



EcoCurves

Wadvogel habitat model Wadmap

Technische documentatie



C Rappoldt, B J Ens en H Schekkerman

Wadvogel habitat model Wadmap

Het model Wadmap is gefinancierd door de Nederlandse Aardolie Maatschappij. Onderdelen van het programma voor het hanteren van kaarten, het maken van grafieken en het berekenen van droogvalduren zijn eigendom van EcoCurves BV.

Wadvogel habitat model Wadmap

Technische documentatie

C. Rappoldt¹, B.J. Ens² en H. Schekkerman²

¹EcoCurves BV, Kamperfoelieweg 17, 9753 ER Haren
E-mail: kees.rappoldt@ecocurves.nl

²Sovon Vogelonderzoek Nederland, Toernooiveld 1, 6525 ED Nijmegen
E-mail: info@sovон.nl

REFERAAT

C. Rappoldt, B.J. Ens en H. Schekkerman, 2019. *Wadvogel habitat model Wadmap ; Technische documentatie* ; EcoCurves rapport 30, EcoCurves, Haren. 112 blz.

Het model Wadmap (Wader Area Diet by Modelling Available Prey) berekend de geschiktheid van een gebied voor verschillende wadvogelsoorten. Dit gebeurt op basis van voedselgegevens uit de benthos bemonitoringen, waterstanden, hoogtekaarten, de voedsel opnamesnelheid en het gebiedsgebruik van de wadvogels. Dit rapport bevat een beschrijving van de gebruikte gegevens, de rekenprocedures en in het gebruikte programma. Het laatste, engelstalige hoofdstuk beschrijft gedetailleerd de configuratie van Wadmap voor de Waddenzee en de job input file voor de aansturing van het programma.

Trefwoorden: Monitoring, Waddenzee, bodemdaling, benthos, getijde, droogvalduur

ISSN 1872-5449

© 2019 EcoCurves BV
Kamperfoelieweg 17, 9753 ER Haren, Nederland
e-mail: kees.rappoldt@ecocurves.nl

Voorplaat: "Een deel van de BMOD proxykaart 2009 voor Rosse Grutto voorjaar"

EcoCurves BV is niet aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de gegevens en de modelresultaten in dit rapport.

Inhoudsopgave

Lijst figuren	7
Lijst tabellen	8
Datafile en programma Listings	9
1 Inleiding	11
1.1 Opzet van deze documentatie	11
2 Gebruikte gegevens	13
2.1 Regiokaart en deelgebieden	13
2.1.1 Input files	15
2.2 Hoogtekaarten (Deltares)	15
2.3 Sibes benthos bemonstering (NIOZ)	16
2.3.1 Sibes correctie	18
2.3.2 Locaties	19
2.4 Gemeten slibgehaltes (NIOZ)	21
2.5 De WMR schelpdier survey en Schelpdierbanken	21
2.6 Foerageergebieden	22
2.6.1 Discussie	25
2.7 Gegevens over de wadvogelsoorten (Sovon)	25
2.8 Gemeten waterstanden (Rijkswaterstaat)	29
2.8.1 Amplitudekaart?	29
2.9 Kaart van de bodemdaling (NAM)	31
3 Van kaarten, benthos en waterstanden naar proxies	33
3.1 De berekende proxies	33
3.2 De droogvalduur E voor de Sibes punten	34
3.3 Oppervlak S toegekend aan de Sibes punten	35
3.3.1 Algorithme	35
3.3.2 Droogvallend wad	36
3.3.3 Foerageergebieden	37
3.3.4 Bodemdaling met opschuivend voedsel	38
3.3.5 Correctie voor onvolledige dekking	41
3.4 De WMR schelpdiersurvey en de mosselbanken	41
3.5 De functionele respons	45
3.6 Proxykaarten	45
4 Program Wadmap (in english)	49
4.1 Datafile formats	49
4.1.1 Maps	49
4.1.2 Parameter files and version files	51
4.1.3 Benthos data	52

4.1.4	Waterlevels	52
4.2	Version management	52
4.3	The Wadmap configuration file	54
4.3.1	Bird-season combinations	57
4.3.2	Settings for the various proxies	57
4.3.3	Benthos samples and water levels	57
Surface area assigned to benthos samples	58	
Use of WMR survey to correct Sibes shellfish data	58	
InterTides configuration	60	
4.3.4	Region map and map handling preferences	60
4.3.5	Names and Data folders	61
4.3.6	Plot axes	62
Proxy axes	63	
4.4	The Wadmap job input	63
4.4.1	What is calculated?	63
4.4.2	Food and foraging	65
4.4.3	Soil subsidence	67
4.4.4	Exposure time used in proxies	69
4.5	Running the program	70
4.5.1	The command line options	70
4.5.2	Reruns	71
Rerun sections	71	
4.5.3	Plots	71
4.5.4	Output maps	72
4.5.5	CSV files	73
4.6	The structure of the program	73
4.6.1	The Fortran modules	73
4.6.2	The linked libraries	74
Bibliography		79
Appendix A Vogelsoort-seizoen combinaties		82
Appendix B Vogelsoorten, Benthos, Deelgebieden		84
Appendix C InterTides Interpolation Method (in english)		90
C.1	The data	90
C.2	Spatial Interpolation	91
C.2.1	Triangles	91
The three weights	92	
C.2.2	Interpolation along an edge segment	92
C.3	Phase differences	93
C.4	Interpolation between synchronised stations	96
C.5	Exposure time map with synchronised stations	99
Appendix D InterTides Harmonic analysis (in english)		100
D.1	Short introduction to harmonic analysis	100
D.2	Harmonic analysis by InterTides	101
Appendix E Amplitudekaart ?		105
E.1	Gesimuleerd getij	106
E.2	De amplitudekaart	109
E.3	Conclusie	109

Lijst van figuren

2.1	Regiokaart met kombergingen	14
2.2	Lidar hoogtekaart voorjaar 2010	15
2.3	Lidar voorjaar 2010 gecombineerd met de Cyclus 5 hoogtekaart	15
2.4	Sibes kokkel data met enkele afwijkende punten	18
2.5	Sibes kokkel data zonder de afwijkende punten	18
2.6	Sibes bemonstering Pinkegat Zoutkamperlaag in 2008	19
2.7	Imares schelpdiersurvey voor Pinkegat Zoutkamperlaag in 2014	21
2.8	Imares kaart van mossel- en oesterbanken 2011, 2012 en 2013	22
2.9	Indeling in foerageergebieden	23
2.10	Interpolatie tussen getijdestations in het Nederlands Waddengebied	30
2.11	De amplitude van het getij in de Oosterschelde	30
2.12	Kaart van de bodemdaling 2007–2013	31
3.1	Oppervlak Sibes punten Pinkegat Zoutkamperlaag	35
3.2	Oppervlak Sibes punten Waddenzee 2009	35
3.3	Droogvallend wad	36
3.4	Voorbeeld van een hoogteverdeling	38
3.5	Hoogteverdelingen Pinkegat met Lidar kaarten	39
3.6	Dekkingsgraad Sibes bemonstering	40
3.7	Proxykaart "Geschikt oppervlak" voor Tureluur	46
3.8	Kaarten van de biomassa proxies Tureluur zomer	46
3.9	Kaarten van de functionele respons proxies Tureluur zomer	47
4.1	Typical look of the Wadmap configuration folder	50
C.1	Tidal gauge stations of Rijkswaterstaat in de Wadden Sea	90
C.2	Measured water levels	91
C.3	Interpolatie within a triangel of tidal gauge stations	92
C.4	Interpolation along an edge between two tidal stations	93
C.5	damping due to the phase difference between tidal stations	94
C.6	Maximum phase difference inside the interpolation triangles	95
C.7	Example of synchronised water levels	97
C.8	Effect of synchronisation of tidal gauge stations on exposure time	98
D.1	Estimating missing values by harmonic analysis	104
E.1	Kaart van de gemiddelde hoogwaterstand voor 2009–2011	105
E.2	Kaart van de gemiddelde laagwaterstand voor 2009–2011	106
E.3	Getijcurves voor week 32 van 2010	107
E.4	Gemeten waterstanden en InterTides voor Holwerd	108
E.5	Gesimuleerde waterstanden en InterTides voor Holwerd	108
E.6	Amplitude kaart	109

Lijst van tabellen

2.1	Getijdestations in en rond de Waddenzee	29
A.1	Vogelsoort-seizoen combinaties	83
B.1	Vogelsoorten	85
B.2	Namen Sibes bemonstering	86
B.3	Deelgebieden	89
C.1	Lunitidal intervals for the tidal gauge stations	95
D.1	Harmonic analysis for Den Helder	102

Datafile en programma listings

2.1	Deel van Sibes positie file	16
2.2	Deel van Sibes data file voor tweekleppigen	17
2.3	Deel van Sibes data file slibgejhaltes	19
2.4	Sibes 2010 versiefile	20
2.5	Foerageergebieden voor de vogelsoorten	24
2.6	Voorbeeld van vogel parameter file	26
2.7	Vogel parameter file voor de Kanoet	27
3.1	Algorithme voor prooi selectie volgens het Contingency Model	42
3.2	Algorithme voor prooi selectie volgens het Digestive Rate Model	43
4.1	Example of a "VariableName = <i>value</i> " input file	51
4.2	A Lidar map version file	53
4.3	Bird-season combinations in the configuration file	54
4.4	Proxy settings in the configuration file	55
4.5	Sibes, Imares and InterTides preferences in the configuration file	56
4.6	Regionmap and map handling preferences in the configuration file	59
4.7	Input and output settings in the configuration file	61
4.8	Plot axes in the configuration file	62
4.9	Bird-season combinations and subareas in the job input file	64
4.10	Benthos data. maps with options in the job input file	66
4.11	Soil subsidence on the job input file	68
4.12	Seasonal exposure time on the job input file	69

Inleiding

Het model Wadmap (Wader Area Diet by Modelling Available Prey) berekend de geschiktheid van een gebied voor verschillende wadvogelsoorten. Dit gebeurt op basis van voedselgegevens uit de Sibes bemonsteringen door het NIOZ ([Bijleveld et al., 2012](#); [Compton et al., 2013](#)) en de schelpdier survey van het Imares ([Kamermans et al., 2003](#); [Bult et al., 2004](#); [van den Ende et al., 2015](#); [van Asch et al., 2015](#)). De geschiktheid wordt voor ieder jaar berekend uit de bemonsteringen in combinatie met een hoogtekaart en waterstanden. Er worden verschillende maten voor de geschiktheid berekend ("proxies" genaamd), gebaseerd op de hoeveelheid voedsel, op de hoeveelheid oogstbaar voedsel of op de opnamesnelheid.

Een verandering in de geschiktheid kan corresponderen met een verandering in het aantal vogels. Dat hoeft echter niet zo te zijn omdat de aantallen vogels mede bepaald worden door omstandigheden en veranderingen buiten het waddengebied. Dat is er ook de reden van dat aantallen vogels zich minder goed lenen voor het monitoren van de eventuele gevolgen van gaswinning en bodemdaling. Een habitat geschiktheidsmaat afgeleid uit de voedselsituatie in het Pinkegat en Zoutkamperlaag leent zich daar beter voor.

1.1 Opzet van deze documentatie

Het doel van dit rapport is een beschrijving van de gebruikte gegevens, de rekenprocedures en in het gebruikte programma. Het bleek echter moeilijk om één overzichtelijke indeling te ontwerpen die dit mogelijk maakt. De gebruiker met een biologische achtergrond kijkt heel anders naar Wadmap dan iemand die nieuwe data eraan toevoegt en het programma daarmee laat rekenen. Er zijn daarom hoofdstukken geschreven vanuit deze verschillende gezichtspunten.

In [Hoofdstuk 2](#) worden de gebruikte gegevens besproken waarbij uiteraard ook aandacht is voor wat ermee gebeurt.

In [Hoofdstuk 3](#) worden de modelberekeningen toegelicht. Dat gaat in twee stappen. Eerst worden voor ieder punt van de Sibes bemonstering een hoeveelheid voedsel, een hoeveelheid oogstbaar voedsel en een opnamesnelheid berekend (per vogelsoort). Vervolgens worden deze puntgegevens gecombineerd tot een maat voor een deelgebied zoals Pinkegat en Zoutkamperlaag.

In het engelstalige [Hoofdstuk 4](#) worden de input files en de structuur van het programma besproken. De input files zijn hier niet zozeer de files met benthos data e.d., maar de configuratie van Wadmap en de job input file. Deze input files

bevatten basisgegevens zoals vogelnamen en gebiedsnamen, en de parameters en opties van de rekenprocedure. De job input file is de file die bepaalt wat er wordt uitgerekend, voor welke deelgebieden, vogelsoorten, hoogtekaarten, jaren, etc.

Tenslotte wordt in [Hoofdstuk 4](#) ook de structuur van het programma toegelicht alsmede de lijst van externe, meegelinkte object libraries.

Er bestaat uiteraard overlap tussen de verschillende benaderingen en die wordt zoveel mogelijk met interne referenties afgedekt. Een volledige en bovendien overzichtelijke documentatie van een programma als Wadmap met zoveel data input is echter bijzonder moeilijk te realiseren. Nuttige toevoegingen zijn zeker nog mogelijk, maar het heeft geen zin om de code tot in detail te documenteren. Dat gebeurt immers al in het programma zelf in de vorm van commentaar bij de statements.

Gebruikte gegevens

2.1 Regiokaart en deelgebieden

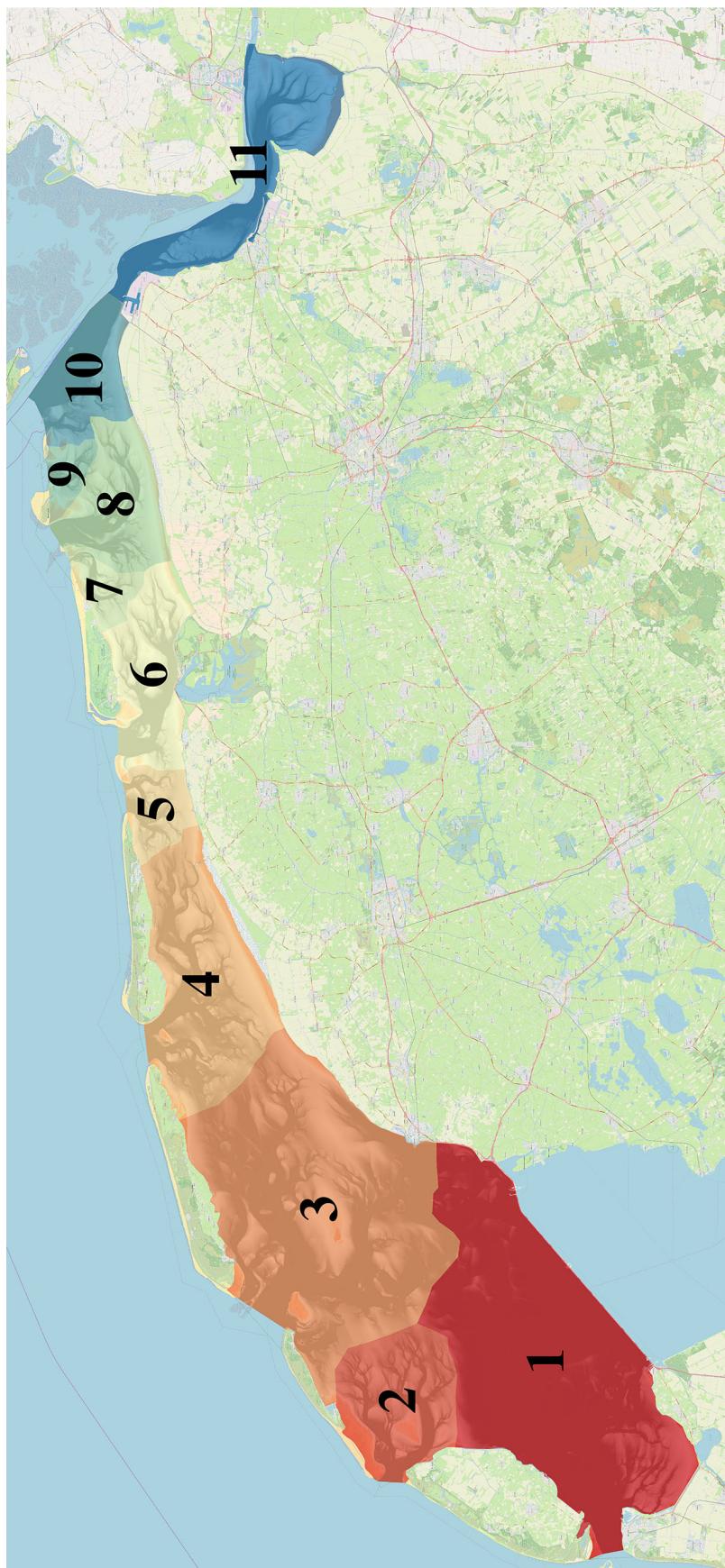
In [Figuur 2.1 op bladzijde 14](#) is de gebruikte indeling in kombergingsgebieden te vinden. De combinatie van de 11 onderscheiden kombergingen vormt wat in het model de regiokaart wordt genoemd. De regiokaart definieert het gebied waarvoor gerekend kan worden aan waterstanden, droogvalduur en benthos gegevens.

De grenzen tussen de kombergingen zijn gebaseerd op een kaart van de NAM. Vanaf 2018 wordt met een gecorrigeerde versie gewerkt waaraan zijn toegevoegd: de Dollard, Engelsmanplaat, Simonszand en Griend, een iets groter deel van enkele zeegaten, een strook van de Vliehors op Vlieland en van de Oosterkwelder op Schiermonnikoog. De grenzen tussen de kombergingen zijn niet veranderd. De aanpassing was nodig omdat er langs kwelderranden, bij zeegaten en bij de kleine eilanden teveel droogvallend wad buiten de regiokaart viel.

In principe worden alle berekeningen gedaan voor de hele regio. Daarna worden de uitkomsten voor een rijtje geselecteerde deelgebieden bepaald. Als deelgebied kan elk willekeurig deel van de regio worden gebruikt. Deelgebieden kunnen ook overlappen, en het hoeven dus niet kombergingen te zijn (zie ook [Tabel B.3 op bladzijde 89](#) en [Listing 4.6 op bladzijde 59](#)).

De reden van deze opzet is dat monsterpunten net buiten een deelgebied kunnen liggen. Op de regiokaart wordt dan eerst aan elk monsterpunt een bepaald oppervlak toegekend (zie [sectie 3.3](#)) en voorzover dat oppervlak binnen het deelgebied ligt telt het mee in het resultaat. Vooral bij kleine deelgebieden is het van belang om niet *alleen* die monsterpunten mee te nemen die "toevallig" binnen het deelgebied vallen.

In de praktijk en vooral tijdens de modelontwikkeling, wordt het programma vele malen gebruikt voor een beperkt deel van de regio (bijvoorbeeld voor één komberging). De gebruikte regio kan dan eenvoudig begrensd worden door een rechthoek op de kaart, waardoor de berekeningen niet voortdurend voor de hele Waddenzee worden gemaakt. Deze "clipping" wordt geregeld in de configuratie file van het model (zie [Listing 4.1 op bladzijde 51](#)).

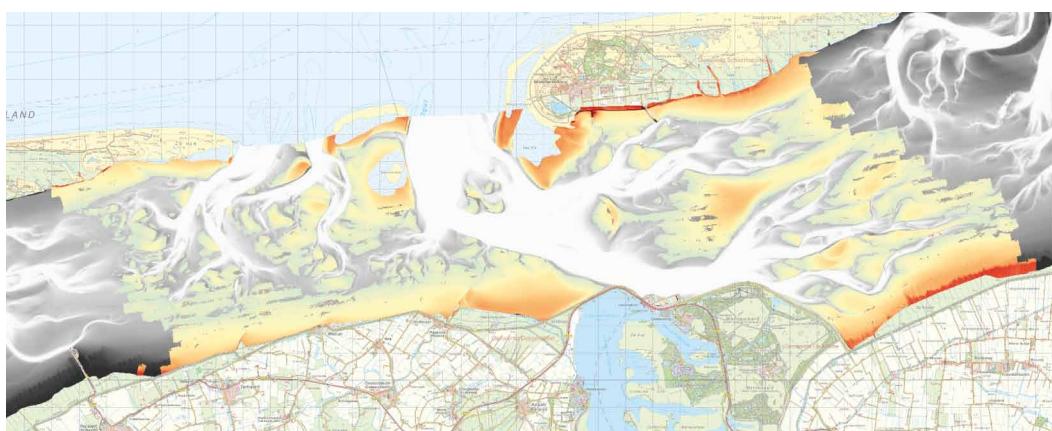


Figuur 2.1. Regiokaart met indeling in kombergingen: Marsdiep (1), Eijerlandse Gat (2), Vlie (3), Borndiep (4), Pinkgat (5), Zoutkamperlaag (6), Eiland balg (7), Lauwers (8), Schild (9), Eems (10) en Dollard (11). De combinatie van de 11 kombergingen vormt de regiokaart, het gebied waarvoor Wadmap input accepteert en berekeninggen maakt.

2.1.1 Input files

De regiokaart als combinatie van alle kombergingen wordt ingelezen in ASCII grid format. De file staat in een folder (directory) met kaarten van deelgebieden. De naam van deze folder en de naam van de kaart worden gelezen van de Wadmap configuratie file (zie [Listing 4.6 op bladzijde 59 in Hoofdstuk 4](#)).

De kaarten van de kombergingen fungeren als deelgebied kaarten. Ook van de combinatie van Pinkebat en Zoutkamperlaag is een kaart gemaakt. Andere deelgebieden zijn onderscheiden ten behoeve van een vergelijking met vogelaantallen die immers niet per komberg maar juist per eiland bepaald worden (zie de lijst in [Tabel B.3 op bladzijde 89](#) en de toelichting bij [Listing 4.7 op bladzijde 61](#)).



Figuur 2.2. Lidar hoogtekaart voorjaar 2010. De kaart dekt het droogvallend gebied van Pinkebat Zoutkamperlaag grotendeels af, maar niet helemaal volledig.



Figuur 2.3. Lidar voorjaar 2010 gecombineerd met de Cyclus 5 hoogtekaart. Getoond is de hoogtekaart tussen -200 cm en +200 cm op een kleurschaal van blauw via lichtgeel naar rood. Plaatsen dieper dan -200 cm zijn wit. De begrenzing van de kaart in het westen en oosten is de begrenzing van de "regio" waarvoor de data worden gelezen in berekeningen voor Pinkebat en Zoutkamperlaag. De kombergingen zelf vallen binnen de "regio" (zie [Figuur 2.1](#)).

2.2 Hoogtekaarten (Deltares)

In [Figuur 2.2](#) is de Lidar hoogtekaart afgebeeld voor het voorjaar van 2010. De Lidar kaart heeft betrekking op het Pinkebat Zoutkamperlaag, het gebied waarvoor de wadvogel monitoring wordt uitgevoerd. Voor deze en voor alle andere Lidar

kaarten geldt dat ze het droogvallend wad weliswaar grotendeels afdekken, maar niet helemaal voldoende voor het habitat model. De "gaten in de kaart" kaarten worden daarom opgevuld met de Cyclus 5 hoogtekaart gebaseerd op lodingskaarten ([Elias & Wang, 2013](#)). [Figuur 2.3](#) laat het resultaat zien. De kaart waarmee de gaten worden opgevuld wordt overigens bepaald door verwijzingen in de Lidarkaart versiefie (zie het voorbeeld in [Listing 4.2](#) op [bladzijde 53](#)).

2.3 Sibes benthos bemonstering (NIOZ)

De Sibes benthos bemonstering van het NIOZ ([Bijleveld et al., 2012](#); [Compton et al., 2013](#)) wordt door het model ingelezen in de vorm van een aantal CSV files, aangemaakt door Marten Tacoma en Anita Koolhaas van het NIOZ als exports uit de Sibes database. In [Listing 2.1](#) is een klein gedeelte te zien van de data voor 2010.

