10 pollen/ha)
S2c	Landaanwinningswerken (open, 10-50% bedekking)
S3a	Natuurlijk meanderende kreek (10-250m breed, onbegroeid) op schor/kwelder en

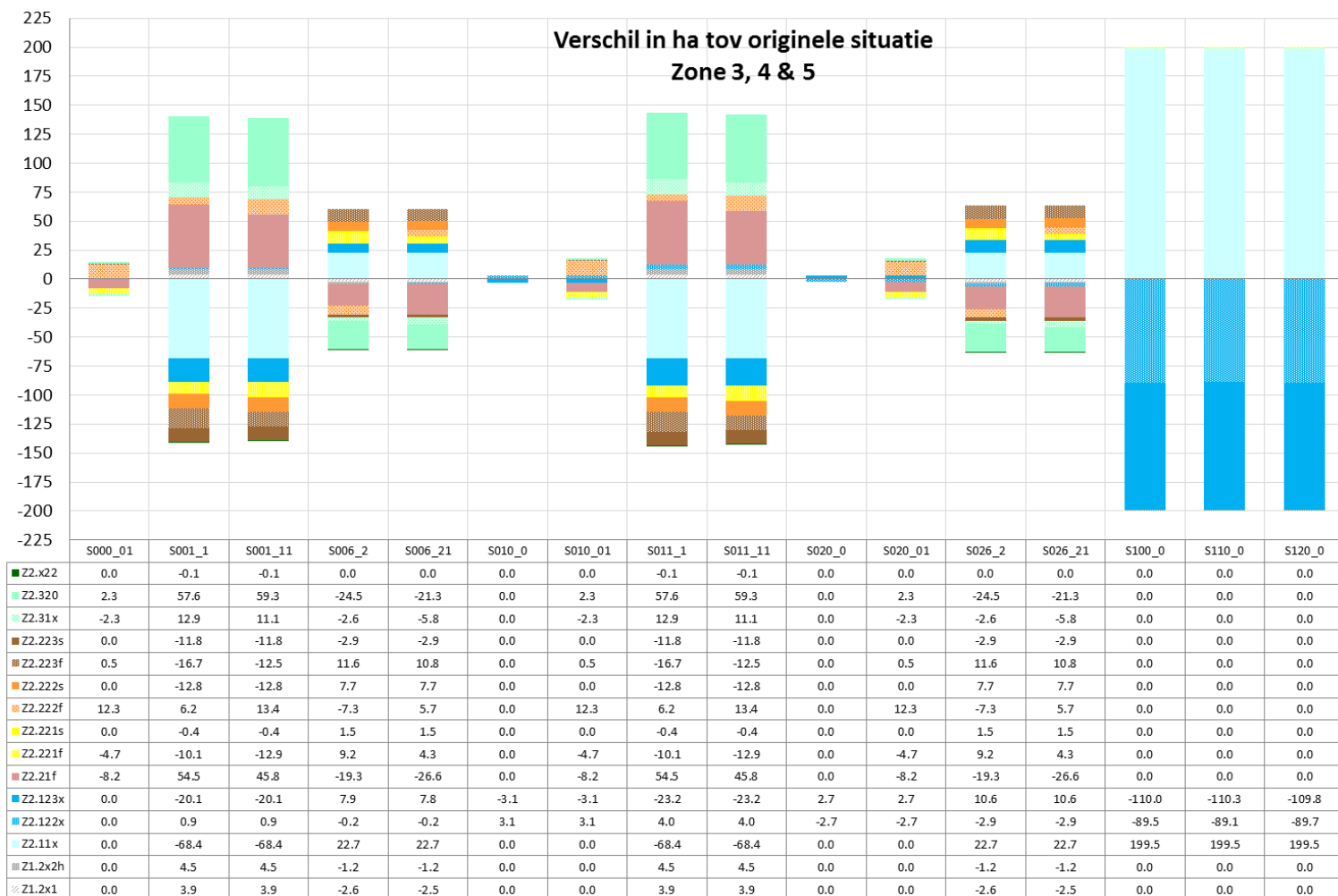
	groen strand
S3b	Gekanaliseerde sloot/kanaal (10-250m breed, onbegroeid) op schor/kwelder en groen strand
D1	Natuurlijke duinen & hoge stranden (wel of niet begroeid)
D2	Antropogene duinen (stuifdijken etc.)
O1	Overig zanddam
O2	Overig plateau/verhoging (antropogeen)
O3	Overig wegen/paden
O4	Overig getijdenhaven
O5	Overig waterberging
O6	Vloedmerken