De sample_id nummers verwijzen naar de eigenlijke benthos data in aparte files voor kreeften, wormen, tweekleppigen en overige soorten. Een klein deel van de file voor tweekleppigen is te zien in [Listing 2.2](#).

De bovenstaande twee files zijn voor het habitat model toegankelijk via een zogenaamde "versiefie" (zie ook [sectie 4.2](#)). De versie file voor de Sibes 2010 data is te

Listing 2.1 Deel van Sibes positie gegevens voor jaar 2010. De file "SIBES_2010_position_v20150218.csv" werd ontvangen op 18-feb-2015. Het habitat model versienummer voor deze data is 2015.003.

```
sampleyear,sample_id,datum,rdx,rdy
2010,45242,2010-07-21,187298,606894
2010,45243,2010-07-21,187623,606896
2010,45244,2010-07-21,187822,606897
2010,45256,2010-07-21,189875,607913
2010,45257,2010-07-21,191376,607925
2010,45258,2010-07-21,191423,607925
2010,45259,2010-07-21,191426,607424
2010,45261,2010-07-21,191430,606923
2010,45262,2010-07-21,191432,606756
2010,45263,2010-07-21,191434,606423
2010,45264,2010-07-21,191547,606423
2010,45266,2010-07-21,191495,605410
2010,45267,2010-07-21,189901,604397
2010,45268,2010-07-21,190140,604398
2010,45269,2010-07-21,190030,604898
2010,45270,2010-07-21,189897,604897
2010,45271,2010-07-21,189893,605398
2010,45272,2010-07-21,190066,605399
2010,45273,2010-07-21,189890,605899
2010,45274,2010-07-21,189710,605898
2010,45275,2010-07-21,189786,606410
2010,45276,2010-07-21,189886,606411
2010,45277,2010-07-21,189882,606912
2010,45278,2010-07-21,189882,606934
2010,45280,2010-07-21,189879,607413
```

Listing 2.2 Deel van Sibes benthos data voor 2010. De datafile voor tweekleppigen "SIBES_2010_bivalve_v20150218" werd ontvangen op 18-feb-2015.

```

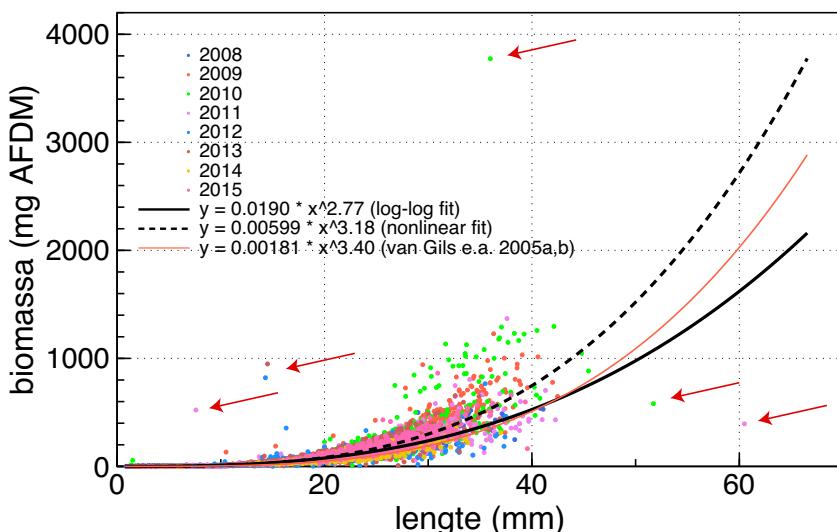
sampleyear,sample_id,naamcodesibes,type,lengthmm,st dabund,st dafdm,af dm_method
2010,45242,"Macbal","bivalve",3,115.486578040188,0.0461946312160752,1
2010,45242,"Macbal","bivalve",18.31,57.743289020094,5.79165188871542,1
2010,45242,"Scrpla","bivalve",31.2,57.743289020094,8.41319721022769,1
2010,45242,"Ceredu","bivalve",25.19,57.743289020094,9.78171316000392,1
2010,45242,"Hydulv","bivalve",3,3175.88089610517,1.24148071393202,1
2010,45242,"Hydulv","bivalve",2.5,5196.89601180846,1.4147105809923,1
2010,45242,"Hydulv","bivalve",2,7217.91112751174,0.981635913341597,1
2010,45242,"Hydulv","bivalve",1.5,1154.86578040188,0.115486578040188,1
2010,45242,"Macbal","bivalve",4.5,288.71644510047,0.461946312160752,1
2010,45242,"Macbal","bivalve",4,866.149335301409,0.721791112751175,1
2010,45242,"Macbal","bivalve",3.5,1732.29867060282,0.923892624321503,1
2010,45242,"Macbal","bivalve",4.5,57.743289020094,0.0750662757261222,1
2010,45242,"Macbal","bivalve",18,57.743289020094,5.88981548004958,1
2010,45242,"Macbal","bivalve",3.5,57.743289020094,0.0404203023140658,1
2010,45243,"Hydulv","bivalve",5,57.743289020094,0.173229867060282,1
2010,45243,"Macbal","bivalve",7.5,57.743289020094,0.306039431806498,1
2010,45243,"Macbal","bivalve",5.5,57.743289020094,0.132809564746216,1
2010,45243,"Macbal","bivalve",5,115.486578040188,0.19055285376631,1
2010,45243,"Macbal","bivalve",4.5,404.203023140658,0.317588089610517,1
2010,45243,"Macbal","bivalve",4,173.229867060282,0.127035235844207,1
2010,45243,"Macbal","bivalve",3.5,115.486578040188,0.0692919468241127,1
2010,45243,"Macbal","bivalve",3,57.743289020094,0.0346459734120564,1
2010,45243,"Macbal","bivalve",2.5,115.486578040188,0.0404203023140658,1
2010,45243,"Ceredu","bivalve",4.5,57.743289020094,0.0750662757261222,1
2010,45243,"Macbal","bivalve",7.83,57.743289020094,0.300265102904489,1
2010,45243,"Ceredu","bivalve",30.14,57.743289020094,16.9187836828875,1
2010,45243,"Scrpla","bivalve",29.83,57.743289020094,7.16594216739366,1
2010,45243,"Macbal","bivalve",10.02,57.743289020094,0.583207219102949,1
2010,45243,"Macbal","bivalve",9.62,57.743289020094,0.560109903494911,1
2010,45243,"Macbal","bivalve",19.57,57.743289020094,7.93392791136091,1
2010,45243,"Ceredu","bivalve",22.7,57.743289020094,12.1665109965338,1
2010,45243,"Ceredu","bivalve",25.99,57.743289020094,13.4888323150939,1
2010,45243,"Ceredu","bivalve",24.21,57.743289020094,12.6804262688126,1
2010,45243,"Ceredu","bivalve",24.55,57.743289020094,12.4494531127323,1
2010,45243,"Ceredu","bivalve",24.83,57.743289020094,12.2300286144559,1
2010,45244,"Macbal","bivalve",7.7,57.743289020094,0.196327182668319,1
2010,45244,"Macbal","bivalve",7,57.743289020094,0.19055285376631,1
2010,45244,"Macbal","bivalve",6,57.743289020094,0.109712249138179,1
2010,45244,"Macbal","bivalve",5,115.486578040188,0.132809564746216,1
2010,45244,"Macbal","bivalve",4.5,57.743289020094,0.0519689601180846,1
2010,45244,"Macbal","bivalve",4,346.459734120564,0.184778524864301,1
2010,45244,"Macbal","bivalve",3.5,173.229867060282,0.086614933530141,1
2010,45244,"Macbal","bivalve",3,57.743289020094,0.028871644510047,1
2010,45244,"Macbal","bivalve",2.5,115.486578040188,0.028871644510047,1
2010,45244,"Macbal","bivalve",2,173.229867060282,0.0461946312160752,1
2010,45244,"Ensdir","bivalve",14.2,57.743289020094,0.259844800590423,1
2010,45244,"Scrpla","bivalve",27.59,57.743289020094,6.8194824332731,1
2010,45244,"Ceredu","bivalve",4,57.743289020094,0.0808406046281315,1
2010,45244,"Ceredu","bivalve",2.5,57.743289020094,0.0346459734120564,1

```

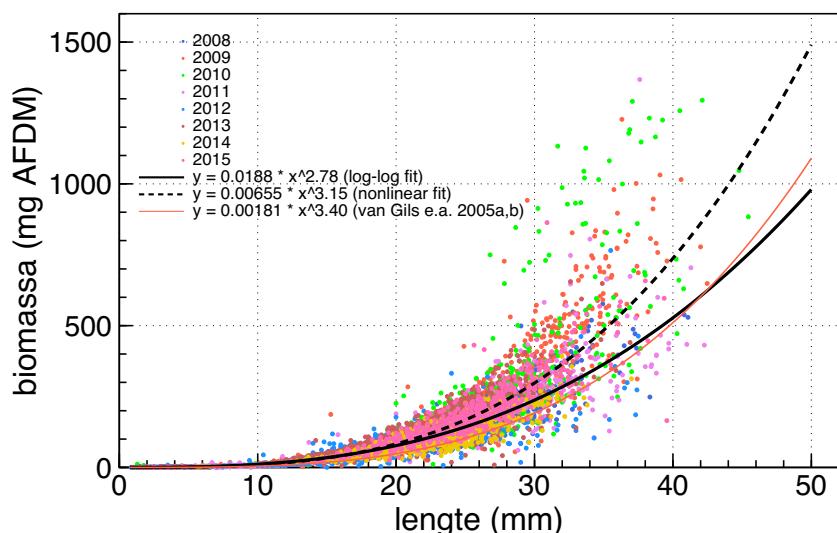
zien in [Listing 2.4](#) op [bladzijde 20](#). In deze file wordt verwezen naar de eigenlijke datafiles via de tekst variabele "DataFolder".

2.3.1 Sibes correctie

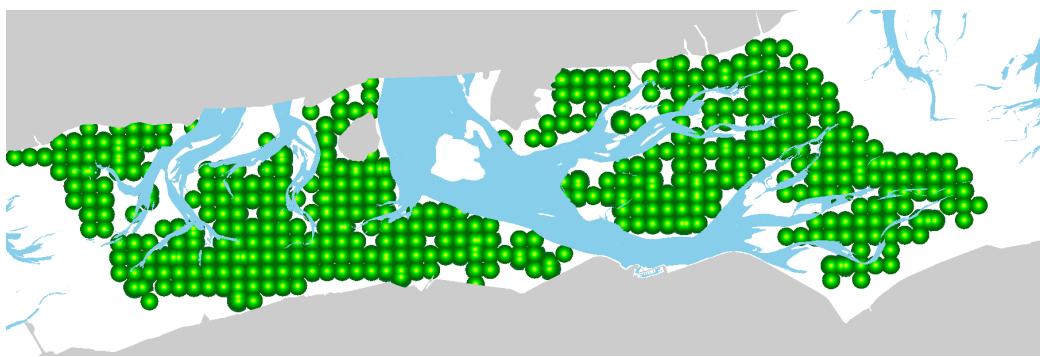
Behalve de variabele "DataFolder" in [Listing 2.4](#) staat er ook nog een variabele "DataCorrected" in de versiefile. Deze verwijst naar een andere folder waarin verder dezelfde serie datafiles staan. Uit deze files zijn echter een aantal benthos items verwijderd die zoveel te groot, te klein, te licht of te zwaar zijn dat ze met heel grote waarschijnlijkheid op fouten in de data verwerking berusten.



Figuur 2.4. Sibes kokkel data met enkele afwijkende punten aangeduid met pijltjes. Ook worden enkele regressielijnen getoond. The punten zijn "met de hand" verwijderd uit de datafiles en [Figuur 2.5](#) laat het resultaat zien.



Figuur 2.5. Sibes kokkel data voor Pinkegat Zoutkamperlaag zonder de afwijkende punten. De regressielijnen zijn ook aangepast.



Figuur 2.6. Sibes bemonstering Pinkebat Zoutkamperlaag in 2008. De groene kleuren zijn gerelateerd aan de afstand tot het dichtstbijzijnd de Sibes monsterpunt.

Figuur 2.4 illustreert dit voor de kokkel gegevens. Met pijltjes is aangegeven welke data items zijn verwijderd. Met name de kleine maar relatief zware kokkels zijn bijzonder storend in berekeningen aan vogels omdat ze leiden tot een onrealistisch hoge voedselopname.

In Figuur 2.5 zijn dezelfde data nogmaals te zien, nu na verwijdering van de (hoogstwaarschijnlijk) onjuiste items. Deze correcties zijn in latere versies van de gegevens overigens door het NIOZ uitgevoerd. Desalniettemin is het van belang dat Wadmap deze checks kan uitvoeren omdat onjuiste (te hoge) prooigewichten een buitenge-woon grote invloed hebben op de resultaten.

2.3.2 Locaties

In Figuur 2.6 zijn de locaties van de Sibes bemonstering van Pinkebat en Zoutkamperlaag te zien. De basisafstand tussen de monsters is 500 m. In het habitatmodel wordt aan elk monsterpunt een oppervlak drooggallend wad toegekend. De precieze criteria daarvoor worden besproken in sectie 3.3.

Listing 2.3 Deel van Sibes met slibgehaltes voor 2010.

"sampleyear"	"sample_id"	"median"	"silt"
2010,45284,157.5,16.7			
2010,45285,157.7,4.71			
2010,45286,144.7,24.2			
2010,45287,118.3,39			
2010,45288,200,16.6			
2010,45289,200.3,15.7			
2010,45332,201.2,4.33			
2010,45334,202,8.56			
2010,45267,176.6,2.32			
2010,45268,180.6,2.45			
2010,45269,153.4,9.54			
2010,45270,159.8,7.94			
2010,45271,157.1,3.86			
2010,45272,168.6,5.42			
2010,45273,165.7,4.07			
2010,45274,173.5,2.16			
2010,45275,186,0			

Listing 2.4 De Sibes 2010 versiefie met daarin verwijzingen naar de feitelijke datafiles (folders en filenamen), de namen van de kolommen van de CSV files die moeten worden gelezen, en verder commentaar en aantekeningen.

```

! Sibes data 2010
! 2015.003 Habitatmodel Sibes data. Alleen Pinkebat en Zoutkamperlaag.
! Nu met wadslakje. Hydrobia en andere slakken ontbreken omdat ze
! niet in een van de groepen thuis horen. Corrected for error in
! both abundance and dry weight, as reported by Marten Tacoma
!
Author = 'Anita Koolhaas, Marten Tacoma'
Version = 2015.003
Date = 18-february-2015

SampleYear = 2010
DataFolder = '2015-02-18 SIBES_NAM_v20150218'
DataCorrected = '2015-02-18 SIBES_NAM_v20150218_Corrected'

Positions = 'SIBES_2010_position_v20150218.csv'
Bivalves = 'SIBES_2010_bivalve_v20150218.csv'
Crustaceans = 'SIBES_2010_crustaceans_v20150218.csv'
Polychaetes = 'SIBES_2010_polychaete_v20150218.csv'
Sediment = 'SIBES_2010_sediment_v20150218.csv'

! column names
Uniek = 'sample_id'
xRD = 'RDX'
yRD = 'RDY'

Species = 'NaamcodeSibes'
Density = 'stdAbund'
DryWeight = 'stdAFDM'
Ring =
Length = 'lengthmm'

Median = 'Median'
SiltPerc = 'Silt'

! Kolomdefinities SIBES_NAM_v201512
! Posities, sediment en benthos zijn via de kolom sample_id aan elkaar te koppelen.
! Ontbrekende waarden worden aangegeven met een lege cel
! Species
! naamcodesibes: naamcode koppelend met de biota gegevens
! nameforsibesanalysis: groepering op identificatieniveau
! name_nl: Nederlandse naam of omschrijving
! type: soortgroep
! Posities
! datum: de sample datum in format jaar-maand-dag
! rdx & rdy: de positie
! Biota gegevens
! lengthm: lengte van bivalve in mm
! stdafdm: ash free dry mass is in gram per vierkante meter
! stdabund: aantal per vierkante meter
! afdm_method:
! 1. Gemeten waarde (geen correctie nodig)
! 2. Gemeten waarde, gecorrigeerd voor weegfout
! 3. Geschat getal op basis van inverse distance weighting
! 4. Geschat getal op basis van lengte-ijkcurve
! 5. Geschat getal op basis van gemiddelde waarde
! Sediment gegevens
! median: de mediane korrelgrootte in het sample
! silt: het volume % met korrelgrootte kleinder dan 63 micrometer

```

2.4 Gemeten slibgehaltes (NIOZ)

Het meten van slibgehaltes maakt deel uit van de Sibes benthos bemonstering van het NIOZ. Ook hier werkt het inlezen via het monster ID nummer in de positie file ([Listing 2.1](#)). Een voorbeeld van slibgehalte gegevens is te vinden in [Listing 2.3](#). De kolom "median" bevat de mediane korrelgrootte (μm), de kolom "silt" is het volume percentage slib ($< 63 \mu\text{m}$).

De bedoeling is om deze informatie te gebruiken om voor vogelsoorten zoals de Kluut een range van slibgehaltes te definiëren waarbinnen gefoerageerd kan worden. De selectie van geschikte plekken voor deze soort wordt nu nog gedaan met behulp van de foerageergebieden (zie [sectie 2.6](#)) die eigenlijk bedoeld zijn voor in- en uitschakelen van wadplaten die te ver van de hoogwatervluchtplaatsen af liggen.

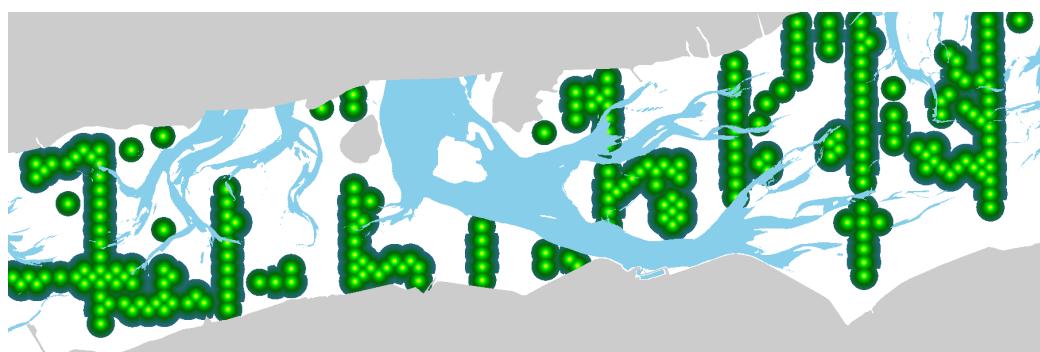
2.5 De WMR schelpdier survey en Schelpdierbanken

De WMR schelpdiersurvey ([Kamermans et al., 2003](#); [Bult et al., 2004](#); [van den Ende et al., 2015](#); [van Asch et al., 2015](#)) is een gestratificeerde bemonstering van mossel, kokkel en nonnetje. De mossel- en kokkelbanken worden intensief bemonsterd, maar het totaal aantal monsters is veel kleiner dan dat van de Sibes bemonstering. Wel zijn de monsters groter.

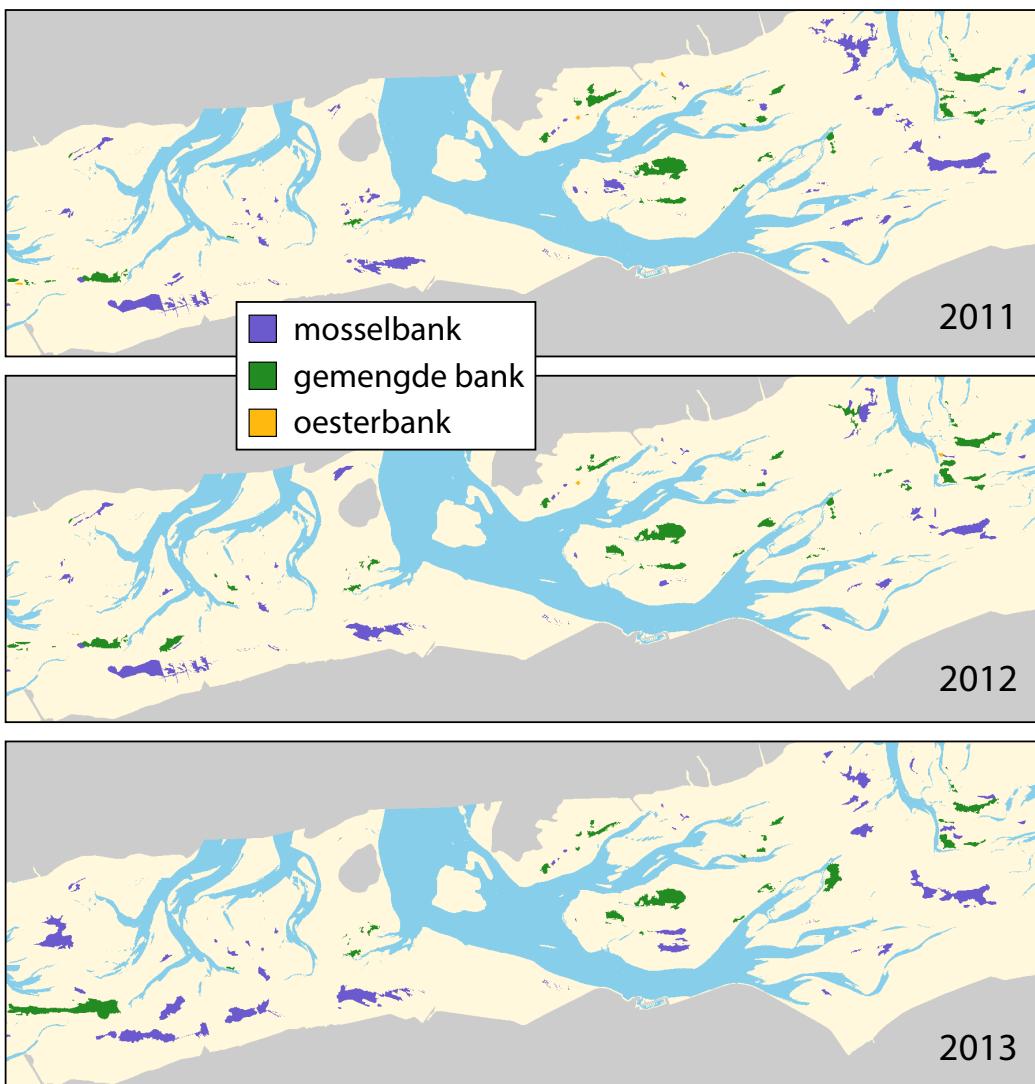
In [sectie 3.4](#) wordt uiteengezet hoe de Imares schelpdiersurvey wordt gecombineerd met de Sibes bemonstering. Daarbij wordt gebruik gemaakt van contourkaarten van mossel- en oesterbanken, eveneens afkomstig van het Imares te Yerseke.

[Figuur 2.8](#) geeft een indruk van enkele van deze kaarten voor het gebied rond Pinkebat en Zoutkamperlaag. De bankenkaart is beschikbaar voor elk van de jaren 2008–2015. De kaarten voor de meest recente jaren kunnen echter nog wijzigingen ondergaan naar aanleiding van toekomstige veldgegevens.

De kaarten worden door Imares aangeleverd als shapefiles en zijn met behulp van het open source GIS programma QGIS (www.qgis.org) omgezet naar bitmaps op het 20 m grid van de waddenzee hoogtekaarten. De bitmaps worden door het habitat model ingelezen.



Figuur 2.7. Monster posities van de Imares schelpdiersurvey 2014 in het Pinkebat en Zoutkamperlaag gebied. De groene "circels" rondom de monsters hebben een straal van 600 m.

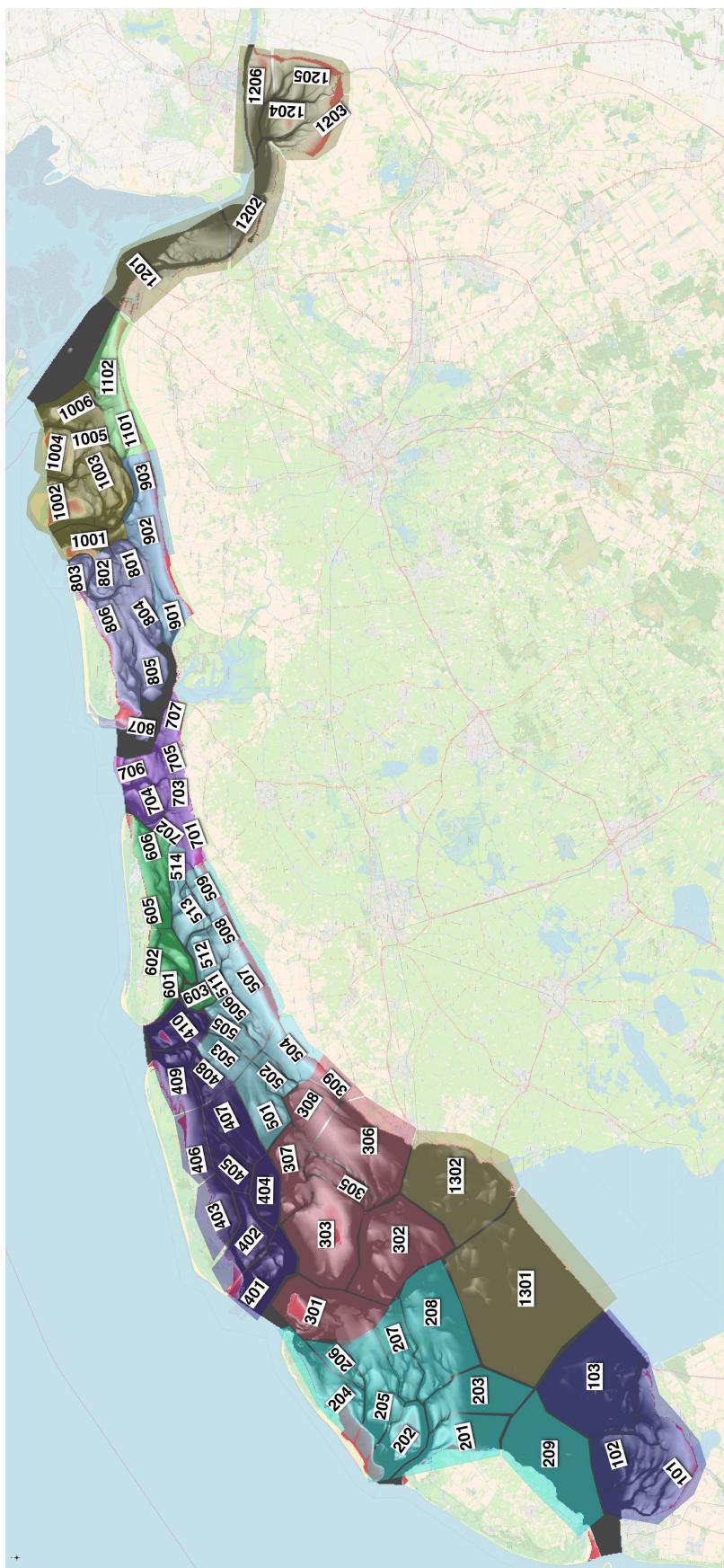


Figuur 2.8. WMR kaarten van mossel- en oesterbanken 2011, 2012 en 2013. Het figuur toont alleen de gegevens voor het gebied van Pinkegat en Zoutkamperlaag.

2.6 Foerageergebieden

Van sommige wadvogelsoorten zoals bijvoorbeeld de Tureluur is bekend dat ze tijdens het foerageren bij afgaand water geen brede geulen oversteken. Dat heeft hoogstwaarschijnlijk niets te maken met het ontbreken van voedsel op de wadplaten aan de overkant van de geul, maar met andersoortige voorkeuren of en/of risicofactoren.

Om met dit soort factoren rekening te kunnen houden is de Waddenzee ingedeeld in foerageergebieden ([Figuur 2.9](#)). De indeling onder West-Ameland en voor het Pinkegat-Zoutkamperlaag gebied is gemaakt door Marcel Kersten (EcoSense) op basis van ervaring en aanvullend veldwerk. De indeling is gebaseerd op de natuurlijke grenzen tussen wadplaten, maar houdt tevens rekening met zichtlijnen in het verlengde van geulen en strekdammen om het veldwerk te vereenvoudigen. Voor de rest van de Waddenzee zijn andere ter plekke bekende waarnemers geraadpleegd.



Figuur 2.9. Indeling van de Waddenzee in foeragegegebieden. Foeragegegebieden met een gelijk honderdtal in de nummers behoren tot eenzelfde deelgebied. Van deze deelgebieden zijn aparte kaarten gemaakt die zijn toegevoegd aan de verzameling kombergingskaarten. De indeling in deelgebieden die daarmee wordt gerealiseerd bestaat naast de indeling in kombergingen. De reden is dat het getijdenritme van wadvogels zich niet afspeelt in een komberging maar juist onder de eilanden tussen de eilanden. Voorzover sommige foeragegegegebieden iets overlappen met het vasteland of de eilanden wordt dit automatisch gecorrigeerd door de regiokaart ([sectie 2.1](#)).

Listing 2.5 Versiefile voor de foerageergebiedenkaart in [Figuur 2.9](#). Voor een deel van de vogelsoorten is de lijst foerageergebieden weergegeven.

```

! Foerageergebied kaart
! =====
! 2015.001 Foerageergebieden zoals getekend door Marcel in 2015
! 2017.001 Met correcties van Marcel en uitgebreid naar de hele Waddenzee
!       zoals getekend door Bruno en besproken in Leeuwarden met o.a.
!       Marinus Brijker. Volledige weergave van de gemaakte spreadsheets
!       voor alleen Tureluur en voor de soorten die overal kunnen
!       foerageren.
! 2017.002 Met aanvullingen en correcties door Marcel Kersten,
!       Hans Schekkerman, Bruno Ens, Marinus Brijker e.a.
!       Getekende kaarten zijn op de volgende manier aangepast:
!       1. Begrensd door de grenzen van de kombergingen kaart Waddenzee
!       2. gaps tussen de foerageergebieden (ivm onnauwkeurig tekenen)
!          opgevuld op basis van nearest value m.b.v. FillGaps.f90 in
!          "ConvertShapefiles/Foerageergebieden" folder
! 2018.001 Dezelfde cijfers voor de soorten als 2017.002. Gebiedsdekend
!       gemaakt voor de gecorrigeerde regiokaart
!       Avis omnivora toegevoegd (27-feb-2018)
! 2018.002 Correcties door HSch. Bij alle soorten, meeste bij Bontbek,
!       Kluut, Steenloper.
!       Zie excel 'Voedselgebieden_Wadvogels_Waddenzeebreed_2017_4.xls'
!       voor toelichting en beslisregels.
! 2018.003 Gebied 104 vervangen door 1301 en Gebied 304 vervangen door 1302
! 2018.004 Enkele aanpassingen om consistentie te verbeteren.
!

Author = 'Hans Schekkerman, Marcel kersten, Kees Rappoldt, Bruno Ens'
Version = 2018.004
Date   = 17-Dec-2018

Folder    = 'maps'
File      = 'Foerageergebieden2018003' ! in ASCII grid format
AreaCount = 1302                      ! number of foraging areas on map,
                                         ! numbered in [1, AreaCount]

! gebruik van foerageergebieden ; indien 0 worden ALLE gebieden gebruikt
! de alleseters zijn overal
AlleProoieneter = 0
AlleSchelpeneter = 0
AlleKreefteneter = 0
AlleWormeneter = 0

Shelduck      = 0
Oystercatcher = 0
Redshank      = 101, 102,
                 201, 204, 206, 209,
                 303, 306, 308, 309,
                 403, 406, 409,
                 504, 507, 508, 509,
                 601, 602, 605,
                 701, 703, 705, 707,
                 803, 806, 807,
                 901, 902, 903,
                 1002, 1004,
                 1101, 1102,
                 1201, 1202, 1203, 1204, 1205, 1206,
                 1302
. . . . .
. . . . .

```

Behalve de aanwezigheid van geulen speelt ook de afstand tot het dichtstbijzijnde gebied dat geschikt is als hoogwatervluchtplaats een rol voor sommige soorten.

De kaart met foerageergebieden is aangemaakt in ASCII grid format en wordt ingelezen door Wadmap via een bijbehorende versiefile. De versiefile [Listing 2.5](#) op [bladzijde 24](#) ihoort bij de indeling in [Figuur 2.9](#) (zie over versiebeheer ook [sectie 4.2](#)). In de versiefile staat ook voor iedere vogelsoort een lijst met de gebruikte foerageergebieden. Een waarde nul betekent dat *alle* foerageergebieden worden door de betreffende vogelsoort worden gebruikt.

2.6.1 Discussie

Bovenstaande methodiek roept de vraag op sommige platen niet toch gebruikt zouden worden door een bepaalde vogelsoort als de populatie van die soort veel groter zou zijn. Het gaat hier tenslotte om de geschiktheid van de wadplaten voor foeragerende wadvogels en niet om de aanwezige aantallen die nog door veel meer factoren bepaald worden, grotendeels gelegen buiten het waddengebied.

Het bepalen van de geschiktheid van een gebied voor vogels die er nooit komen kan echter nauwelijks worden gezien als het monitoren van een natuurwaarde. Het gebiedsgebruik tijdens periodes met piekaantallen is daarom leidend voor het al of niet meenemen van een foerageergebied.

Dus als een vogelsoort tijdens een periode met hoge aantallen gebruik maakt van een foerageergebied dan wordt dat gebied meegenomen in de berekening van de proxies. Voor vogelsoorten waarvan niet zeker is of ze een bepaald foerageergebied gebruiken kan dat in een periode met hoge aantallen relatief eenvoudig worden nagegaan met behulp van tellingen van de hoog- en laagwatertrek over geulen en strekdammen.

2.7 Gegevens over de wadvogelsoorten (Sovon)

Om met de benthos gegevens iets zinnigs te kunnen berekenen voor de verschillende vogelsoorten moet ook kennis van het dieet en de foerageer efficiëntie in rekening gebracht worden. Gegevens daarover zijn bij elkaar gebracht door Hans Schekkerman van het Sovon en op de volgende bladzijden zijn daar enkele voorbeelden van te vinden.

In [Listing 2.6](#) staat de input file voor de Wulp. Bovenin de file staan het versienummer en de "version history". Daaronder staat een tabel met het dieet van de Wulp. Er zijn twee soorten prooien. De belangrijke prooien hebben een "1" in de kolom "Main" en voor de minder belangrijke staat daar een "0". Voor de Wulp wordt de voedselopname berekend met het model van [Goss-Custard et al. \(2006\)](#), dus de benodigde parameter waarden staan in de file.

Voor de Kanoet wordt een ander model gebruikt, dat van [Hirakawa \(1995\)](#) en [Van Gils et al. \(2005\)](#) waarin bij de voedselkeuze rekening wordt gehouden met de hoeveelheid ballast (de harde delen van de schelpen) die door de maag verwerkt kan worden. De parameters voor dat model staan dan ook in file "Knot_2016_002.txt" in [Listing 2.7](#) op [bladzijde 27](#).

Listing 2.6 Vogel parameter file voor de Wulp. De file beschrijft het dieet en de parameters voor het forageermodel van Goss-Custard *et al.* (2006). De file in precies deze vorm is een input file voor Wadmap.

```

! Eurasian Curlew foraging parameters
! 2015.001 initial version, Goss-Custard functional response
! 2016.001 [HG] maximum probing depth added, energy requirements adjusted
! 2016.002 equivalent prey incorporated
! 2018.001 Nonnetje deleted from (long) prey list, parameters for G-C functional response adapted for Prey=Zeeduizendpoot
! to match FR observed in Wadden Sea at PreyMass=112 mgAFDW (vdKam ea 2004 fig 4.26, Zwarts & Esselink 1989)

Author = 'Hans Schekerman'
Version = 2018.001
Date = 16-Mar-2018

!
!          jan   feb   mrt   apr   mei   jun   jul   aug   sep   oct   nov   dec
NeededPerDay = 1070.0, - , - , - , - , - , - , 856.0, - , - , - ! [kJ] daily metabolic energy requirement;
! estimated as xBMR equivalent to those in Red Knot

ForagingTime = 12.0 ! [ h ] foraging time used to evaluate intake rate
BirdMass = 757.0 ! [ g ] currently not used
DigestionEff = 0.8 ! [ - ] fraction of food intake available for metabolic use
FoodJoulePerMG = 22.0 ! [kJ/g] energy content of food per AFDW in gram (or Joule per milligram)
MaxDepth = 137.0 ! [ mm ] maximum probing depth equates to bill length (sexes averaged)

SiltPerc = 0.0, 100.0 ! [%] guessed range (nog niet uitgezocht)

```

Prey	Main	ParamA1	ParamA2	ParamA3	ParamB1	ParamB2	ParamB3	USL
'strandgaper'	1	-1.947	0.245	0.365	-2.96	1.423	-1.121	100.
'strandkrab'	1	-1.947	0.245	0.365	-2.96	1.423	-1.121	40.
'veelkleurige zeeduizendpoot'	1	-2.285	0.245	0.365	-1.84	1.423	-1.121	170.
'wadpier'	1	-1.947	0.245	0.365	-2.96	1.423	-1.121	100.
'slijkgaper'	0	-1.947	0.245	0.365	-2.96	1.423	-1.121	100.
'scheelpkokerworm'	0	-1.947	0.245	0.365	-2.96	1.423	-1.121	100.

```

! Formulas all prey species (interspecific prediction by Goss-Custard et al. 2006 Biol. Rev. 81:501-529 with correction)
=====
! IntakeRateN (Nprey/s) = IntakeRateMg / PreyAFDW
! IntakeRateMg (mgAFDW/s) = if PreyLengthmm < USL, (Asymptote * PreyDensity / (Halfasympmt + PreyDensity), else 0
! Asymptote = exp(ParamA1 + ParamA2 * ln(BirdMass) + ParamA3 * ln(PreyAFDW)) [ParamA1 = -2.082 + 0.27/2, see GC et al]
! Halfasympmt = exp(ParamB1 + ParamB2 * ln(BirdMass) + ParamB3 * ln(PreyAFDW))
! [parameter values recalculated from dta in paper as params in paper give nonsensical results]

```

Listing 2.7 Vogel parameter file voor de Kanoet. De file beschrijft het dieet en de parameters voor het foerageermodel van Hirakawa (1995) en Van Gils *et al.* (2005). De file in precies deze vorm is een input file voor het habitat model.

```

! Red Knot foraging parameters
!
! 2015.002 Digestive Rate Model DRM
! parameters for:
!   - funct response model: van Gils et al (2005ab) DRM model instead of Goss-Custard interspecific prediction.
!   - energy requirements month-specific, based on van Gils ea (2003) instead of 2.5*BMR all year.
!
! 2016.002 [HG] maximum probing depth added

Author = 'Hans Schekkerman'
Version = 2016.002
Date = 15-Mar-2016

=====
ModelName = 'KnotVanGils'
=====

! [kJ] daily metabolic energy requirement (vGils ea 2003 J Exp Biol)
! [mg ballast/s] max. digestive capacity (vGils ea 2003)
jan   feb   mrt   apr   mei   jun   jul   aug   sep   oct   nov   dec
NeededPerDay = 316.0, 309.0, 296.0, 277.0, 251.0, 240.0, 230.0, 229.0, 241.0, 260.0, 291.0, 306.0
MaxBallastRate = 3179, 379, 561, 538, 422, 317, 176, 176, 230, 258, 453, 429, 557
ForagingTime = 12.0 ! [ h ] foraging time used to evaluate intake rate
BirdMass = 120.0 ! [ g ] currently not used
DigestionEff = 0.725 ! [ - ] fraction of food intake available for metabolic use
FoodJoulePerMG = 22.0 ! [ kJ/g ] energy content of food per AFDW in gram (or Joule per milligram)
MaxDepth = 35.0 ! [ mm ] maximum probing depth equates to bill length
SiltPerc = 0.0, 100.0 ! [ % ] guessed range (nog niet uitgezocht)
=====

Prey      Main    a      Ce     Xe     Ch     Sh     Xh     Ck     Xk     USL
'kokkel', 1  0.00105  0.00181  3.402  3.24   10.0  2.0   0.0278  3.545  12.
'nonnetje', 1  0.00105  0.00349  3.564  2.23   10.0  2.0   0.00608  3.999  16.
,strandgaper', 1  0.00105  0.01377  2.617  2.23   10.0  2.0   0.0857  2.512  17.
'wadslakje', 1  0.00105  0.07211  2.076  0.28   1.0   0.0   0.4159  1.926  10.  !USL=estimated
,strandkrab', 1  0.00105  0.1140   2.303  0.03396  1.0   2.937  0.1452  2.486  15.  !USL=estimated
,garnaal', 1  0.00105  0.02553  1.866  0.0000023 1.0   4.407  0.02032  1.931  25.  !USL=estimated
=====
```

Vervolg Listing 2.7

```

! Formulas all prey species
=====
! MEIR = metabolisable energy intake rate (W)
! i = prey type (species&size)
! BIR = ballast intake rate (mg/s)
! D = PreyDensity (#/m2)
! L = PreyLength (mm)
! a = instantaneous area of discovery (m2/s) [hence aD = encounter rate (#/s)]
! p = probability of acceptance at encounter (determined by selection procedure; constraint: p=0 if L>USL)
! e = metabolisable energy content of prey (J)
! h = handling time (s)
! k = ballast mass of prey (mg)
! c = max. digestive capacity (mg ballast/s)
! USL = upper size limit of ingestible prey (mm)

IntakeRateN (Nprey/s) = MEIR / e
MEIR = sum[i=1..n] (a[i] D[i] p[i] e[i]) / (1 + (sum[i=1..n] (a[i]D[i] p[i] h[i])))
BIR = sum[i=1..n] (a[i] D[i] p[i] k[i]) / (1 + (sum[i=1..n] (a[i]D[i] p[i] h[i])))

BIR <= C
a = 0.00105 m2/s
e[i] = 0.725 * 22 * Ce[i] * L ** Xe[i]
h[i] = Gh[i] * (L/Sh[i]) ** Xh[i]
k[i] = Ck[i] * L ** Xk[i]

[van Gils ea 2005a,b]
[van Gils ea 2005a,b]
[Piersma 1995, van Gils ea 2005a,b]
[van Gils ea 2005a,b]

! p[i] is found with the graphical procedure explained in van Gils ea 2005a. Steps involved include:
! 1. Ranking prey types (=species/length combinations) by descending digestive quality (=e/k)
! 2. Calculating expected MEIR and BIR for all combinations of prey types in the diet
! See fig1 in van Gils et al for further details of procedure

```

2.8 Gemeten waterstanden (Rijkswaterstaat)

Waterstanden worden door Rijkswaterstaat elke 10 minuten gemeten op de permanente getijdestations in en rond de Waddenzee ([Tabel 2.1](#)). Deze metingen zijn vrij verkrijgbaar op <https://waterinfo.rws.nl/#!/nav/expert>.

Het habitat model maakt voor het berekenen van droogvalduren gebruik van delen van het programma InterTides ([Rappoldt et al., 2014](#)). InterTides is gebaseerd op lineaire interpolatie binnen driehoeken van getijdestations (zie [Figuur 2.10](#)) om op willekeurige plekken een waterstand te schatten. Door voor een periode van maanden of jaren elke 10 minuten de berekening te herhalen kan voor een willekeurig punt een droogvalduur worden geschat en kan ook een droogvalduurkaart worden berekend.

Ontbrekende delen van de tijdsseries worden door InterTides aangevuld met behulp van astronomisch getij dat berekend wordt uit de gemeten tijdsseries met behulp van een harmonische analyse (zie [Appendix D](#)).

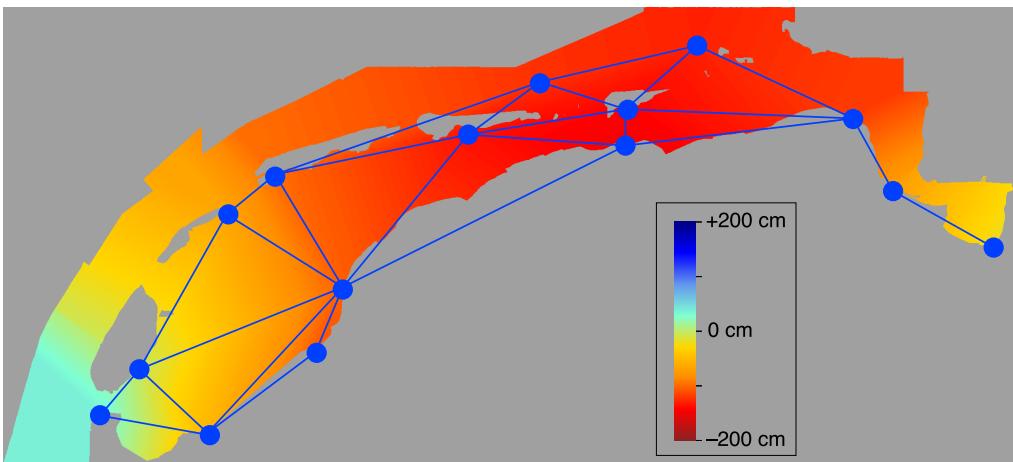
Bij de interpolatie tussen getijdestations wordt gecorrigeerd voor faseverschillen tussen die stations. Zonder correctie zouden faseverschillen leiden tot een verlaging van de amplituden het getij (getijslag) op tussengelegen punten (zie voor details [Appendix C](#)).

2.8.1 Amplitudekaart?

Een punt van aandacht is een mogelijk verschil in amplitude van het getij tussen de zeegaten en het wad achter de eilanden. Ook zou de amplitude kunnen variëren langs de brede geulen vanaf de zeegaten tot aan de kust. Voor dergelijke ruim-

Tabel 2.1. Getijdestations in en rond de Waddenzee waarvoor de waterstanden elke 10 minuten worden gemeten door Rijkswaterstaat. Vanaf 1985 zijn ruim 20 miljoen waterstanden gemeten die beschikbaar zijn via live.waterbase.nl. In de tabel zijn ook de havengetallen opgenomen en de gemiddelde vertaring ten opzichte van Harlingen.

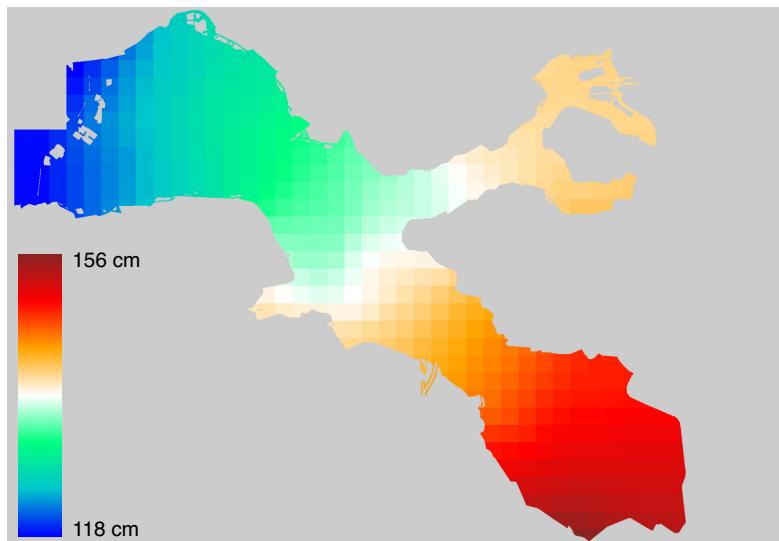
Station	Havengetallen		vertaring (min)
	Hoogwater	Laagwater	
Den Helder	6:11	12:56	-170
Oudeschild	7:12	13:29	-120
Den Oever	7:30	14:20	-90
Vlieland Haven	7:50	14:08	-80
Kornwerderzand	8:17	15:14	-30
West Terschelling	8:21	14:28	-60
Wierumergronden	8:30	14:56	-40
Harlingen	8:37	16:04	0
Lauwersoog	9:18	15:22	0
Huibertgat	9:09	15:34	0
Nes	9:13	15:16	-10
Schiermonnikoog	9:29	15:21	0
Eemshaven	10:20	16:50	+70
Delfzijl	11:05	17:32	+120
Nieuwstatenzijl	11:42	-	+150



Figuur 2.10. Interpolatie van de waterstand tussen getijdestations in het Waddengebied met behulp van het programma InterTides (Rappoldt *et al.*, 2014). InterTides gebruikt lineaire interpolatie *binnen* de ingetekende driehoeken of *langs* de dichtstbijgelegen rand. Daarbij wordt gecorrigeerd voor faseverschillen tussen de getijdestations. Voor details zie sectie 3.2, Appendix C en Appendix D.

telijke verschillen in de getijslag kan door InterTides in principe worden worden gecorrigeerd met behulp van een amplitudekaart.