B Resultaten scenario's

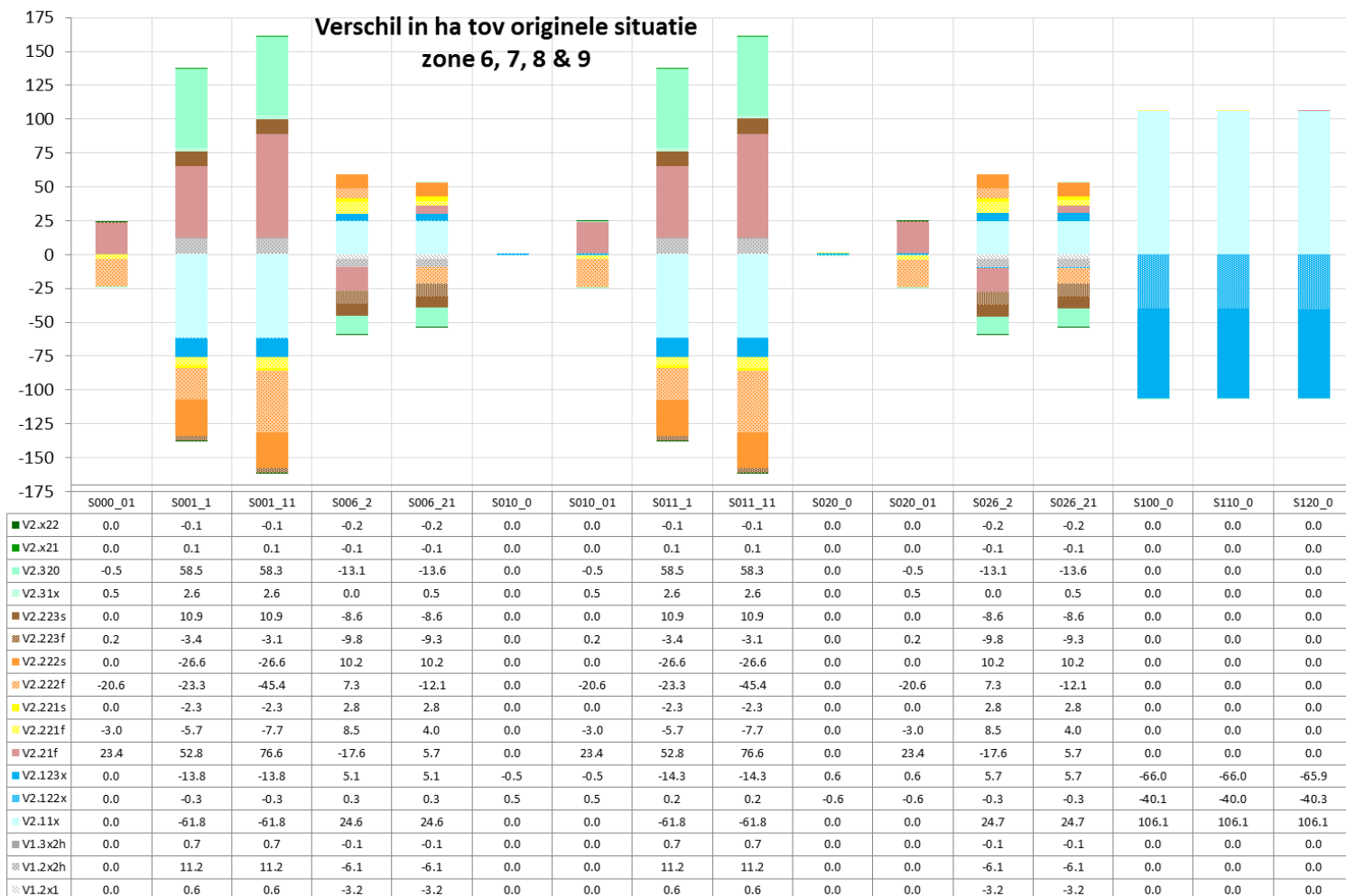
B.1 Verschil in ha westelijke deel Westerschelde