Voor de Oosterschelde bestaat zo'n amplitudekaart en is afgebeeld in [Figuur 2.11](#). De gemeten waterstanden worden dan eerst genormeerd, d.w.z. gedeeld door de amplitude bij het meetstation. De interpolatie voor een willekeurig punt P vindt dan plaats met behulp van de genormeerde metingen en het resultaat wordt weer omgerekend door de berekende waterstand op P te vermenigvuldigen met de amplitude ter plaatse, afgelezen van de amplitudekaart.



Figuur 2.11. Kaart van de M2-component van het getij in het Oosterschelde estuarium. De kaart is afkomstig van Rijkswaterstaat, en is gebruikt voor het simuleren van de droogvalduur in een modelstudie voor scholeksters (Rappoldt & Ens, 2013b)).

In de Waddenzee zijn de verschillen in amplitude tussen de getijdestations veel minder groot dan in de Oosterschelde. Toch zou het gebruik van een amplitudekaart vermoedelijk leiden tot een verbetering van de berekende droogvalduren. Een amplitudekaart van de Waddenzee is afgeleid van de door Nauw *et al.* (2017) met een fysisch stromingsmodel berekende waterstanden. Voor dat doel zijn deze waterstanden aan EcoCurves ter beschikking gesteld in de vorm van een serie harmonische componenten voor 201584 punten in de Waddenzee.

Met behulp van deze informatie zijn kaarten berekend van de gemiddelde hoogwaterstand, de gemiddelde laagwaterstand en het gemiddelde verschil tussen die twee voor de periode 2009–2011 waarop de berekeningen van Nauw *et al.* (2017) betrekking hebben (zie de Figuur E.1, Figuur E.2 en de amplitudekaart Figuur E.6 op bladzijde 109 in Appendix E).

Helaas lijkt het achterliggende fysische model de snelheid waarmee het water van grote wadplaten afstroomt ernstig te onderschatte. Dat is een bekende tekortkoming van stromingsmodellen in een systeem van geulen en platen (Wang, pers. comm.). Daardoor zijn met name de berekende laagwaterstanden veel te hoog voor de wantijnen en voor geulen die daar in de buurt liggen. In Appendix E wordt dit aangetoond aan de hand van berekeningen voor het meetstation Holwerd. Deze poging heeft dus helaas geen bruikbare amplitude kaart opgeleverd.



Figuur 2.12. Kaart van de bodemdaling tussen 2007 en 2013. Het hoekige patroon in de bodemdalingzones onstaat doordat de daling is afgerond op hele centimeters. De 4 kleuren van de legenda zijn op de kaart iets lichter omdat ze enigszins transparant zijn gemaakt. Merk ook op dat het lichtblauw van de Noordzee op de topografische kaart geen bodemdaling voorstelt.

2.9 Kaart van de bodemdaling (NAM)

De bodemdaling kan in Wadmap op twee manieren plaatsvinden. De eerste methode is een uniforme daling, overall evenveel. De tweede methode is een daling volgens een bodemdalingskaart. De gebruikte kaart is afgebeeld in Figuur 2.12 en beschrijft de bodemdaling in de periode 2007–2012 (van 1 januari 2007 tot 1 januari 2013). Zie voor input settings Listing 4.11 op bladzijde 68 in sectie 4.4.3).

De kaart is gebaseerd op een spreadsheet gemaakt door de NAM en ontvangen onder de naam "Bodemdalings in wzee final.xlsm". Het spreadsheet berekent de bodemdaling afgerond op hele centimeters, voor willekeurige punten in de kombergingen¹.

¹In het spreadsheet van de NAM wordt voor punten buiten de eigenlijke Waddenzee, dus voor het vasteland en de eilanden, geen bodemdaling berekend. Dat is uitgeschakeld ten behoeve van de kaart in [Figuur 2.12](#). Dit heeft voor de berekeningen geen consequenties omdat de vogel habitat berekeningen ook alleen maar gedaan worden voor de Waddenzee zelf. De afronding op hele centimeters kan in het spreadsheet overigens niet worden uitgeschakeld.

HOOFDSTUK 3

Van kaarten, benthos en waterstanden naar proxies

Proxies worden berekend voor een deelgebied, en voor een bepaalde vogelsoort-seizoen combinatie. Deelgebieden zijn bijvoorbeeld Pinkebat, Zoutkamperlaag, of het combinatiegebied Pinkebat-Zoutkamperlaag (zie [Tabel B.3](#) in [Appendix B](#)). De geïmplementeerde vogelsoort-seizoen combinaties zijn te vinden in [Appendix A](#).

3.1 De berekende proxies

Voordat proxy waarden kunnen worden uitgerekend worden eerst voor elk punt i van de Sibes bemonstering de volgende grootheden berekend:

S_i Het aan punt i toegekende oppervlak ("surface area"), gecorrigeerd voor de grenzen van het beschouwde deelgebied en het gebruik van foerageergebieden, en eventueel gecorrigeerd de oppervlakteverandering bij bodemdaling. Details worden uiteengezet in [sectie 3.3](#).

B_i De totale biomassa (in gram asvrij droog per m^2) van de benthos soorten voorzover die deel uitmaken van het dieet van de beschouwde vogelsoort.

F_i De functionele respons oftewel de opnamesnelheid van voedsel voor de beschouwde vogelsoort ((in milligram asvrij droog per seconde). Deze opname snelheid wordt berekend uit de gewichten en dichthesen van de prooien in het dieet met behulp een model voor de functionele respons. Zie verder [sectie 3.5](#).

S_i^* Gelijk aan het oppervlak S_i voor die punten waarvoor de opnamesnelheid F_i boven een bepaalde grenswaarde uitkomt. Deze grenswaarde wordt bepaald door de dagelijkse voedselbehoefte van de beschouwde vogelsoort in het beschouwde seizoen. Voor punten i met een opnamesnelheid onder de grenswaarde is S_i^* gelijk aan nul. Het punt "doet dan niet mee".

E_i De gemiddelde droogvalduur ("exposure time") berekend voor het sibes punt i , meestal berekend met de waterstanden tijdens het beschouwde seizoen in het jaar van de monitoring. Een droogvalduur is een fractie van de tijd en is dus een getal tussen de 0 en 1. Voor details zie [sectie 3.2](#).

Als bovenstaande grootheden zijn berekend worden de proxies voor het deelgebied gevonden als sommen over de n Sibes punten:

geschikt oppervlak $\sum_{i=1}^n S_i^*$, het oppervlak waarvoor de opnamensnelheid boven de grenswaarde komt. Het oppervlak wordt omgerekend in hectare.

BM_aanwezig $\sum_{i=1}^n B_i \times S_i$, het totale drooggewicht van de prooien in het dieet. De uitkomst wordt omgerekend in ton.

BM_oogstbaar $\sum_{i=1}^n B_i^* \times S_i$, het totale drooggewicht van de prooien in het dieet waarbij de biomassa B_i^* op nul is gezet op die plaatsen waarvoor de opnamensnelheid niet boven de grenswaarde komt. De uitkomst wordt omgerekend in ton.

BM_oogstbaar_droog $\sum_{i=1}^n B_i^* \times S_i \times E_i$, gelijk aan BM_oogstbaar maar met de droogvalduur als extra weging. De uitkomst wordt omgerekend in ton.

FR_aanwezig $\sum_{i=1}^n F_i \times S_i$, het product van functionele respons en oppervlak opgeteld voor het deelgebied. De eenheid is $\text{mg s}^{-1} \text{ ha}$.

FR_oogstbaar $\sum_{i=1}^n F_i^* \times S_i$, het product van functionele respons en geschikt oppervlak, waarbij de functionele respons F_i^* op nul is gezet op die plaatsen waarvoor de opnamensnelheid F_i niet boven de grenswaarde komt. De eenheid is $\text{mg s}^{-1} \text{ ha}$.

FR_oogstbaar_droog $\sum_{i=1}^n F_i^* \times S_i \times E_i$, gelijk aan FR_oogstbaar, maar met de droogvalduur als extra weging. De eenheid blijft $\text{mg s}^{-1} \text{ ha}$ omdat de droogvalduur dimensieeloos is.

Bovenstaande formules suggereren dat een proxy berekening een sommatie is over de Sibes punten in het beschouwde deelgebied. Dat is niet helemaal waar. Wadmap kent de voor elk Sibes punt berekende proxywaarde toe aan alle kaartpixels van het aan dat punt i toegekende oppervlak. Vervolgens wordt de sommatie uitgevoerd op het niveau van de kaartpixels.

Dat levert een iets beter resultaat omdat Sibes punten net buiten het beschouwde deelgebied toch een bijdrage kunnen leveren (een deel van "hun oppervlak" ligt binnen het deelgebied). Het probleem van een Sibes punt dat dichtbij de grens tussen twee deelgebieden ligt is op deze wijze dus opgelost. Verder kunnen pixels worden genegeerd die niet tot het droogvallend wad of tot een beschikbaar foorageergebied behoren.

In de volgende secties wordt nader ingegaan op de berekening van de afzonderlijke grootheden.

3.2 De droogvalduur E_i

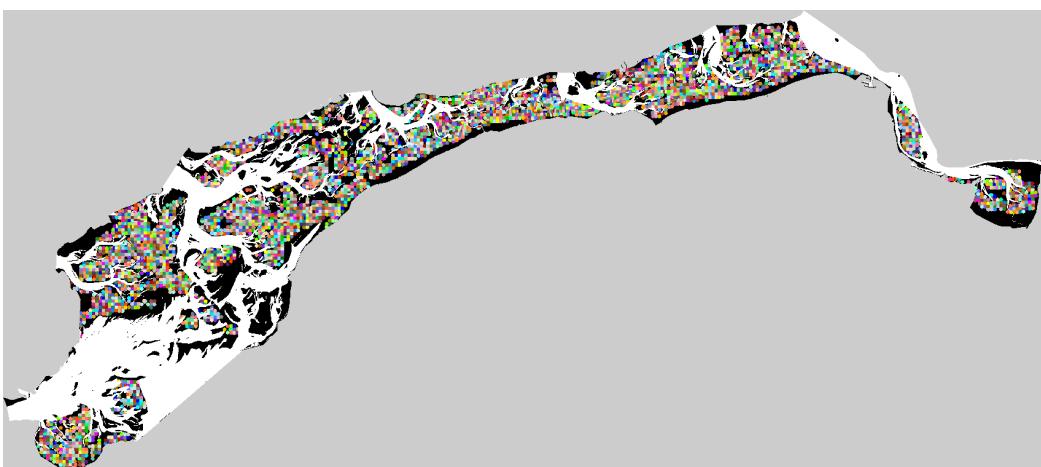
De droogvalduur E_i van sibes punt i wordt meestal berekend voor de maand gedefinieerd in de beschouwde vogelsoort-seizoen combinatie ([Tabel A.1](#)) en voor het jaar waarvoor de proxies worden berekend, het jaar van de sibes bemonstering.

Het tijdvenster voor de droogvaldureberekening kan echter verbreed worden met dagen vóór en/of ná de opgegeven maand, of de jaarkeuze kan veranderd worden in een vast jaar of een reeks van jaren. In [Listing 4.12](#) op [bladzijde 69](#) in [sectie 4.4.4](#) worden de betreffende instellingen besproken. Ten behoeve van een variantie analyse, bijvoorbeeld, is het zinvol om in een reeks modelruns alle beschikbare "sibes jaren" te combineren met een reeks vaste "waterjaren".

De gebruikte InterTides module houdt rekening met het feit dat een droogvalduur berekend moet worden tussen twee hoogwater tijdstippen. Bij begin en eind van



Figuur 3.1. Oppervlak toegekend aan Sibes punten berekend met een resolutie van 20 m voor de bemonstering van Pinkegat Zoutkamperlaag van 2015. De toegekende oppervlakken zijn in willekeurige kleuren weergegeven. Pixels met een hoogte onder de -200 cm zijn wit om de geulen weer te geven. Niet toegekend oppervlak is zwart en grijze gebieden liggen buiten de regiokaart.



Figuur 3.2. Oppervlak toegekend aan Sibes punten berekend met een resolutie van 100 m voor de bemonstering van de Waddenzee van 2009. Zie ook de tekst bij [Figuur 3.1](#).

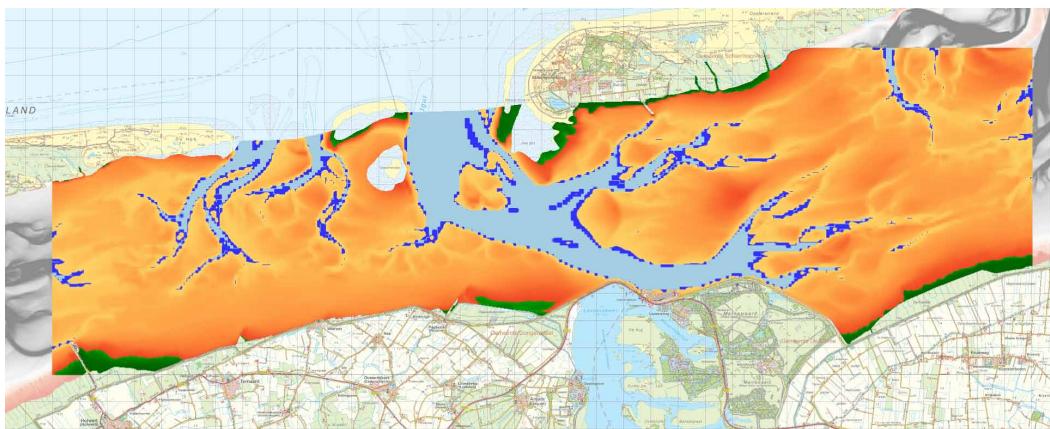
Iedere beschouwde periode wordt daarom het dichtstbijzijnde tijdstip van hoogwater opgezocht (zie echter de configuratie parameter "AdjToNearHT" in [Listing 4.5](#) op [bladzijde 56](#)).

3.3 Het oppervlak S_i toegekend aan de Sibes punten

De Sibes bemonstering wordt in principe uitgevoerd op een grid met een afstand van 500 m tussen de monsters. Daarin zit wel enige variatie vanwege de toevoeging van extra punten en vanwege de positie van geulen e.d.

3.3.1 Algoritme

Het oppervlak dat " behoort" bij een Sibes punt is daarom meestal niet een vierkant van 500×500 m (25 ha) met het monster in het midden, maar wordt uitgerekend, in principe op basis van het Voronoi diagram behorende bij de Sibes locaties (<https://nl.wikipedia.org/wiki/Voronoi-diagram>).



Figuur 3.3. Droogvalduurkaart berekend met de waterstanden van 2015 voor de Lidar hoogtekaart uit de herfst van 2014. Positieve droogvalduren onder 1% zijn donkerblauw aangegeven (oevers van geulen). Droogvalduren boven 85% zijn groen (kwelders en hooggelegen zandplaten). Deze gebieden worden *niet* tot het drooggallend wad gerekend en worden daarom buiten de berekening van proxies gehouden.

De berekening wordt meestal gedaan met een resolutie van 100 m, dus voor regio-kaart pixels van 100×100 m ([sectie 2.1](#)). De regiokaart wordt hiertoe overigens opnieuw geschaald om de pixel grootte van 20 m naar 100 m te brengen. Een pixel wordt toegerekend aan Sibes punt i als:

- Het op minder dan 400 m afstand van punt i ligt,
- Het dichter bij punt i ligt dan bij elk ander Sibes punt.

Komt hierdoor het totaal aan punt i toegekend oppervlak boven de 30 ha, dan worden pixels verwijderd, te beginnen met degene die het verstuif van punt i verwijderd zijn.

Daar waar de Sibes punten op een regelmatig grid liggen op een onderlinge afstand van 500 m leidt deze procedure tot toekenning van een vierkant gebied van 25 ha aan elk Sibes punt. Waar de afstand tussen de punten groter is wordt het toegekende oppervlak groter dan 25 ha maar komt niet boven de 30 ha.

De hierboven genoemde resolutie, de minimale afstand en het maximum toegekende oppervlak zijn instelbare parameters. De waarden worden gelezen van de Wadmap configuratie file. Parameter namen en verdere toelichting zijn te vinden in [sectie 4.3](#) (zie in het bijzonder [Listing 4.5](#) op [bladzijde 56](#) en [Listing 4.6](#) op [bladzijde 59](#)).

In [Figuur 3.1](#) is een voorbeeld te zien van het resultaat berekend met een resolutie van 20 m, gebruik makend van gegevens voor *alleen* de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag. Het kaartje in [Figuur 3.2](#) toont de oppervlakken berekend voor de hele Waddenzee gebruik makend van een kaartresolutie van 100 m.

In de volgende secties wordt uiteengezet hoe het toegekende oppervlak nog wordt veranderd of gecorrigeerd.

3.3.2 Drooggallend wad

Randen van geulen zijn in het algemeen relatief steil. Het kan daarom voorkomen dat een deel van het aan een Sibes punt toegekende oppervlak S_i nooit of zeer zelden droogvalt.

Ook delen van het gebied die juist heel lang droogvallen worden buiten het beschouwde oppervlak gehouden omdat daar kweldervorming zal zijn opgetreden (zeekraal, slijkgras, e.d.). Voor kweldervorming geldt een droogvalduur grens van ongeveer 85%, geschat met behulp van luchtfoto's (Google Earth), de terreinkennis van Johan Krol, en een berekende droogvalduurkaart.

Voor het berekenen van de proxies beschouwen we daarom alleen plaatsen met een droogvalduur in de range [1%, 85%]. Daartoe wordt voor de ingelezen hoogtekaart met InterTides modules ([sectie 2.8](#) en [Appendix C](#)) een droogvalduurkaart berekend, gebruik makend van de waterstanden gemeten in het *kalenderjaar* van de bemonstering¹.

In [Figuur 3.3](#) is het resultaat te zien voor de waterstanden van 2015, berekend voor de hoogtekaart uit de herfst van 2014 (gebruikt voor de vogelsoort-seizoen combinaties in herfst en winter). We zien dat er inderdaad langs de geulen steile oevers met een droogvalduur onder 1%. Langs de rand van eilanden komen hoge droogvalduren voor van kwelders en hoge zandplaten.

Dergelijke gebieden worden buiten de berekening van de proxies gehouden. Dat betekent dat de betreffende kaartpixels uit het beschouwde deelgebied worden verwijderd. Het aan Sibes punten toegekende oppervlak zal daardoor iets afnemen, maar ook het niet toegekende oppervlak neemt af.

Ook hier geldt dat de genoemde parameter waarden worden de droogvalduurberekening en voor de droogvalduur grenzen worden gelezen van de Wadmap configuratiefile (zie parameter "ExposedFractionRange" in [Listing 4.5](#) op [bladzijde 56](#) die gevuld wordt door de parameters voor de droogvalduurberekening).

Wellicht ten overvloede zij hier nog opgemerkt dat de droogvalduur voor het bepalen van wat droogvallend foorageergebied is wordt berekend over één of meerdere jaren en *dus niet dezelfde droogvalduur is* als de seizoens droogvalduur E_i voor de proxy berekeningen besproken [sectie 3.2](#).

3.3.3 Foorageergebieden

De onderscheiden foorageergebieden zijn te zien in [Figuur 2.9](#) op [bladzijde 23](#). Als een vogelsoort géén gebruik maakt van een foorageergebied (zie [Listing 2.5](#) op [bladzijde 24](#)) dan wordt het aan Sibes punten toegekend oppervlak binnen dat foorageergebied niet in rekening gebracht (doordat een deel van de pixels behorende bij het Sibes punt buiten het gebruikte gebied liggen).

Deze procedure garandeert dat het niet uitmaakt of een Sibes monster *net wel* of *net niet* in een foorageergebied ligt. Ook als het Sibes punt zelf binnen ongebruikt gebied ligt draagt het nog altijd bij aan de proxies met dat deel van het toegekend oppervlak dat wel in gebruikt gebied ligt.

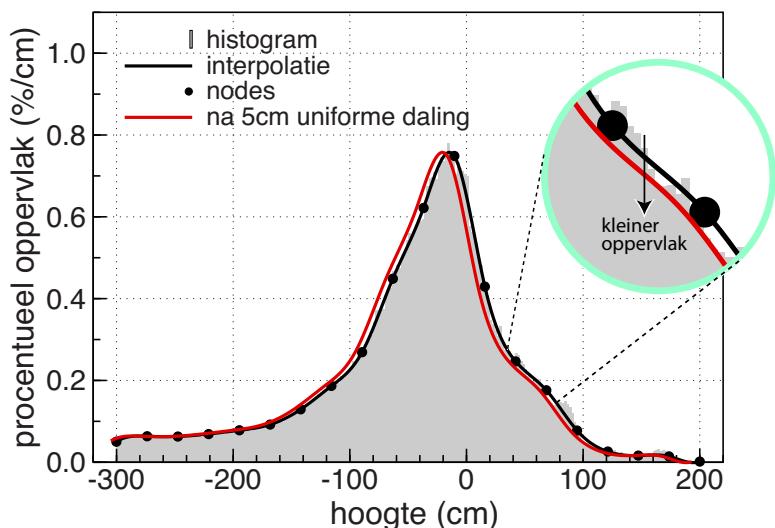
Dat betekent dat proxy waarden ook voor relatief kleine deelgebieden berekend kunnen worden. Het resultaat wordt natuurlijk door minder benthos monsters bepaald, maar in ieder geval niet door de preciese ligging van de monsters ten opzichte van de rand van het beschouwde gebied.

¹Genoemd is hier de standaard instelling voor monitoringsberekeningen. Het tijdvenster voor de droogvalduurberekening kan eventueel verbreed worden met jaren voóór en/of ná het jaar van de bemonstering, of de jaarkeuze kan op een vast interval gezet worden. Ten behoeve van een variantie analyse, bijvoorbeeld, kunnen in een reeks modelruns alle beschikbare "sibes jaren" worden gecombineerd met een reeks vaste "waterjaren".

3.3.4 Bodemdaling met opschuivend voedsel

Als de bodem daalt en het voedsel daalt mee, dan is het enige wat verandert de droogvalduur. Dus in die situatie veranderen ook alleen die proxies waarin de droogvalduur van de Sibespunten E_i voorkomt.

Omdat bodemdaling een proces is dat jaren in beslag neemt ligt het meer voor de hand dat ecologische zones opschuiven en hun hoogte en daarmee hun droogvalduur behouden. Voor een recht strand verandert er dan niets. De zones schuiven iets op in de richting van het land maar veranderen verder niet van grootte.

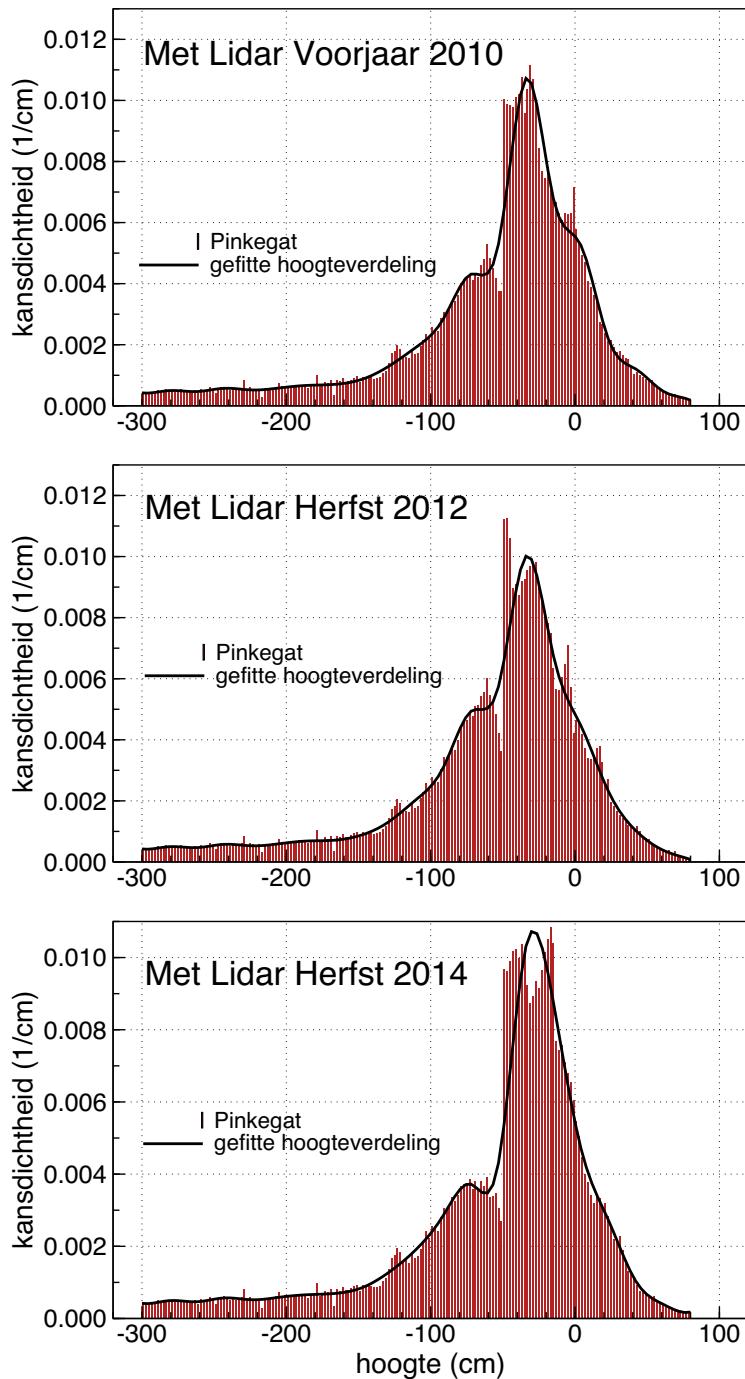


Figuur 3.4. Voorbeeld van een hoogteverdeling. Het histogram is gemaakt voor een klassebreedte van 2 cm. De stippen zijn de "nodes" van de berekende gladde curve. In het uitvergrote gedeelte van de grafiek is te zien hoe deze gefitte curve door het histogram loopt. De rode curve heeft dezelfde vorm als de zwarte, maar is 5 cm naar links geschoven. Deze figuur is afkomstig uit [Rappoldt & Ens \(2013a\)](#).

Voor een wadplaat omringd door water echter zal het oppervlak aan lang droogvalend voedsel kleiner worden. De ecologische zones verschuiven immers in de richting van het midden van de plaat waar het beschikbaar oppervlak kleiner is dan aan de randen. Als we aannemen dat de verandering klein is en dat de zones elkaar niet (via het water) beïnvloeden, en als we verder aannemen dat de daling uniform is en dat de vorm van de plaat niet verandert, dan kunnen we de oppervlakteverandering berekenen uit de hoogtekaart.

Deze berekening is gedaan op de schaal van de beschouwde deelgebieden. De gridcellen (20×20 m) van de hoogtekaart worden ingedeeld in een groot aantal hoogteklassen. De scores geven een histogram waardoor een "nette functie" is berekend². De curve geeft weer hoeveel oppervlak aanwezig is op een bepaalde hoogte. [Figuur 3.4](#) laat een voorbeeld zien uit [Rappoldt & Ens \(2013a\)](#) waar op dezelfde manier gerekend is met opschuivend voedsel. Het histogram en de resulterende verdeling zijn zodanig geschaald dat het totale oppervlak onder de curve 100% bedraagt.

²De functie is berekend als een "least-squares cubic spline fit" met subroutine SC2FIT beschreven in [JPL Section 395, Supercomputing and Computational Mathematics Group \(1998\)](#).



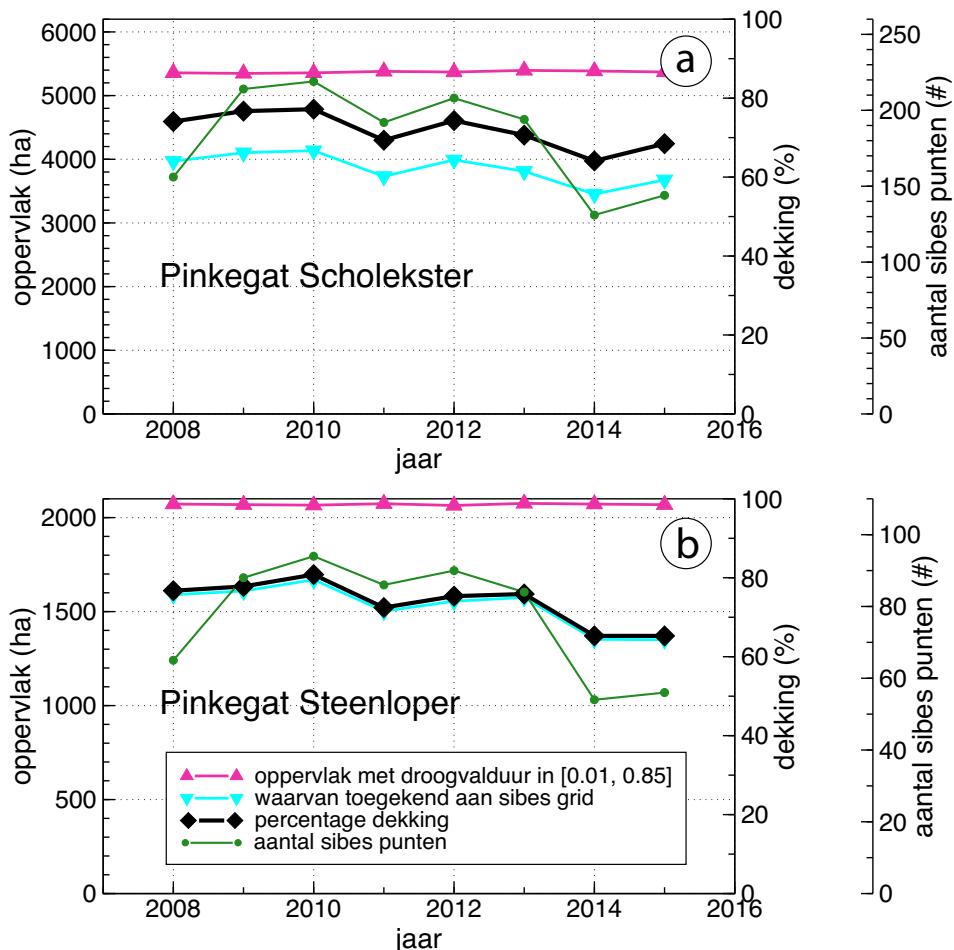
Figuur 3.5. Hoogteverdelingen voor het Pinkegat berekend met de Lidar kaarten voor voorjaar 2010, hefst 2012 en herfst 2014. Ontbrekende delen zijn aangevuld met de Cyclus 5 hoogtekaart voor de Waddenzee ([Elias & Wang, 2013](#)) (zie ook [Figuur 2.2](#) en [Figuur 2.3](#)).

Een uniforme bodemdaling betekent dat de hoogteverdeling naar links schuift. In het voorbeeld van [Figuur 3.4](#) is dat gedaan voor een bodemdaling van 5 cm. Als nu (bijvoorbeeld) kokkels zich vestigen op een hoogte van +50 cm dan zien we in het uitvergrote deel van de hoogteverdeling dat het beschikbaar oppervlak iets kleiner geworden is. Links van de top gebeurt het omgekeerde. De hoeveelheid laag gelegen oppervlak neemt iets toe door een uniforme bodemdaling.

Deze toe- of afname is eenvoudig in rekening te brengen door het oppervlak dat aan een sibes punt is toegekend te vermenigvuldigen met een correctiefactor. Deze correctiefactor ligt iets boven de 1.0 voor laaggelegen voedsel en iets onder de 1.0 voor hooggelegen voedsel en wordt (in het voorbeeld van [Figuur 3.4](#)) berekend als de verhouding tussen de rode en zwarte curve.

In [Figuur 3.5](#) zijn nog enkele hoogteverdelingen te zien berekend voor de combinatie van een Lidarkaart en de cyclus 5 hoogtekaart (zie [sectie 2.2](#)). Opvallend zijn de onregelmatigheden rond -50 cm ten opzichte van de verdelingen berekend met *alleen* de cyclus 5 hoogtekaart in [Rappoldt & Ens \(2013a, Figuur 3.3\)](#). Of dit echt in de Lidarkaarten zit of dat het probleem wordt veroorzaakt door de aansluiting tussen Lidarkaart en cyclus 5 is (nog) niet onderzocht.

Bij een niet-uniforme bodemdaling volgens een bodemdalkingskaart ([Figuur 2.12](#) op [bladzijde 31](#)) zijn de correctiefactoren op dezelfde manier berekend als voor een uniforme daling, dus op basis van de hoogtekaart voor de hele komberging. Er is dus geen poging gedaan om het opschuiven van de ecologische zones door te rekenen voor een bodemdalingsschotel (zie hierover ook de opmerking aan het eind van [sectie 4.4.3](#)).



Figuur 3.6. Gebruikt oppervlak en dekkingsgraad van de Sibes bemonstering voor deelgebied Pinkegat (zwarte lijnen). (a) Voor alle foerageergebieden (Scholekster). (b) Voor de foerageergebieden gebruikt door de Steenloper ([Figuur 2.9](#) en [Listing 2.5](#)).

3.3.5 Correctie voor onvolledige dekking

In [Figuur 3.1 op bladzijde 35](#) is te zien dat niet al het oppervlak van de komberingen wordt toegekend aan een Sibes punt. Dat blijft ook zo als we alleen het droogvallend wad beschouwen, het wad met een droogvalduur tussen 1% en 85%.

Daarmee ontstaat de mogelijkheid dat de berekende proxies van jaar tot jaar variëren alléén omdat de dekkingsgraad van de bemonstering varieert. Om dat te voorkomen worden de berekende proxies gedeeld door de dekkingsgraad van de bemonstering.

[Figuur 3.6](#) laat zien hoe de dekkingsgraad berekend wordt. Uitgangspunt is het wadoppervlak met een droogvalduur tussen 1% en 85%. Een gedeelte daarvan valt binnen de foerageergebieden die volgens [Listing 2.5](#) door de beschouwde soort gebruikt worden. Dat gedeelte is te zien in [Figuur 3.6](#) als een roze lijn. Een deel van dit oppervlak is toegekend aan Sibes punten en de toegekende fractie is de dekkingsgraad.

In [Figuur 3.6](#) is te zien dat de dekkingsgraad minder sterk fluctueert dan het aantal Sibes punten binnen het door de soort gebruikte gebied. Dat komt doordat het oppervlak toegekend aan de Sibes punten kleiner is als de punten dichtbij elkaar liggen, en ook doordat de preciese ligging van het monsterpunt (net binnen of net buiten het gebruikte gebied) geen invloed op het resultaat heeft (zie [sectie 3.3.1](#)).

Het delen van de proxies door de dekkingsgraad vormt een correctie voor niet-bemonsterd oppervlak. Het introduceert ook een nieuwe fout doordat het bemonsterde deel vermoedelijk niet representatief is voor het niet-bemonsterde deel van het door een vogelsoort gebruikte gebied.

3.4 De WMR schelpdiersurvey en de mosselbanken

Mosselbanken vormen een speciaal habitat in de Waddenzee waar niet alleen van gebruik wordt gemaakt door mossel etende vogelsoorten. De bedoeling is om dat habitat en de daar voorkomende prooien in toekomstige versies van het model beter te beschrijven. Vooralsnog zijn de WMR kaarten van de banken en de WMR schelpdiersurvey alleen gebruikt voor het verbeteren van de Sibes cijfers over mossel, kokkel en nonnetje.

Als een Sibes punt binnen een mossel- of mossel/oester-bank ligt (zie [Figuur 2.8](#)) dan worden de mossel, kokkel en nonnetjes gegevens van het dichtstbijzijnde WMR punt gebruikt inplaats van de Sibes data voor deze soorten. Slechts een paar procent van de Sibes punten echter valt binnen een mossel- of mengend bank.

Als een Sibes punt P buiten deze banken ligt *en* er ligt een Imares punt op het oppervlak toegekend aan P dan worden de WMR data voor kokkel, mossel en nonnetje gebruikt inplaats van de Sibes data. Liggen er meerdere WMR punten binnen het oppervlak behorend bij P dan wordt het dichtstbijzijnde gebruikt.

Omdat in het bijzonder buiten de banken de dichtheid aan Imares punten veel kleiner is dan die van Sibes punten wordt uiteindelijk bij ongeveer 1/5 deel van de Sibes punten de data voor mossel, kokkel en nonnetje vervangen.

Listing 3.1 Een algoritme voor voor prooi selectie volgens het Contingency Model (Charnov, 1976). De array GossCustard heeft voor iedere prooi een record GossCustard(i) met componenten als "handlingtime", "energycontent", "profitability" en de ranking "ProfitRank". Op basis van de profitability ranking wordt de prooiselectie loop verlaten met "EXIT CMselection" als de energie opname niet langer stijgt door nog een extra prooitype te accepteren.

```

! get ranking of Profitability
if (ActualItemCnt > 0) call indexx (GossCustard/Profitability, GossCustard/ProfitRank)

! determine maximum energy intake rate
TotalNumer = 0.0d0
TotalDenom = 1.0d0
EnergyRate = 0.0d0
CMselection: do j=n,1,-1
    if (ActualItemCnt==0) EXIT CMselection
    i=GossCustard(j)%ProfitRank ! start with highest ranking prey
    if (GossCustard(i)%EncounterRate == 0.0d0 ) CYCLE CMselection ! prey was thrown out already for other reasons
    if (GossCustard(i)%Profitability < EnergyRate) EXIT CMselection ! rest of prey not profitable enough to include

! include this prey to the diet
GossCustard(1)%Mfraction = 1.0d0
TotalNumer = TotalNumer + GossCustard(i)%EncounterRate * GossCustard(i)%EnergyContent
TotalDenom = TotalDenom + GossCustard(i)%EncounterRate * GossCustard(i)%HandlingTime
EnergyRate = TotalNumer / TotalDenom
end do CMselection

if (ActualItemCnt > 0) then
    ! determine output values
    DietFRmgPerS = 0.0d0
    Denominator = 1.0d0 + sum(GossCustard%CMfraction * GossCustard%EncounterRate * GossCustard/HandlingTime)
do i=1,n
    p = GossCustard(i)%DietItem
    if (p==0) CYCLE ! benthos item not eaten
    DietFRmgPerS(p) = DietFRmgPerS(p) + &
        (GossCustard(i)%CMfraction * GossCustard(i)%EncounterRate * GossCustard(i)%PreyAFDwmg) / Denominator
end do
FRmgPerS = sum(DietFRmgPerS)
EnergyIntakeRateW = DigestionEff * FRmgPerS
AboveAverageDemand = EnergyIntakeRateW * ForagingTime * 3600.0 > NeededPerDay(Month) * 1000.0
else
    DietFRmgPerS = 0.0d0
    FRmgPerS = 0.0d0
    EnergyIntakeRateW = 0.0d0
    AboveAverageDemand = .false.
end if

```

Listing 3.2 Het algoritme van Hirakawa (1995) voor prooi selectie volgens het Digestive Rate Model. De array drm heeft voor iedere prooi een record drm(i) met componenten als "handlingtime", "energycontent", "ballastcontent", "profitability", "ballastload" en "selected" (true or false). Het programma bevat statements met drm(i) voor prooi i, maar ook berekeningen voor bijvoorbeeld drm%DeltaX. Dat is de array van alle componenten DeltaX (het verschil tussen de prooi ballastload en de overall ballastload tijdens de iteratie).

```

! prey selection under digestive rate model
E = 0.0d0 ! Sum(encounter rate x energy content) current prey selection
K = 0.0d0 ! Sum(encounter rate x ballast content) current prey selection
H = 1.0d0 ! 1.0 + Sum(encounter rate x handling time) current prey selection
Slope = PI02_d ! halfPI, start ODL line as vertical line
MaxBR = MaxBallastRate(Month)
PreySelection: do
  if (n==0) EXIT PreySelection
  X = K / H ! current ballast, intake rate
  Y = E / H ! current energy intake rate
  drm%DeltaX = (drm%BallastLoad - X) ! note: for all prey types
  drm%DeltaY = (drm%Profitability - Y) ! note: for all prey types

  ! determine angle of (DeltaX, DeltaY) vectors relative to the slope of the current ODL
  where (drm%DeltaX /= 0.0d0 .or. drm%DeltaY /= 0.0d0)
    drm%Angle = mod(Slope - Atan2(drm%DeltaY, drm%DeltaX) + TWOPI_D, PI_D) ! angles relative to slope in [0,PI)
  elsewhere
    drm%Angle = 0.0d0
  end where

  ! select smallest angle but consider selectable items only (negative DeltaX and included, or positive DeltaX and not included)
  j = 0 ; MinAngle = TWOPI_D
  Search: do i=1,n
    if (drm(i)%DeltaX >= 0.0d0 .and. drm(i)%Fraction > 0.0d0) CYCLE Search ! this would exclude a profitable item
    if (drm(i)%DeltaX <= 0.0d0 .and. drm(i)%Fraction == 0.0d0) CYCLE Search ! this would include a bad item
    if (drm(i)%Angle > MinAngle) CYCLE Search
    j = i ; MinAngle = drm(i)%Angle
  end do Search
  if (j==0) EXIT PreySelection ! no selectable items anymore ; upper boundary of feasible area completed

  ! change for 0 -> 1 and 1 -> 0
  if (drm(j)%Fraction > 0.0d0) then ; Change = -1.0d0 ; else ; Change = +1.0d0 ; end if

  ! rates after complete inclusion / exclusion
  NewH = H + Change * drm(j)%EncounterRate * drm(j)%HandlingTime
  NewK = K + Change * drm(j)%EncounterRate * drm(j)%BallastContent
  NewE = E + Change * drm(j)%EncounterRate * drm(j)%EnergyContent

```

vervolg Listing 3.2.

```

!           if energy rate goes down, new prey is rejected and current selection is returned as energy optimum

!           maximum ballast rate reached?
!           if (NewK/NewH <= MaxBR) EXIT PreySelection

!           ordinary inclusion or exclusion of prey type j
!           drm(j)%Fraction = drm(j)%Fraction + Change
!           store new totals
H = NewH ; E = NewE ; K = NewK
new slope
Slope = Slope - MinAngle

else
    include/exclude part of prey item and exit prey selection ; solve BallastRate = MaxBR for new prey Fraction
    Solution is a change in probability ; either positive (for newly included prey) or negative (for prey already included)
    Change = (H * MaxBR - K) / (drm(j)%EncounterRate * (drm(j)%BallastContent - drm(j)%HandlingTime * MaxBR))
    drm(j)%Fraction = drm(j)%Fraction + Change
    this was the last change, H, E and K need not updated (not used below)
    EXIT PreySelection
end if

end do PreySelection

if (n > 0) then
    determine output values
    DietFRmgPerS = 0.0d0
    Denominator = 1.0d0 + sum(drm()%Fraction * drm()%EncounterRate * drm()%HandlingTime)
do i=1,n
    p = drm(i)%DietItem
    if (p=0) CYCLE ! benthos item not eaten
    DietFRmgPerS(p) = DietFRmgPerS(p) + (drm(i)%Fraction * drm(i)%EncounterRate * drm(i)%SibesAFDmg) / Denominator
end do
FRmgPerS = sum(DietFRmgPerS)

EnergyIntakeRateW = DigestionEff * FoodJoulePerMG * FRmgPerS
AboveAverageDemand = EnergyIntakeRateW * ForagingTime * 3600.0 > NeededPerDay(Month) * 1000.0
else
    DietFRmgPerS = 0.0d0
    FRmgPerS = 0.0d0
    EnergyIntakeRateW = 0.0d0
    AboveAverageDemand = .false.
end if

```

3.5 De functionele respons F_i

Voor alle soorten behalve de Kanoet, Rosse Grutto en Scholekster wordt de functionele respons (de voedselopname snelheid) berekend op basis van de vergelijkingen in [Goss-Custard et al. \(2006\)](#), in combinatie met prooiselectie volgens het "contingency model" ([Charnov, 1976](#)). Het algorithme voor prooiselectie staat uitgeschreven in [Listing 3.1](#) op [bladzijde 42](#).

Voor de Kanoet wordt de functionele respons berekend met het digestive rate model van [Hirakawa \(1995\)](#) dat voor de Kanoet is uitgewerkt door [Van Gils et al. \(2005\)](#). In dat model wordt rekening gehouden met de beperkte capaciteit voor de verwerking van "ballast" (de harde delen van de in zijn geheel gegeten schelpdieren). Dat betekent dat de energie opname geoptimaliseerd wordt tegen een constraint opgelegd door de maximale verwerkingsnelheid van ballast. [Listing 3.2](#) op [bladzijde 43](#) geeft een efficiënte implementatie van het algorithme voor prooiselectie van [Hirakawa \(1995\)](#).

Voor de Rosse Grutto wordt de opnamesnelheid voor de wadpier berekend met behulp van het werk van [Duijns et al. \(2015\)](#). Voor de overige prooien wordt ook "het default model" van [Goss-Custard et al. \(2006\)](#) gebruikt.

Voor de Scholekster wordt opname van kokkel, mossel en nonnetje berekend met de ook in Webtics ([Rappoldt et al., 2003; Rappoldt & Ens, 2013a](#)) gebruikte functionele respons. Voor kikkels is die gebaseerd op [Zwarts et al. \(1996\)](#), voor mossels op ([Zwarts et al., 1996](#)) en [Goss-Custard et al. \(2001\)](#) en voor nonnetjes op ([Hiddink, 2003](#)).

Voor de drie vogelsoorten met een "eigen" model voor de functionele respons wordt een call van Wadmap naar de functionele response module doorgesluisd naar een speciaal voor de betreffende soort geschreven module (zie ook de lijst Wadmap modules in [sectie 4.6](#)).

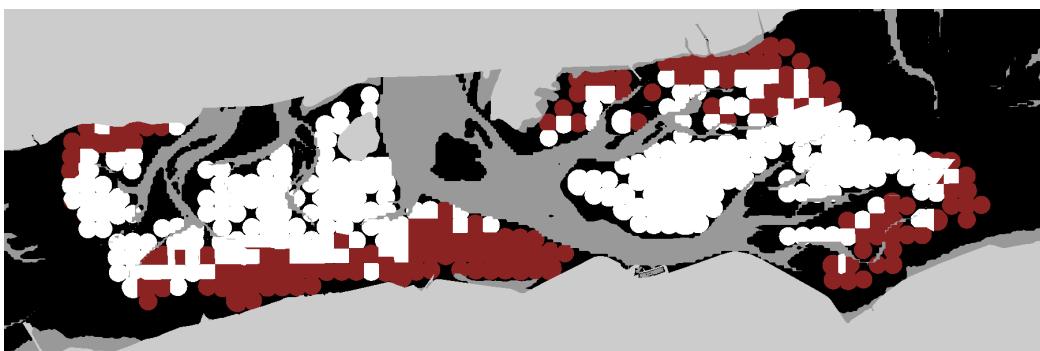
3.6 Proxykaarten

Proxy waarden voor een deelgebied worden berekend als de oppervlakte integraal van de aanwezige biomassa B_i^* , de oogstbare biomassa B_i^* , de droogvalduur-gewogen oogstbare biomassa $B_i^* \times E_i$, de functionele respons F_i , de functionele respons op oogstbare biomassa F_i^* en de droogvalduur-gewogen versie daarvan $F_i^* \times E_i$ (zie [sectie 3.1](#)).