B.2 Verschil in ha midden deel Westerschelde



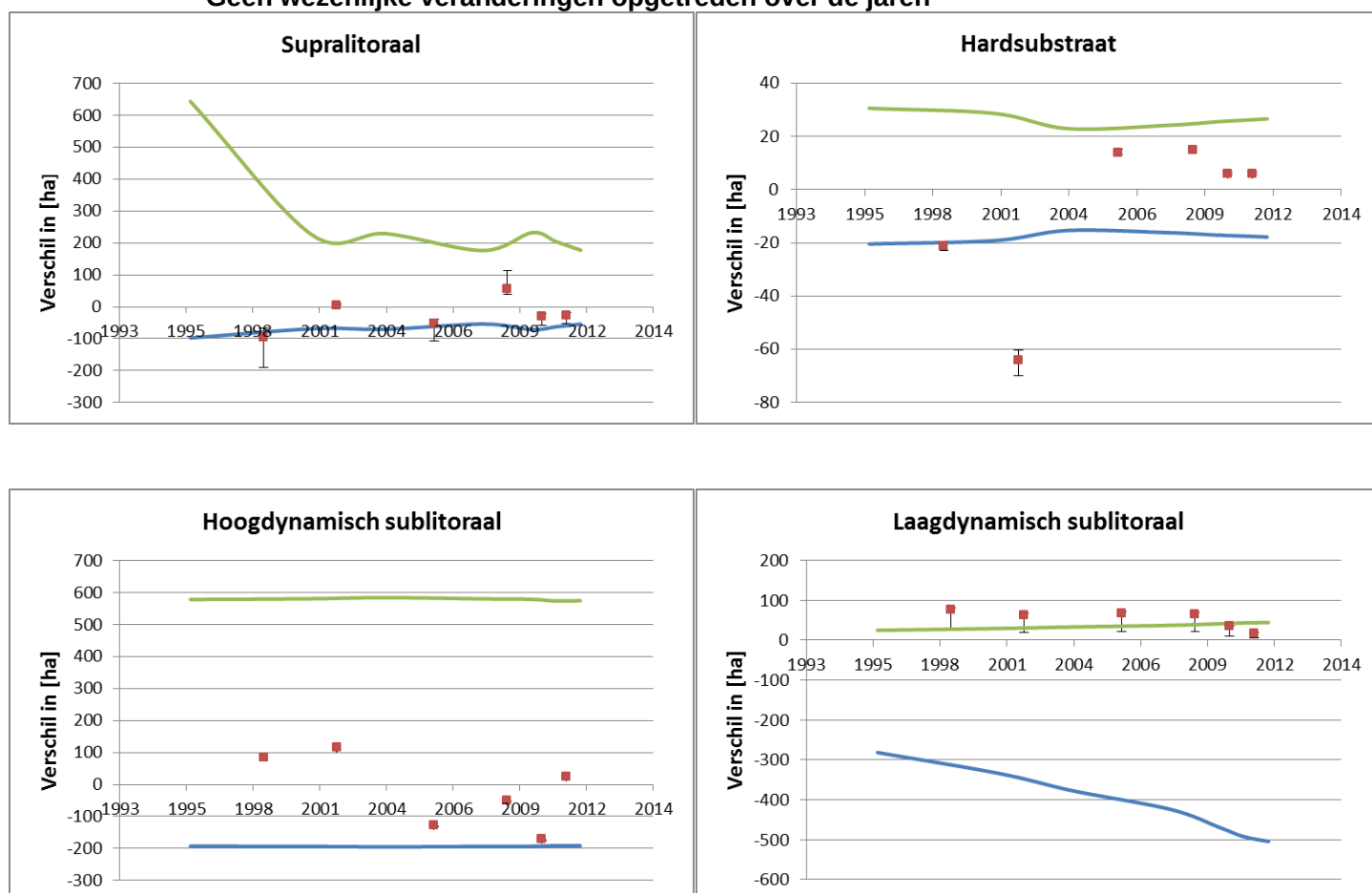
B.3 Verschil in ha oostelijk deel Westerschelde



C Trendontwikkeling met geschatte nauwkeurigheid

De onderstaande nauwkeurigheden zijn gebaseerd op de berekende nauwkeurigheid voor 2012.