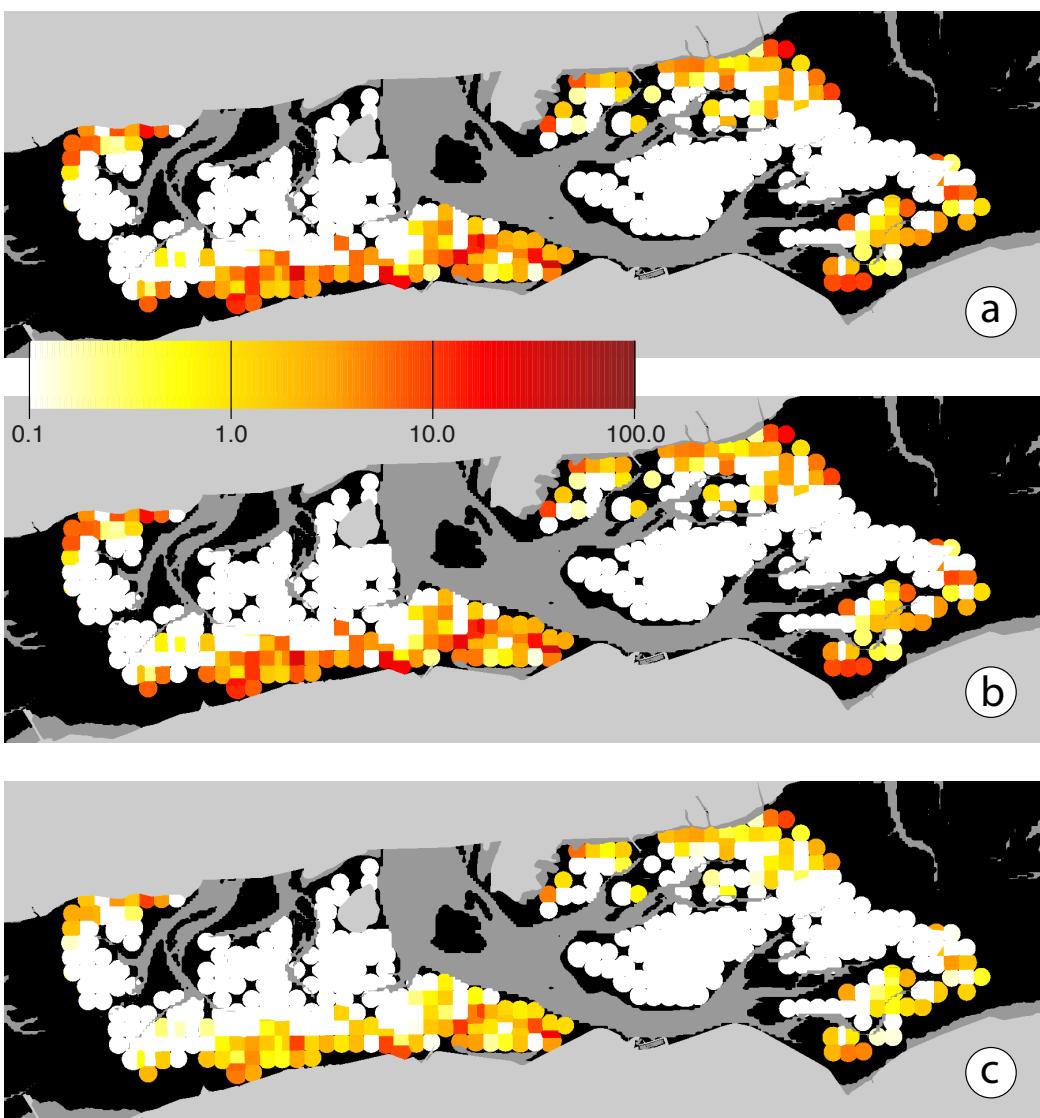
De sommatie over het oppervlak wordt feitelijk uitgevoerd door aan de kaartpixels behorend bij een Sibes punt i één van bovenstaande waarden toe te kennen³. Vervolgens wordt de optelsom gemaakt voor die pixels die binnen de grenzen van het beschouwde deelgebied vallen, behoren tot het gebruikte foageergegebied en behoren tot "droogvallend wad". Het resultaat wordt vermenigvuldigd met het oppervlak van een kaartpixel om de correcte oppervlakte integraal te krijgen.

Dit betekent dat van iedere proxy eerst een kaart gemaakt wordt en dat vervolgens voor elk deelgebied de optelsom wordt gemaakt. Deze worden geëxporteerd in ASCII grid format als de betreffende optie actief is (zie configuratie parameter "ExportProxyMaps" in [Listing 4.9](#) op [bladzijde 64](#)). In het geval van "full output" (zie

³Voor de proxy "geschikt oppervlak" wordt de waarde 1.00 toegekend aan pixels met een F_i boven de grenswaarde en de waarde 0.00 aan alle pixels waarvoor dat niet het geval is.



Figuur 3.7. Proxykaart "Geschikt oppervlak" voor de Turereluur zomer 2015 gebaseerd op Sibes monsters in *alleen* het Pinkegat Zoutkamperlaag gebied.

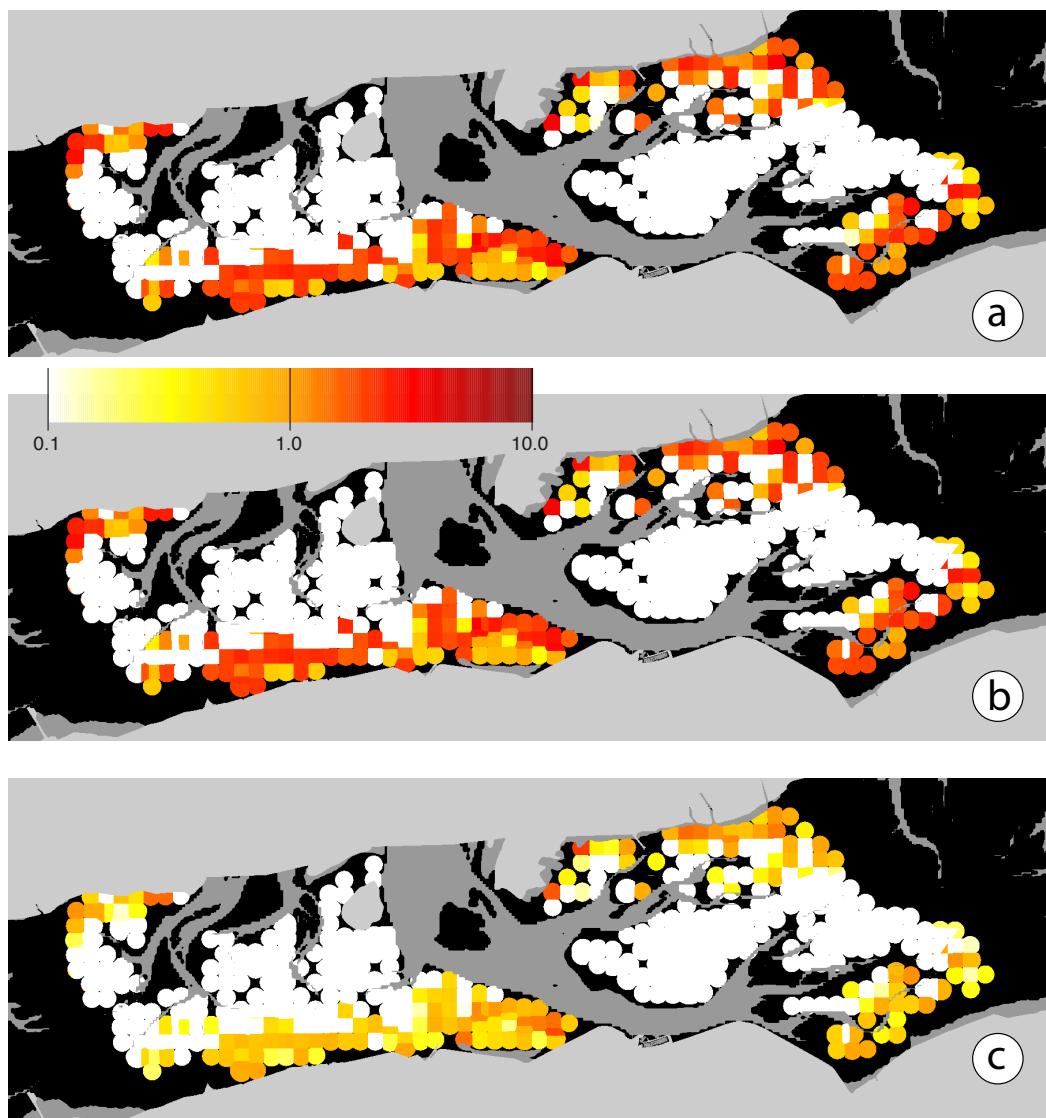


Figuur 3.8. Kaarten van de biomassa proxies voor Turereluur zomer 2015. (a) De prooi biomassa in gram AVD per m^2 , (b) De prooi biomassa daar waar de opname threshold gehaald wordt en (c) Vermenigvuldigd met de droogvalduur E_i .

sectie 4.5.1) worden er afbeeldingen van de proxykaarten gemaakt in TIF format. Bij het exporteren van kaarten en het maken van plaatjes worden pixelwaarden die buiten het foageergegebied van de vogelsoort vallen op 0.0 gezet.

Voor de Tureluur en een Sibes bemonstering van *alleen* Pinkegat-Zoutekamperlaag zijn enkele voorbeelden opgenomen. In [Figuur 3.7](#) zijn de Sibes punten bruin gekleurd waar de functionele respons boven de grenswaarde komt. Het midden van de Waddenzee is niet in gebruik volgens de foageergebieden lijst in [Listing 2.5](#). Het totale oppervlak van het in [Figuur 3.7](#) bruin gekleurde gebied is, na correctie voor dekkingsgraad, de waarde van de proxy "Geschikt Oppervlak".

In [Figuur 3.8](#) en [Figuur 3.9](#) zijn op dezelfde manier de biomassa en functionele respons proxies weergegeven op kaarten. De deelgebied proxies worden daaruit gevonden als een oppervlakte integraal die nog gecorrigeerd wordt voor de dekkingsgraad van het gebruikte deel van het beschouwde deelgebied.



Figuur 3.9. Kaarten van de functionele respons proxies voor Tureluur zomer 2015. (a) De functionele respons in mg/s, (b) De functionele respons in mg/s op die plaatsen waar de opname threshold gehaald wordt en (c) Vermenigvuldigd met de droogvalduur E_i .

Merk op de kleurschaal in [Figuur 3.8](#) en [Figuur 3.9](#) logarithmisch is. De boven- en ondergrens van deze kleurschaal worden voor elke type proxy bepaald door de waarde van de Wadmap configuratie parameters "PlotLo" en "PlotHi" in [Listing 4.4](#) op [bladzijde 55](#). De afbeeldingen met een logarithmische kleurschaal zijn geschikt om de "goede" en "slechte" delen van het gebied op te onderscheiden.

Er worden ook TIF files van de proxykaarten gemaakt op een gewone, lineaire schaal (hier niet getoond). Op deze plaatjes is nogal eens te zien dat een gebiedsproxy in belangrijke mate bepaald wordt door slechts een klein aantal "goede" punten.

De bovengrens voor de lineaire kleurschaal wordt per proxykaart berekend op basis van de vóórkomende waarden. Een bepaalde fractie van de waarden mag boven de bovengrens uitkomen om ervoor te zorgen dat het kaartbeeld niet geheel bepaald wordt door slechts enkele Sibes punten. Deze fractie is de waarde van de Wadmap configuratie parameters "TailFr" in [Listing 4.4](#) op [bladzijde 55](#).

De omslag van dit rapport laat een deel zien van de BMOD proxykaart voor de Rosse Grutto in het voorjaar van 2009.

CHAPTER 4

Program Wadmap

This chapter contains the technical description of the Wadmap program. Separate sections describe the datafile formats used, the version management, the configuration of the program, the actual job input with available options and the extensive program output. Also the structure of the program itself is discussed, its various modules, and the command line for actually executing Wadmap.

During the configuration of Wadmap the program reads the names of the data directories (folders), reads basic data about the region for which the program is used, the names of bird species, prey species, the names of the calculated proxies, the instructions for InterTides (used for exposure time calculations), the settings for assigning a surface area to a benthos sample, etc. These are all things which tend to be the same for many different calculations the program is subsequently used for.

The Wadmap job input, on the contrary, specifies the bird species and the subareas for which calculations are requested, the versions of the input data to be used, the choices for user options. These are options for the actual calculations like the use of a long or short prey list for all bird species considered, but also output options on for instance the generation of output maps.

4.1 Datafile formats

4.1.1 Maps

Wadmap reads and writes maps as ASCII grid files (https://en.wikipedia.org/wiki/Esri_grid). ASCII grid (or ARC/INFO ASCII grid) is the name of a simple and portable file format which is widely used for exchange between different programs or systems. These files can be imported and exported by all Geographical Information Systems (GIS programs).

Many maps shown in this report have been made by importing a Wadmap ASCII grid output file into QGIS, an open source GIS (www.qgis.org), and combining it with an exposure time map calculated by InterTides (Rappoldt *et al.*, 2014), with open street map data (<http://www.openstreetmap.org>), a height map, a map of subareas or anything else. QGIS is available for Windows, Mac OSX and Linux which makes the entire process portable.

Wadmap reads and writes ASCII grid files by means of calls to module SimpleGIS which is part of EcoCurves' object library EcoCurves.lib (see section 4.6.2).

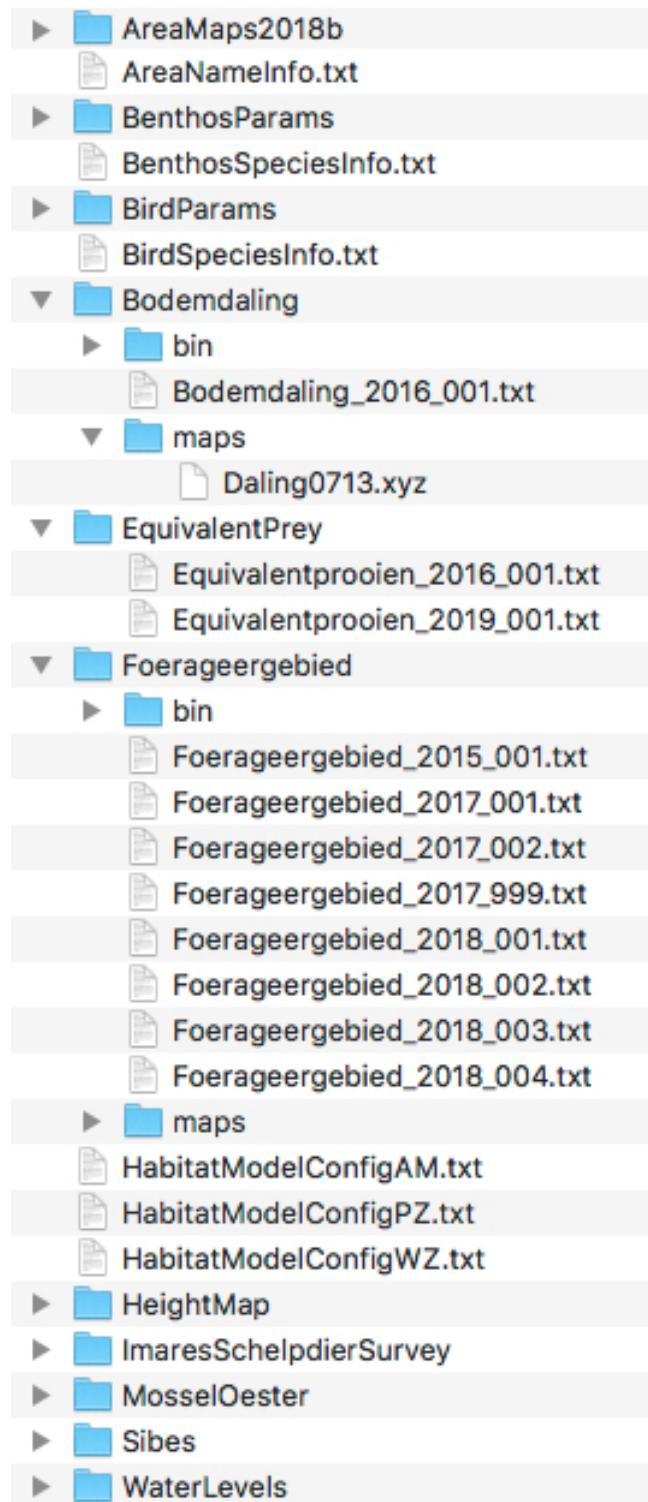


Figure 4.1. Typical look of the Wadmap configuration folder. The "HabitatModelConfig" text files are configuration files for various subareas (Ameland, Pionkegat-Zoutkamperlaag and Wadden Sea). The subfolders "Foerageergebied" and "Bodemdaling" are open and the version files in them are visible.

4.1.2 Parameter files and version files

Input files for the configuration of Wadmap, the job input, the bird and benthos parameters and the version description files are all ASCII files in the same file format. Basically, these ASCII files consist of lines containing "VariableName = *value*" in which "VariableName" is the name of the input variable and "*value*" is its value being an integer number, a real number, a character string, a logical or a date/time. In [van Kraalingen & Rappoldt \(2000\)](#) the format is documented extensively.

[Listing 4.1](#) shows a part of the Wadmap configuration file containing the settings and preferences for areamaps, InterTides and map handling.

An input file in this format may contain much more variables-value combinations than those actually read by the program. The variables may be present in any order with comment lines in between. Also arrays of values may be specified, e.g.

Listing 4.1 Example of parameter input in the format "VariableName = *value*". This is part of the configuration file of Wadmap containing real and integer variables, character string variables (with value in quotes) and switches being either "true" or "false". Note that some variables are arrays with, in this case, length 2. Comments are behind exclamation marks.

```

! (sub)area folder and region map
! -----
AreaMaps    = 'AreaMaps2018b'      ! directory with area maps
RegionMap    = 'waddenzee'          ! base map for the region
Crop         = .false.              ! cropping the Region ?
CropLL       = 187000.0, 600000.0 ! this is a rectangle around
CropXYrect   = 36000.0 , 12000.0 ! Pinkegat-Zoutkamperlaag

! InterTides preferences
! -----
WaterLevelsFolder = 'WaterLevels'
WaterLevelsConfig = 'WaddenzeeTidesConfig'
SeaLevelRise     = 0.0
AlwaysValue      = 1.0      ! value for always submerged
AdjToNearHT      = .true.    ! adjust to nearest High Tide
Normalization    = .false.   ! Use Amplitude and Zeroplane Maps
OnlyTimesInside  = .false.   ! Use strict season and period bounds
SyncStations     = 4        ! Synchronize Stations using
                           ! 0 = No Synchronization
                           ! 1 = Linutidal interval High Tide
                           ! 2 = Linutidal interval Low Tide
                           ! 3 = Average value
                           ! 4 = phase M2 (principal lunar tide)

! Map handling preferences
! -----
HeightRange     = -200.0, 150.0 ! [cm] height range tiff image
ReqResol        = 40.0        ! requested resolution of maps
CoveredFract   = 0.4        ! min fraction new map pixel covered
ResizeMethod    = 1           ! 1 -> LocalAverage, 2 -> Nearest N.
FuncRespPlotRange = 0.1, 10.0 ! functional response map value range

```

all years for which calculations have to be made. Several arrays may be written in the form of a table with column names interpreted as the names of the arrays below them.

Wadmap reads this kind of files by means of calls to the public domain library TTUTIL. The input routines in this library have been extensively tested during years of use by many people. The routines verify the syntax of the input file and check the variable type requested by the calling program against the variable type on input file. Errors cause the program execution to stop.

4.1.3 Benthos data

The WMR ("Wageningen Marine Research") shellfish survey is made available as a yearly location file and a sample file belonging to it. The location file assigns a unique ID to each sampling location (with coordinates). The sample file lists location ID, type size and weight of each benthos item found. A similar approach is used for the Sibes data. Details on the Sibes data can be found in [section 2.3](#) at [page 16](#), and on the WMR survey in [section 2.5](#) at [page 21](#).

The format of these input files is a spreadsheet type of file in the form of "Comma Separated Values" (CSV). For each sample year one or more version files (see [section 4.2](#)) describe where the actual CSV files can be found (folder and filenames for that sample year and that version). The CSV files are then handled by dedicated procedures which are part of the Sibes and WMR modules of Wadmap.

4.1.4 Waterlevels

Wadmap calculates exposure times by means of calls to procedures of program InterTides ([Rappoldt et al., 2014](#)). If InterTides as an independent program is configured for the Wadden Sea the available waterlevels for 15 tidal gauge stations are imported from the Rijkswaterstaat downloads. For each station the data gaps are filled with help of calculated astronomical tide, the times of high and low tide are calculated as well as the phase of the principal lunar tide for each station (the phase of the M2 constituent). All this is stored by InterTides in a few binary files for almost instantaneous access in subsequent InterTides runs.

Wadmap makes use of these InterTides binaries and calls the exposure time procedure for specific points or for all cells of a map. These procedures read their own InterTides binaries with all information required. This implies that the configuration of InterTides in Wadmap is limited to just a few preferences (see [Listing 4.1](#)).

4.2 Version management

Parameter files, some maps like the Lidar height maps and the benthos data are updated from time to time. That does not mean that a new sampling year is added to the data collection, but that existing values are changed as a result of better measurements, model changes, or corrections. Instead of just overwriting the older versions the data is added under a new version number.

Version management is kept very simple. It makes use of simple text files in the "VariableName = value" format (see [section 4.1.2](#)). These text files either contain the data themselves or contain a folder and a file name pointing to the data (e.g. in case of maps). Examples are [Listing 4.2](#) for a Lidar height map, [Listing 2.4](#) at

Listing 4.2 A Lidar map version file. "Folder" and "File" refer to the actual datafile in "xyz" format received from Deltares. The "DeepCells" variables specify the height map to be used for missing pixels.

```

! Height map
! =====
! 2018.002 Lidar heights Autumn 2013 on 20x20 m grid
!           points above -0.5m verwijderd
!
Author = 'Reinier Schrijvershof, Deltares'
Version = 2018.002
Date    = 30-october-2018

Folder     = 'Lidar2018_2'
File       = '2013b_20m-median-1-pts'
Format     = 'xyz'
CellSize   = 20.0
HmapUnitCM = 100.0

DeepCellsFolder = 'NAM_bathy'
DeepCellsHeight = 'wadsea_cycle5'
DeepCellsUnitCM = 100.0

```

bladzijde 20 for Sibes data, [Listing 2.5](#) at [bladzijde 24](#) for foraging areas, [Listing 2.6](#) at [bladzijde 26](#) and [Listing 2.7](#) at [bladzijde 27](#) for bird parameters.

Version numbers consist of a 4 digit year and a 3 digit number, e.g. "2010.003". In practice the job input requests some specific version, the latest version or the latest version prepared in a certain year. This kind of choices is made possible by means of the following rules implemented in Wadmap.

- If the requested version exists it is used.
- If the requested version does not exist, the latest preceding version is used. Hence, if the version requested is 9999.999, the latest version available will be used. Version 2010.999 will return the data from the last version of 2010.
- The filename contains the version number (e.g. Redshank_2016_001.txt). This simplifies maintenance and allows the program to carry out a consistency check on the version number *in the file*.
- If a new version is created the changes are recorded as comments on top of the file. In this way a version history is easily maintained.
- Maps in ASCII grid format or benthos data in a column based CSV format do not contain version numbers. Instead the datafiles are stored in a folder with its name specified in a version file. [Listing 4.2](#) is an example. This implies that the names of updated maps with improved data do not have to be changed. They can be stored in a new folder containing the files for the new version.
- Version files may contain other information on the data, like the unit of a map or (in case of benthos data) the names of columns in a CSV file, etc.

4.3 The Wadmap configuration file

Wadmap needs a lot of names and settings. Importing these is the configuration of the program. It is important to distinguish between configuration and job input (see [section 4.4](#)). Configuration tends to be the same as long as the calculations are done for the same region, e.g. the Wadden Sea. Job input defines the calculations desired by the user.

Wadmap is started by means of a command in a terminal window. Execution begins as follows:

- The name of the job input file is read from the command line (see [section 4.5.1](#)) or a default name is used ("control.txt").
- The job input file is read from the default directory (the one at which the terminal window was set before starting the program) and a report about the input is written to the log file (see [section 4.4](#)).
- The name of the configuration file and its path (the "configuration folder", see [Figure 4.1](#)) in which it resides) must be present on the job input file.
- The configuration file is read and all other input is found as subfolders inside the configuration folder.

Listing 4.3 Bird-season combinations as defined in the configuration file.

! Bird - Season combinations					
! -----					
! The species name BirdSpecies is the english name from the bird species info file					
! The Name is the name to be used in control.dat command files					
! The bird species name is automatically added to the description					
Month	BirdSpecies	Name	DescriptionNL	DescriptionUK	=====
====	=====	====	=====	=====	=====
1	'Shelduck'	'BergeendWinter'	'in de winter'	'in winter'	
9	'Shelduck'	'BergeendNazomer'	'in de nazomer'	'in late summer'	
1	'Pintail'	'PijlstaartWinter'	'in de winter'	'in winter'	
11	'Pintail'	'PijlstaartNajaar'	'in de herfst'	'in autumn'	
1	'Oystercatcher'	'ScholeksterWinter'	'in de winter'	'in winter'	
9	'Oystercatcher'	'ScholeksterNazomer'	'in de nazomer'	'in late summer'	
9	'Avocet'	'KluutNazomer'	'in de nazomer'	'in late summer'	
11	'Avocet'	'KluutNajaar'	'in het najaar'	'in autumn'	
5	'Ringed plover'	'BontbekVoorjaar'	'in het voorjaar'	'in spring'	
9	'Ringed plover'	'BontbekNazomer'	'in de nazomer'	'in late summer'	
1	'Grey Plover'	'ZilverplevierWinter'	'in de winter'	'in winter'	
5	'Grey Plover'	'ZilverplevierVoorjaar'	'in het voorjaar'	'in spring'	
1	'Red Knot'	'KanoetWinter'	'in de winter'	'in winter'	
8	'Red Knot'	'Kanoetzomer'	'in de zomer'	'in summer'	
5	'Sanderling'	'DrieteenVoorjaar'	'in het voorjaar'	'in spring'	
9	'Sanderling'	'DrieteenNazomer'	'in de nazomer'	'in late summer'	
5	'Dunlin'	'BontjeVoorjaar'	'in het voorjaar'	'in spring'	
9	'Dunlin'	'BontjeNazomer'	'in de nazomer'	'in late summer'	
5	'Bar-tailed Godwit'	'RosseGruttoVoorjaar'	'in het voorjaar'	'in spring'	
8	'Bar-tailed Godwit'	'RosseGruttoZomer'	'in de zomer'	'in summer'	
1	'Curlew'	'WulpWinter'	'in de winter'	'in winter'	
9	'Curlew'	'WulpNazomer'	'in de nazomer'	'in late summer'	
1	'Redshank'	'TureluurWinter'	'in de winter'	'in winter'	
7	'Redshank'	'TureluurZomer'	'in de zomer'	'in summer'	
1	'Turnstone'	'SteenloperWinter'	'in de winter'	'in winter'	
8	'Turnstone'	'SteenloperZomer'	'in de zomer'	'in summer'	
1	'Alleseter'	'AlleseterWinter'	'in de winter'	'in winter'	
7	'Alleseter'	'AlleseterZomer'	'in de zomer'	'in summer'	
1	'Wormeneter'	'WormenWinter'	'in de winter'	'in winter'	
7	'Wormeneter'	'WormenZomer'	'in de zomer'	'in summer'	
1	'Schelpeneter'	'SchelpenWinter'	'in de winter'	'in winter'	
7	'Schelpeneter'	'SchelpenZomer'	'in de zomer'	'in summer'	
1	'Kreefteneter'	'KreeftenWinter'	'in de winter'	'in winter'	
7	'Kreefteneter'	'KreeftenZomer'	'in de zomer'	'in summer'	

Listing 4.4 Settings for the various proxies in the configuration file. Note that an eighth proxy "BMaanwDroog" is commented and is therefore not calculated. The plot axis names "Axis" and "SensAxis" refer to specifications in Listing 4.8.

Habitat potential type										
Various types calculated depending on available input										
Below their name which are added to the Bird-Season stem name to get a unique combination										
Axis										
- Name of axis used in proxy plot. The axis definitions are below the table.										
This axis has lower and upper bound set equal to 0.00, which triggers axis construction from 0.00 (the origin).										
SensAxis										
- Name of axis used in sensitivity plots of the proxy values against a varying rerun variable.										
This axis has lower and upper bound set equal to 1.00, which triggers free axis construction.										
Order										
- The order of the polynomial fitted through the points of a sensitivity run (e.g. reruns on SeaLevelRise or any other quantitative parameter).										
The order can be adapted in the generated plot description, and by means of a HPlot run, all plots are quickly redrawn.										
Order values above 100 code for the use of log-transformed values in the regression (e.g. 102 is $(x, \ln(y))$ second order).										
Above 200 leads to $(\ln(x), y)$ pairs and above 300 means both x and y are transformed (power function).										
TailFr										
- Fraction of the values on a proxymap with linear colour scale which is allowed to exceed the scale upperbound										
PlotLo										
- Lowerbound of proxymap logarithmic colour scale										
PlotHi										
- Upperbound of proxymap logarithmic colour scale										
Diet										
- Contribution of the various prey species makes sense and has been implemented in the program										
ProxyName	ProxyL4	Axis	SensAxis	Curve	Width	Marker	Size	Order	Legend	
'Opperv.Lak'	'SURF'	'OPPAxis'	'sOppAxis'	1	5.00	8	0.30	-1	'geschikt_oppervlak'	CurCol1
'BMAanw'	'BMAA'	'BiomAxis'	'sBiomAxis'	2	2.00	12	0.17	-1	'BM_aanwezig'	====
'BMoogst'	'BMOO'	'BiomAxis'	'sBMoogstAx'	1	2.00	13	0.17	-1	'BM_oogstbaar'	'GoldenRod1'
'BMoogstDroog'	'BMOD'	'BiomDryAx'	'sBMDryAx'	1	4.00	15	0.26	101	'BM_oogstbaar_droog'	'Grey70'
'FRaanw'	'FRAA'	'FRespAxis'	'sFRespAxis'	2	2.00	12	0.12	-1	'FR_aanwezig'	'Maroon2'
'FRoogst'	'FRDD'	'FRdryAxis'	'sFRdryAxis'	1	2.00	13	0.12	-1	'FR_oogstbaar'	'Firebrick2'
'FRoogstDroog'	'FRDD'	'BiomDryAx'	'sBiomDryAx'	1	3.20	15	0.18	101	'FR_oogstbaar_droog'	'Grey70'
'BMAanwDroog'	'BMAD'	'BiomDryAx'	'sBiomDryAx'	1	3.50	8	0.20	101	'aanwezig_droog'	'DoagerBlue1'
										'DeepSkyBlue'
										'DodgerBlue2'
										'ForestGreen'
										'LimeGreen'
										'OliveDrab'
										'PeachPuff'
										'Plum'
										'Red'
										'Teal'
										'Violet'
										'Yellow'
										Diet

Listing 4.5 Sibes, Imares and InterTides preferences in the configuration file.

```

! Sibes (mapping) constants and options
-----
SibesMaxDist      = 400.0          ! [m] maximum distance to sampling point ; points further away do not add to surface area
SibesMaxCellAreaM2 = 300000.0       ! [m2] maximum Sibes cell surface area
ImaresMaxDist     = 600.0           ! [m] maximum distance to sampling point ; points further away do not add to surface area
ImaresMaxCellAreaM2 = 600000.0       ! [m2] maximum Imares cell surface area
MapImageDepthThreshold = -150.0       ! [cm] points below this depth are masked for clarity, i.e. to see the gullies
UseNearbyImaresData = .true.         ! [-] INSIDE mussel bank use imares point "in which" sibes point lies
SibesCorrectedData = .true.         ! [-] OUTSIDE mussel bank use imares point if it lies "inside" sibes-point-assigned-surface.
BenthosSummerMonth = 5,6,7,8        ! [-] use of corrected Sibes data in separate folder (option used by SibesSurvey module)
                                         ! in these months the summer depth distribution is used

! Total surface area
-----
ExposedFractionRange = 0.01, 0.85   ! [-] exposed time fraction range for feeding grounds
TotSurfAreaTidalYearsOption = 2      ! 1 -> Use TotSurfAreaTidalYearsFixed
                                      ! 2 -> Use TotSurfAreaTidalBeforeAfter

TotSurfAreaTidalYearsFixed = 0, 0
TotSurfAreaTidalBeforeAfter = 0, 0

! Waterlevel preferences
-----
WaterLevelsFolder = 'WaterLevels'
WaterLevelsConfig  = 'WaddenzeeTidesConfig'    ! The InterTides configuration file
SealevelRise       = 0.0
AlwaysValue        = 1.0                      ! value for always submerged
AdjTNearHT         = .true.                   ! adjust periods and seasons to nearest High Tide
Normalization      = .false.                  ! use normalized station levels for interpolation derived from Amplitude and ZeroPlane Maps
OnlyTimesInside    = .false.                  ! use strict season and period bounds ; synchronising inside season and period
SyncStations       = 4                       ! Synchronize Stations using Lunitidal intervals (Havengetalien) for
                                         ! 0 = No Synchronization
                                         ! 1 = High Tide
                                         ! 2 = Low Tide
                                         ! 3 = Average value
                                         ! 4 = M2 phase

```

The configuration file for Wadden Sea calculations is fully included in the form of [Listing 4.3](#), [Listing 4.4](#), [Listing 4.5](#), [Listing 4.6](#), [Listing 4.8](#) and [Listing 4.7](#), each containing a section of the file. The configuration file largely documents itself by means of comments and meaningful variable names. A few additional remarks are made in the sections below.

4.3.1 Bird-season combinations

[Listing 4.3](#) at [page 54](#) defines the combinations of bird species and season for which Wadmap can calculate proxies. The column "BirdSpecies" may contain only names which are listed as valid species names in [Tabel B.1 op bladzijde 85](#). In output files and plot titles abbreviations occur for the various bird-season combinations. These are included as column "L3" in [Table A.1](#) at [page 83](#) in [Appendix A](#).

4.3.2 Settings for the various proxies

[Listing 4.4](#) at [page 55](#) lists settings for the various proxies like the curve type¹ and marker symbols used in proxy plots, the plot axes to be used, and so on. The variable "TailFr" defines which part of the proxyvalues may exceed the upper bound of the colour scale of a linear proxy map. If this value is set (back) at zero the highest proxy value of the region defines the upper bound of the colour scale. The map then often becomes dominated by just a few very large values. By allowing a few percent of the values to be "off scale" a much more meaningful picture is constructed.

4.3.3 Benthos samples and water levels

[Listing 4.5](#) at [page 56](#) specifies parameters used for the allocation of mudflat surface area to the benthos samples. Two types of samples are used, the samples of the Sibes survey ("Sibes") en the WMR shellfish survey ("Imares"). In both cases the allocation of surface area begins with assigning to each pixel of the region map the nearest sample point. This results in the so called Voronoi tessellation and the polygons around the samples are also known as Thiessen polygons (see also https://en.wikipedia.org/wiki/Voronoi_diagram).

MapImageDepthThreshold Points below this depth are masked for clarity, i.e. to see the gullies.

UseNearbyImaresData Switches on or off the use of WMR shellfish survey samples ("Imares samples") for correcting the Sibes samples. See separate section below at [page 58](#).

SibesCorrectedData Use the corrected Sibes data in separate folder. This option allows the choice between an "original" Sibes dataset and a set corrected for far too large (and apparently wrong) benthos weights. This applies to a few Sibes years only and has nothing to do with the use of WMR data.

BenthosSummerMonth In these months the summer depth distribution is used for some benthos species.

¹Type 1 is a solid line, type 2 is a dashed line.

Surface area assigned to benthos samples

Now, in principle, the surface area of each polygon is assigned to the sample inside it, with a few limitations. Map pixels at a distance from the sample exceeding **SibesMaxDist** respectively **ImaresMaxDist** are removed from the "sample area". A second limitation is that the surface area assigned must not exceed **SibesMaxCellAreaM2** respectively **ImaresMaxCellAreaM2**. Pixels at the largest distance to the sample point are removed until the maximum surface area is reached.

Finally, map pixels with an average exposure time outside the range [**ExposedFractionRange(1)**, **ExposedFractionRange(2)**] are also removed from the "sample area". The exposed fraction of time is calculated for each pixel by calling InterTides modules linked with Wadmap.

The period for which the exposure time is calculated is determined by **TotSurfAreaTidalYearsOption**. If this option is 1 the years in the range **TotSurfAreaTidalYearsFixed** are used, e.g. "TotSurfAreaTidalYearsFixed = 2010, 2012".

If **TotSurfAreaTidalYearsOption** is 2, the year for which the exposure times are calculated is the year for which the proxy calculation is done, possibly extended with years before and after, according to the two values of **TotSurfAreaTidalBeforeAfter**.

Hence, if "TotSurfAreaTidalYearsOption = 2" and "TotSurfAreaTidalBeforeAfter = 1,1", the average exposure times are calculated for the period $[N - 1, N + 1]$ where N is the year for which the proxies are calculated.

Note that these average exposure times are calculated *only* for comparing them with the exposure time range [**ExposedFractionRange(1)**, **ExposedFractionRange(2)**]. Outside this range a map pixel is classified as either permanently submerged or saltmarsh and does not contribute to the surface area for foraging.

The exposure times used in the calculation of the proxies BMoogstDroog and FRoogstDroog are *different exposure times*. They are calculated for a specific *season* as described in [section 4.4](#).

Use of WMR survey to correct Sibes shellfish data

The number of WMR samples is much smaller than the number of Sibes samples. The WMR samples are considerably larger, however, and they are used to correct the mussel, cockle and macoma densities and weights of nearby Sibes points. This correction proceeds as follows:

If a Sibes point lies *inside a mussel bed or a mixed mussel-oyster bed* (according to the WMR bank contour map of the appropriate year), and also lies inside the polygon assigned to a WMR sample, the mussel, cockle and macoma densities and weights of the Sibes sample are replaced by those of the WMR sample. There may be several Sibes points inside the polygon assigned to a WMR point. Such a WMR point is then used for correction more than once.

For all WMR samples, the nearest Sibes point is determined.

A Sibes sample *outside the mussel beds* is only corrected if it happens to be the nearest Sibes point in the neighbourhood of a particular WMR sample. Hence, outside mussel beds, a WMR sample can be used for correction only once.

Listing 4.6 Regionmap and map handling preferences in the configuration file.

```

! (sub)area folder and region map
! -----
AreaMaps = 'AreaMaps2018b' ! compatibel met "Vogelhantallen_2018_002"
RegionMap = 'waddenzee' ! base map for the region, maximum subarea
Crop = .false. ! cropping the Region
CropLL = 18700.0, 600000.0 ! this is a rectangle around Pinkergat-Zoutkampervlaag
CropXYrect = 36000.0 , 12000.0 !



! Resolution used
! -----
RegionMapRoughness = 5 ! cell size multiplier applied to region map, output maps become more coarse as well
ExpTimeRoughness = 1 ! cell size multiplier used to speed up exposure map calculation, which is then interpolated to get back full resolution


! Map handling preferences
! -----
HeightRange = -200.0, 150.0 ! [cm] height range for tiff height map image file with legend
RequestSize1 = 40.0 ! requested resolution of maps, NOT USED
CoveredFract = 0.4 ! min fraction of new map pixel covered by region and height map data
ResizeMethod = 1 ! 1 -> LocalAverage, 2 -> NearestNeighbour
FuncRespPlotRange = 0.1, 10.0 ! functional response map value range, NOT USED

```

InterTides configuration

The section "Waterlevel preferences" in [Listing 4.5](#) contains some settings for InterTides. The configuration file **WaterLevelsConfig** in folder **WaterLevelsFolder** contains the tidal gauge stations, the period for which measured levels are available, the interpolation triangles (see [Appendix C at page 90](#)) and a few more settings.

The value of **SeaLevelRise** is added to any calculated waterlevel. The switch **AdjToNearHT** causes InterTides to begin and end exposure time calculation at high tide. Hence, user-defined moments like the start of a year or month are corrected in order to span an integer number of tidal cycles. This prevents errors caused by the inclusion of just part of a tidal cycle.

Setting **Normalization** at true is not possible since no amplitudemap is available for the Wadden Sea (see [Appendix E at page 105](#)). **SyncStations** is a parameter InterTides used in the correction for phase differences between the tidal gauge stations. The value 4 implies that the phase of the principal lunar tide is used for that purpose.

4.3.4 Region map and map handling preferences

The region map defines the area for which all calculations are carried out. In [Listing 4.6 at page 59](#) this area is defined as the string value of **RegionMap**, which defines a map in folder **AreaMaps**. This region map just defines pixels which belong to the desired region (pixel value 1) and pixels which do not (pixel value 0, the NODATA value).

A simple way to use just of part of the Wadden Sea is to switch on cropping by setting **Crop** at true. The lower-left corner of the **CropLL** and the size **CropXYrect** of the selected rectangle in [Listing 4.6](#) cover the Pinkegat-Zoutkamperlaag area. Cropping speeds up the calculations since benthos samples outside the selected rectangle are neglected and an exposure time map is calculated for the selected area only.

The following parameters in [Listing 4.6 at page 59](#) determine the spatial resolution of the calculations and, consequently, the resolution of output maps.

RegionMapRoughness The value of this parameter multiplies the input region map cellsize which is usually 20 m. Hence, a value 5 means that all calculations are carried out for "pixels" with a size of 100 m. Given the distance of the Sibes sampling grid of about 500 m, a computational resolution of 100 m seems sufficient.

ExpTimeRoughness This parameter multiplies the cell size of the exposure time map calculated by InterTides for each year *relative to the region map cell size used in Wadmap* (the input cell size multiplied with **RegionMapRoughness**).

Note that the region map is downscaled on the basis of nearest neighbour values for the new pixels. Also the height map is downscaled to the new resolution, making use of the method set by parameter **ResizeMethod**. In case of "ResizeMethod=2" (the local average option), a pixel of the downsampled map contains data only if a part of at least **CoveredFract** lies in the data area of the original map.

Usually the exposure time map is calculated at the resolution of the region map, i.e. "ExpTimeRoughness=1". But for detailed calculations at 20 m cells ("RegionMapRoughness=1") it makes sense to set **ExpTimeRoughness** at a higher value

(e.g. 5) since otherwise the calculation of exposure time maps costs an excessive amount of computer time without making the results any better.

4.3.5 Names and Data folders

[Listing 4.7](#) shows at first references to other files in which bird species names, subarea names and benthos species names are defined. File **AreaNameInfo** is documented in [Table B.3 at page 89](#). File **BirdSpeciesInfo** is documented in [Table B.1 at page 85](#) and file **BenthosSpeciesInfo** is documented in [Table B.2 at page 86](#).

Note that these name definition files also contain equivalent names (e.g. old names of certain benthos species) and abbreviations used in the names of some output files. This information is used by Wadmap to recognise names used in other input like a bird species diet.

[Listing 4.7](#) then continues with a list of folder names for various types of input data. These folders must reside in the same folder in which also the configuration file is present and they contain version files (see [section 4.2](#)) containing either the data themselves or references to other locations.

[Listing 4.7](#) Input and output settings in the configuration file. This table includes references to input files containing all subarea names (file "AreaNameInfo", see [Table B.3 at page 89](#)), the bird species names in dutch and english (file "BirdSpeciesInfo", see [Table B.1 at page 85](#)) and the benthos species names (file "BenthosSpeciesInfo", see [Table B.2 from page 86](#)).

```

! Bird and Benthos species names
! -----
AreaNameInfo      = 'AreaNameInfo.txt'          ! on same directory as the config file
BirdSpeciesInfo   = 'BirdSpeciesInfo.txt'        ! on same directory as the config file
BenthosSpeciesInfo = 'BenthosSpeciesInfo.txt'    ! on same directory as the config file

! Folders with "versioned" input files
! -----
BenthosParamsFolder = 'BenthosParams'
BirdParamsFolder   = 'BirdParams'
HeightMapFolder   = 'HeightMap'
SibesFolder       = 'Sibes'
ImaresFolder      = 'ImaresSchelpdierSurvey'
MosselBankFolder  = 'MosselOester'
SiltContentFolder = 'SiltContent'
ForagingAreaFolder = 'Foerageergebied'
BodemDalingFolder = 'Bodemdalings'
EquivalenceFolder = 'EquivalentPrey'
BirdNumbersFolder = 'BirdNumbers'
CalibratedProxies = 'CalibratedProxies'

! output options
! -----
KeepPlotFiles     = .true.
WriteFuncRespFiles = .false.
DietplotCumPrey   = 0.99    ! relative to total amount over all subareas and years

! Result subfolders
! -----
SurveyMaps      = 'SurveyMaps'
EPSplots         = 'Plots'
Reports          = 'MonitoringReports'
HabitatMaps     = 'Proxymaps'
HeightMaps       = 'HeightMaps'
SibesCheck       = 'BenthosSpecies'
```

If the switch **KeepPlotFiles** is set the plot definition files constructed during a Wadmap runs are saved. This allows the user to make changes in the plots (the curves shown, the line type, colours, etc.) and redraw all plots without recalculating the results.

The parameter **WriteFuncRespFiles** switches on or off the construction of large text files containing details of all functional response calculations. This is useful for debugging purposes or for finding errors in the benthos sizes and weights.

If **DietplotCumPrey** has the value 0.99 the least important benthos species, occupying less than 1% of the diet, are left out of the diet plots. The benthos species left out are selected using the total diet for all subareas and years for which proxies are calculated.

Finally a few folder names are defined for writing output. These are subfolders created inside the main output folder which is defined in the job input file.

4.3.6 Plot axes

The section of the configuration file shown in [Listing 4.8](#) just contains axes names used in plots. The 5 numbers in each axis definition are respectively the lower

Listing 4.8 Plot axes in the configuration file. The 5 numbers in each axis definition are respectively the lower bound, the upper bound, the label distance, the tickmark distance and the value of the first label. The text appears alongside the axis which may be a horizontal or vertical axis depending on the actual plot.