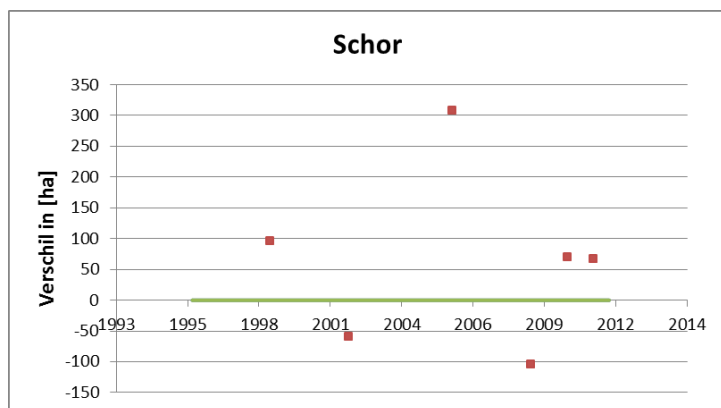
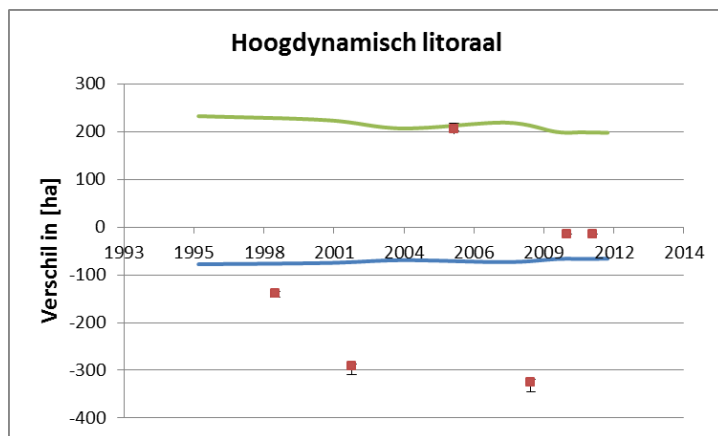
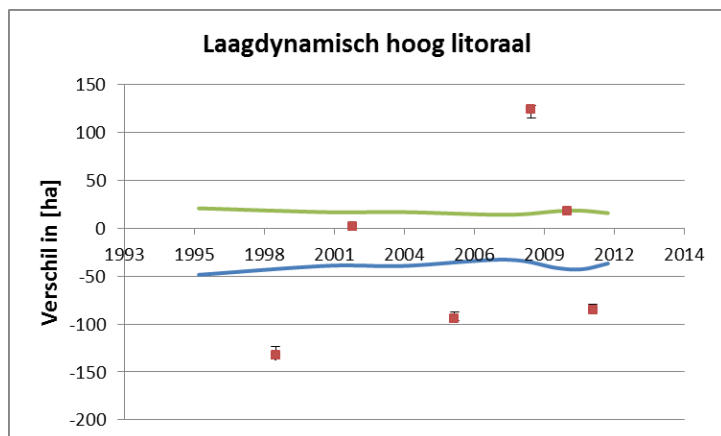
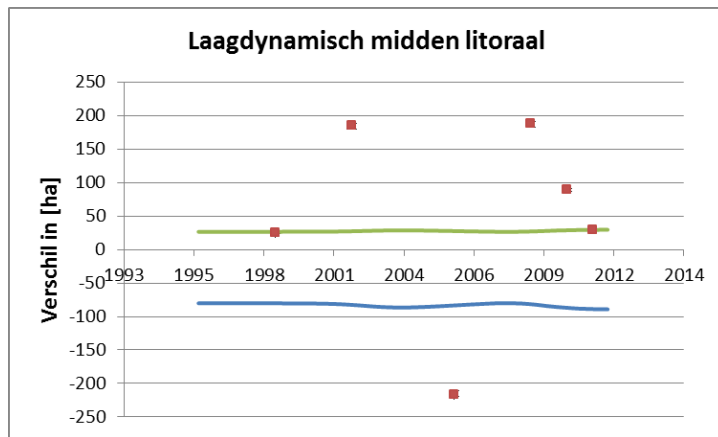
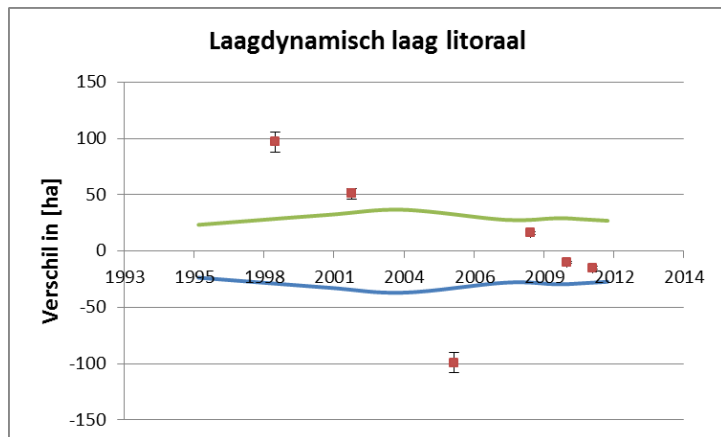
Geen wezenlijke veranderingen opgetreden over de jaren



Legenda

- Verschil meetjaren
- Bovengrens
- Benedengrens

Wel sprake van veranderingen over de jaren



Legenda

- Verschil meetjaren
- Bovengrens
- Benedengrens