AxisName	Description
! =====	=====
'YEARaxis'	'2008.0 2018.0 2.0 1.0 2008.0 jaar'
'SAaxis'	'0.0 15.0 1.0 0.0 0.0 deelgebied'
'Dekking'	'0.0 100.0 20.0 10.0 0.0 dekking (%)'
'BiomAxis'	'0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 biomassa (ton AVD)'
'BiomDryAx'	'0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 biom x droog (ton AVD)'
'sBiomAxis'	'1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 biomassa (ton AVD)'
'sBMoogstAx'	'1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 biomassa oogstbaar (ton AVD)'
'sBMDryAx'	'1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 biomassa x droog (ton AVD)'
'FRespAxis'	'0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 functionele respons (ha mg/s)'
'FRdryAxis'	'0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 funct.resp. x droog (ha mg/s)'
'sFRespAxis'	'1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 functionele respons (ha mg/s)'
'sFRoogstAx'	'1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 funct.resp. oogstbaar (ha mg/s)'
'sFRdryAxis'	'1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 funct.resp. x droog (ha mg/s)'
'OppAxis'	'0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 oppervlak (ha)'
'sOppAxis'	'1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 oppervlak (ha)'
'ExposedAxis'	'0.0 1.0 0.2 0.1 0.0 droogvalduur (fractie)'
'PreyBiomAxis'	'0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 prooi biomassa (gr/m2)'
'FuncRespAxis'	'0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 functionele respons (mg/s)'
'FuncResp2Ax'	'0.0 2.0 0.5 0.1 0.0 functionele respons (mg/s)'
'PercAxisLog'	'0.001 100.0 10.0 2.0 0.0 percentage van de waarden (-)\$LOG\$'
'PercAxis0'	'0.0 100.0 20.0 5.0 0.0 percentage'
'PercAxis1'	'0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 percentage van de waarden (-),'
'PercAxis2'	'0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 percentage van de waarden (-),'
'PercAxis3'	'0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 percentage van de waarden (-),'
'PercAxis4'	'0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 percentage van de waarden (-),'
'SurfaceArea'	'0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 oppervlak (ha)'
'SibesPoinCnt'	'0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 aantal sibes punten (#)'
'HeightAxis'	'0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 hoogte (cm)'
'HeightPDFax'	'0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 kansdichtheid (1/cm)'
'LengAxis'	'0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 lengte (mm)'
'AFDMaxis'	'0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 biomassa (mg AFDM)'
'DalingAxis'	'0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 gemiddelde daling (cm)'
'BirdPredAx'	'0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 gefit aantal'
'BirdObsAx'	'0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 waargenomen aantal'
'BirdProxy'	'0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 relatieve geschiktheid'

bound, the upper bound, the label distance, the tickmark distance and the value of the first label. The text appears alongside the axis which may be a horizontal or vertical axis depending on the actual plot.

A zero lower and upper bound means that a suitable upper bound is calculated (lower bound is 0.0). If lower and upper bound are equal and nonzero, a suitable range is calculated. Zero values for the label and tickmark distance means a suitable value is calculated. A zero first label means the first label is at 0.0 or at the lower bound if 0.0 is outsize the plotted range. The string "\$LOG\$" added to the axis text codes for a logarithmic axis.

Proxy axes

The fourth axis named "BiomAxis" in [Listing 4.8](#) is used to plot the proxy BMaanw, the prey biomass present in a subarea. The difference with the axis "sBiomAxis" two lines further down is the value range. The value range of BiomAxis is calculated from the plotted values but always begins at 0.00.

In case of sBiomAxis both the lower and the upper bound are determined by the data, which makes it a suitable choice for a sensitivity analysis on the value of BMaanw. The effect of some changing variable will be visible in the plot, also if it is small. For the other proxies similar axes have been defined.

4.4 The Wadmap job input

[Listing 4.9](#) at page 64, [Listing 4.10](#) at page 66 and [Listing 4.11](#) at page 68 together contain the job input file. Like the configuration file, the job input file is a text file in "variable=value" format. Wadmap reads it and tries to find values for a current total of 52 variables. Some are optional with default values and some are required to be present on file.

About the content of the job input file a report is written to the Wadmap logfile. This report also contains a list of variables on file with unknown names (and non-used values). It is important to check this list since a typing error in a variable name will not always result in an error message. If the typing error is made in the name of an optional variable, it will not be found on file, and its default value will be used instead of the user input.

4.4.1 What is calculated?

[Listing 4.9](#) shows part of the job input file and specifies what is calculated.

ConfigFile Name of the configuration file. Required variable.

RelPathConfig Path to the configuration file. Contrary to what the name suggests the string is an *absolute path*. Only if command line option "-RelPath" in the HabitatModel command line is present the string is used as relative path. Required variable.

Function The function of the model call is either "ProxyCalculation" or "Input-Statistics". The first function "ProxyCalculation" is the one to be normally used. The second function has been used for checks on the Sibes benthos data and is not documented in this report. Required variable.

Listing 4.9 Part of the job input file containing the configuration file and folder, the selected bird-season combinations and subareas, and some output options.

```

! job input file for bird-season combinations in autumn and winter
! used for Pinkegat-Zoutkamperlaag monitoring calculations in 2019
!
ConfigFile      = 'HabitatModelConfigPZ.txt'
RelPathConfig   = 'Users/Kees/Documents/EcoCurves/2015 NAM monitoring/Config'
Function        = 'ProxyCalculation'      ! calculation requested
ResultFolder    = 'Monitoring2019_HW'

! gebieden
Subarea = 'PZ'

! nazomer - herfst - winter
BirdSeason = 'BergeendWinter'      , 'BergeendNazomer'      , 'PijlstaartWinter'      ,
              'PijlstaartNajaar' , 'ScholeksterWinter' , 'ScholeksterNazomer' ,
              'KluutNazomer'     , 'KluutNajaar'       , 'BontbekNazomer'     ,
              'ZilverplevierWinter' , 'KanoetWinter'     , 'DrieteenNazomer' ,
              'BontjeNazomer'    , 'WulpWinter'       , 'WulpNazomer'      ,
              'TureluurWinter'   , 'SteenloperWinter' , 'AlleseterWinter' ,
              'SchelpenWinter'   , 'KreeftenWinter'  , 'WormenWinter'   ,

! output options
! =====
AddDateTime     = .false.
ExportProxyMaps = .false. ! produces ASCII grid files from the proxy maps
ExportPreyMaps   = .false. ! produces ASCII grid files from the prey maps
HeightmapImage   = .false.
ExposureMapImage = .false.
SensitivityAxis = 'sealevel rise (cm)'

```

ResultFolder Folder relative to the current directory in which all results of the model run will be stored. Optional variable with default value "Result".

Subarea One or more names of subareas for which the calculations have to be carried out. Optional variable with default value "NONE", which results in an error message about unknown area "NONE".

BirdSeason One or more names of a bird-season combination. Required variable.

AddDateTime If .true. date and time are added to the name of the result folder. Optional variable with default .false.

ExportProxyMaps If .true. the proxy maps are exported in ASCII grid format. This may be time consuming. Optional variable with default .false.

ExportPreyMaps If .true. the prey maps for each bird-season combination are exported in ASCII grid format. This may be time consuming. Optional variable with default .false.

HeightmapImage This flag produces a tif image of the input height map. Optional variable with default .true.

ExposureMapImage This flag produces an image of the exposure time map calculated for the period defined in the configuration file, i.e. the map used for determining if a point belongs to the tidal foraging area or not. This map is independent of the seasons in the selected bird-season combinations.

In case soil subsidence is specified a second exposure time map is calculated with the string "LowerHeight" in its name. Optional variable with default .true.

SensitivityAxis Plot axis specification used for the independent variable in sensitivity runs. Optional string variable with default value "-".

4.4.2 Food and foraging

[Listing 4.10 at page 66](#) shows part of the job input file and specifies benthos data and foraging options. Note that a version number does not imply that precisely the specified version is used. If the specified version does not exist the highest previous one is used.

BenthosParamsVersion Version number of the benthos parameter files used. Optional variable with default 9999.999, which means "latest value". A benthos file specifies parameters for a single benthos species. The name of a benthos file is determined by the variable "FileNameStem" on the Benthos info file specified by means of variable "BenthosSpeciesInfo" on the configuration file (see [Table B.2 from page 86](#)). Benthos files are searched for in a folder with name specified by the configuration file variable "BenthosParamsFolder". A benthos parameter file may contain the parameters of a weight-size relation or the parameters of a depth distribution. A benthos file is optional, i.e. it is not necessarily there.

BirdParamsVersion Version number of the bird species parameter files used. Optional variable with default 9999.999, which means "latest value". The name of a bird parameter file is determined by the variable "FileNameStem" on the Bird species info file with name specified by means of variable "Bird-SpeciesInfo" on the configuration file (see [Table B.1 op page 85](#)). Bird files are searched for in a folder with name specified by the configuration file variable "BirdParamsFolder". A bird parameter file specifies energy requirement, prey list and functional response parameters of a single bird species. For all bird species used a parameter file must be there.

ForagingArea Name of file which specifies the foraging areas used (and not used) for all bird species. This ForagingArea file refers to a map which subdivides the region into a series of foraging areas, each with a number. The ForagingArea file is looked for in the folder with name given by configuration file variable "ForagingAreaFolder". Required variable.

ForagingAreaVersion The version of the ForagingArea file. Optional variable with default 9999.999, which means "latest value".

Year One or more calendar years for which the proxies are calculated. Required variable. Note that the number of years given must be identical to the number of values of the following 9 variables.

HeightMap The height maps to be used. Optional (array) variable with default "WadseaCycle5". Each height map file is actually a small version file, which in turn points towards a folder which contains the actual height map. These height map version files are looked for in a folder with name given by configuration file variable "HeightMapFolder". The corresponding height map versions. Optional variable with default 9999.999, which means "latest value".

HeightMapView Optional (array) variable with height map version(s). Default value is 9999.999, which means "latest value".

Listing 4.10 Part of the job input file specifying benthos data, height maps, foraging area settings and many version numbers.

```

BenthosParamsVersion = 2019.001      ! version specs
BirdParamsVersion     = 2018.001

ForagingArea          = 'Foerageergebied,
ForagingAreaVersion   = 2018.004

=====
Autumn/Winter

Year      HeightMap      HeightMapVersion  Sibes  SibesVersion  Imares  ImaresVersion  MosselBank  MosselBankVersion =
2008    'LidarSpring2010'  2019.001       'Sibes2008'  2016.002  'Imares2008'  2019.001  'MosselDester2008'  2019.001
2009    'LidarSpring2010'  2019.001       'Sibes2009'  2016.002  'Imares2009'  2019.001  'MosselDester2009'  2019.001
2010    'LidarAutumn2011'  2019.001      'Sibes2010'  2016.002  'Imares2010'  2019.001  'MosselDester2010'  2019.001
2011    'LidarAutumn2011'  2019.001      'Sibes2011'  2016.002  'Imares2011'  2019.001  'MosselDester2011'  2019.001
2012    'LidarAutumn2012'  2019.001      'Sibes2012'  2016.002  'Imares2012'  2019.001  'MosselDester2012'  2019.001
2013    'LidarAutumn2013'  2019.001      'Sibes2013'  2016.002  'Imares2013'  2019.001  'MosselDester2013'  2019.001
2014    'LidarAutumn2013'  2019.001      'Sibes2014'  2016.003  'Imares2014'  2019.001  'MosselDester2014'  2019.001
2015    'LidarAutumn2016'  2019.001      'Sibes2015'  2016.003  'Imares2015'  2019.001  'MosselDester2015'  2019.001
2016    'LidarAutumn2016'  2019.001      'Sibes2016'  2016.003  'Imares2016'  2019.001  'MosselDester2016'  2019.001
2017    'LidarAutumn2017'  2019.001      'Sibes2017'  2018.001  'Imares2017'  2019.001  'MosselDester2017'  2019.001
2018    'LidarAutumn2018'  2019.001      'Sibes2018'  2019.001  'Imares2018'  2019.001  'MosselDester2018'  2019.001

!
Prey options
=====
LongPreyList           = .false.
UseSpecialFR          = .true.
DepthDistribution      = .true.
DDBivalvesOnly        = .true.
UseEquivalence         = .true.
EquivalentPrey        = 'EquivalentProoien.txt'
EquivalentVersion      = 2019.001

```

Sibes The Sibes surveys to be used. Required variable. Each name points to the Sibes version file for a specific survey year. For example, the value "Sibes2015" (the data for 2015) in combination with version 2016.003 (column SibesVersion in [Listing 4.10](#)) means the program will look for version file "Sibes2015_2016_003.txt" (or an earlier version) in the folder with name given by configuration file variable "SibesFolder". This version file then specifies a subfolder of the Sibes folder in which the actual datafiles reside.

SibesVersion Optional (array) variable with Sibes version(s). Default value is 9999.999, which means "latest value".

Imares The data of the WMR shellfish survey is specified in the same way as the Sibes data. The configuration file variable "ImaresFolder" specifies the name of the folder containing the version files and the datafolders. Required variable.

ImaresVersion Optional (array) variable with WMR survey version(s). Default value is 9999.999, which means "latest value".

MosselBank Version file belonging the map of mussel, japanese oyster and mixed banks. The version files sit in a folder with name given by configuration file variable "MosselBankFolder" and point towards subfolders containg the actual maps in ASCII grid format. Required variable.

MosselBankVersion Optional (array) variable with bank map version(s). Default value is 9999.999, which means "latest value".

LongPreyList The choice between short prey list (value .false.) and long prey list (value .true.) in the bird parameter files. Required variable.

UseSpecialFR Switches on or off the use of special functional response models which are available for a few bird species (currently knot, oystercatcher and bar tailed godwit). Optional flag with default value .true.

DepthDistribution Switches on or off the use of depth distribution parameters on (some) benthos parameter files. Depth distribution parameters are used in combination with bird species bill length to exclude a fraction of the prey from being eaten. Optional flag with default value .true.

DDBivalvesOnly If this flag is .true. the depth distribution correction is applied to bivalves only. Optional flag with default value .false.

UseEquivalence Switches on or off the use of equivalent prey species. Required variable.

EquivalentPrey The name of the file describing the benthos species to be treated as equivalent from the birds point of view. Optional variable with default value 'xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx'. Using this default in combination with "UseEquivalence = .true." will result in an error. The EquivalentPrey file is assumed to be present in the folder with name given by configuration file variable "EquivalenceFolder".

EquivalentVersion Optional equivalent prey list version. Default value is 9999.999, which means "latest value".

4.4.3 Soil subsidence

Soil subsidence can be specified as a uniform amount, equal everywhere, by means of a map, or as a combination of the two. These options allow an extensive sensitivity analysis on the amount and spatial distribution of soil subsidence. The input variables can be found in [Listing 4.11](#).

Listing 4.11 Soil subsidence parameters on the job input file.

```

! Bodemdaling ; Soil subsidence
! =====
! Note: Als alleen een Dalingskaart gebruikt moet worden
!       dan DalingUniform op 0.0 zetten
!
BodemdalingMode    = 0      ! 0 --> Geen bodemdaling
                           ! 1 --> Uniform
                           ! 2 --> Uniform EN Gebruik Dalingskaart
DalingUniform       = 0.00  ! [cm] gebruikt bij mode Uniform EN
                           ! bij mode Dalingskaart
DalingkaartFractie = 0.00  ! [-] gebruikt bij mode Dalingskaart
ShiftingFood        = .true.
Dalingkaart         = 'Bodemdaling'
DalingKaartVersion  = 2016.001

```

BodemdalingMode Sets the model for soil subsidence, see [Listing 4.11](#). Required variable.

DalingUniform The uniform soil subsidence in centimeter. Optional variable with default 0.0 cm.

DalingkaartFractie The soil subsidence read from a map is multiplied with this number. This is used to increase or decrease the soil subsidence while maintaining its spatial distribution. Used only if BodemdalingMode=2. Optional variable with default value 0.000.

ShiftingFood Flags choosing between the prey just going down with the soil subsidence or shifting in order to maintain its exposure time.

Dalingkaart Name of the soil subsidence file, which is contained in the folder with name specified by configuration file variable "BodemDalingFolder". The soil subsidence file contains the subfolder and name of the soil subsidence map.

DalingKaartVersion The version of the soil subsidence file looked for. Optional variable with default 9999.999, which means "latest value".

If ShiftingFood=.false. the amounts of prey do not change but their exposure times change as a result of the height change. Settings ShiftingFood=.true. implies that soil subsidence takes place slowly and that ecological zones on the mudflats shift. In that case the exposure time associated with a certain benthos sample does not change but instead there is a change in the surface area associated with it since mudflat surface with a particular exposure time becomes more or less abundant.

This change in surface area is estimated from the distribution of height calculated for the subarea (see [section 3.3.4](#) and [Figuur 3.4 at page 38](#)). The underlying assumption is that the three dimensional shape of the mudflats and gullies does not change (the system just goes down).

This last assumption is clearly not justified if a map is used describing a non-uniform soil subsidence. In that case a comparison between the height distributions before and after the soil subsidence may yield an acceptable estimate of the change in surface area for each sample height. This, however, has not been implemented.

Listing 4.12 Parameters for calculating the seasonal exposure time on the job input file. The seasonal exposure time is used for a few proxies.

```

! Droogvalduur berekeningen voor Sibes-punt Proxy waarden
! Exposure times calculated for Sibes point proxy values
! =====
! exposure time options for Years, used for Seasonal Exposure Time
TidalYearsOption = 2 ! 1 -> Use TidalYearsFixed
                      ! 2 -> Use YearsBeforeAfter Year
TidalYearsFixed   = 0,0 ! fixed period waarover een (gemiddelde)
                      ! droogvalduur wordt berekend
YearsBeforeAfter  = 0,0 ! years before and after the TidalYear used

! exposure time options for the bird-season month
! used for Seasonal Exposure Time
TidalSeasonOption = 2 ! 1 -> Use Full Year(s) according to above
                      !           TidalYearsOption (no season)
                      ! 2 -> Use DaysBeforeAfter, applied to all years
                      !           in year-range according to TidalYearsOption
DaysBeforeAfter    = 0,0 ! number of days before and after
                      ! the bird-season month

```

4.4.4 Exposure time used in proxies

Some of the proxies are calculated by multiplying a biomass or functional response with the exposure time at the benthos sample point. This exposure time is the so called seasonal exposure time, which is usually calculated for the month of the bird-season combination (the first column in [Table A.1 at page 83](#)).

[Listing 4.12](#), which is part of the job input file, contains the parameters for calculating the seasonal exposure time. For instance, for a certain bird-season Month=5. The seasonal exposure time can be calculated then as the average over the years 1990–2010 for the month May in each of these years. It may also be calculated for the year of the proxy calculation only. Further, the month can be extended with days before and after in order to reduce weather influences.

TidalYearsOption has value 1 or 2 and switches between a fixed range of years and a period around the year of the proxy calculation. Optional variable with default value 1 (fixed range of years).

TidalYearsFixed specifies the fixed range of years. Optional variable with default value [1990,2010]. Note that two equal years like [2010,2010] specify a single year which is fixed and independent of the proxy year. Clearly TidalYearsOption must have the value 1 for using TidalYearsFixed.

YearsBeforeAfter This specifies a period in years *around* the year for which the proxies are calculated. Optional variable with default value [0,0], which means that only the proxy year is used. Clearly TidalYearsOption must have the value 2 for using YearsBeforeAfter.

TidalSeasonOption has value 1 or 2 and switches between the use of full years and the use of water levels in the bird-season month only. Optional variable with default value 1 (full years).

DaysBeforeAfter The number of days before and after the bird-season month which are included in the seasonal calculations. Optional variable with default value [0,0], which means there are no days added to the bird-season month. Clearly TidalSeasonOption must have the value 2 for using DaysBeforeAfter.

The begin and end points of each season are shifted to the nearest high tide time, also in case of a multi-year seasonal average. This is important since it prevents the use of parts of a tidal cycle in an exposure time calculation. If this time shift is not wanted, the configuration file variable AdjToNearHT must be set at value .false. (see Listing 4.5 in section 4.3).

Note that a fixed single year can be used in analysis of variance calculations in which the benthos year and the tidal year need to be chosen and varied independently of each other.

4.5 Running the program

The program Wadmap is executed by typing the command "HMrun" with command line options in a terminal window (under Windows sometimes called DOS box). This command (1) executes the model (with executable file incorrectly named HabitatModel) and (2) executes the plotting program HMplot.

4.5.1 The command line options

Typing "HMrun ?" returns the following help text on the function of HMrun and its command line options. The end of the help text shows the default settings.

HMrun invokes HabitatModel for sequential or parallel runs. After parallel runs plotting and CSV output is combined, and HMplot is invoked for PDF plots with all runs and for sensitivity plots. Note that above 12 reruns, the plotting program is called with the -SPD command option. For full output with more than 12 runs, use option -Full and execute HMplot -Full afterwards.

HMrun command line options:

number Sets the number of processors used for parallel runs (clearly limited by hardware)

-S forces sequential reruns (just S will work as well)

-SPD calls HMplot with SPD option (above 12 reruns default)

-[No]Full Full output (map images, all plots, extended report files)

-[No]ECP Writes ECP files for all plots

-[No]Debug Sets a high loglevel, also in HabitatModel

-Control *filename* Sets the name of the job input file

-Reruns *filename* Sets the name of the rerun file

-LogLevel *n* Sets loglevel for HMrun to *n* (not passed to HabitatModel)

default options: HMrun 12 -NoFull -NoECP -NoDebug -Control control.txt

-Reruns reruns.txt -LogLevel 1

The loglevel is a number which sets the amount of detail in the logfile. Higher values trigger messages of deeper subroutines and functions, which allows the user to more easily identify a problem. The default value of 1 just produces messages about the main steps in the sequence of calculations.

The SPD option of the plotting program means that only Sensitivity plots, Proxy plots and Diet plots are made. Diet plots, moreover, require runs with Full ouput set.

4.5.2 Reruns

If a file "Reruns.txt" is present in the default directory of the terminal window, HMrun will perform a complete model run for each of the so called rerun sections in the rerun file (see below). The model runs are executed in parallel unless HMrun is instructed otherwise. Each run "takes place" in its own folder, which is created for that purpose.

After finishing all runs the output files are combined as if the runs would have been made sequentially. Then HMplot is invoked and reads the (binary) model output, sees that there are multiple runs, and produces for each plot a multiple page PDF document. In addition it produces so called sensitivity plots in which graphs are made of an output variable as function of an input variable which has been varied over the model runs.

Hence, the parallel execution is completely transparent and does not lead to many copies of the output which have to be compared "by hand". Instead, each PDF plot file contains the results of all runs, which can be compared by scrolling through the pages.

Rerun sections

A rerun section consists of one or more "variable = value" entries in the rerun file, which is an ordinary text file. These entries may redefine any variable in any of the text input files. A number of entries for the same variable simply defines an equal number of model runs.

Hence, the mere presence of a rerun file causes multiple model runs. The name of the rerun file can be specified in a command line option. Its default is "reruns.txt".

If multiple variables need to be redefined for each run, a rerun section consists of a group of "variable = value" entries. The number of entries and the order of the variables need to be identical in all rerun sections. Further, the datatypes (integer, logical flag, text string or real number) must be consistent and identical to the variable type in the input file.

4.5.3 Plots

The PDF files with plots are made by program HMplot *after completion of all model runs*. This has been made possible by a complete separation between the proxy calculations and the actual construction of the output PDF plots. The PDF plots consist of vector graphics in publication quality and can be edited by EPS/PDF editors like Adobe Illustrator.

A Wadmap run produces values for many different output variables, for different bird species, benthos species and subareas. All these values are collected in three binary output files HabitatModelD.bin, HabitatModelV.bin and HabitatModelR.bin.

Instructions for drawing the plots (for each plot the choice of variables, axes, lines, colours, etc.) are collected in the plot description files "HabitatModelPlots.dat" and "SPDplots.dat". And finally there is a PlotPreferences file in which plotting style parameters and things like font size and plot size are set.

A plot description file like "HabitatModelPlots.dat" is an ordinary text file which can be edited "by hand" in order to remove entire plots, remove lines from a certain plot, or add new plots, e.g. plots of a series of runs for a sensitivity analysis. Often

many thousands of plots are drawn by default, which is sometimes time consuming. It may then be worthwhile to make a selection by editing the plot description file.

After execution of one or more runs with HMrun the plotting can be repeated by means of program HMplot. HMplot combines a plot description file with the actual variable values stored in the binaries and with the style options in the PlotPreferences file.

Typing "HMplot ?" returns the following help text on the function of HMplot and its command line options. The end of the help text shows the default settings.

HMplot calls subroutine HabitatModelPlot for writing several types of EPS files with graphs. The graphs are based on the style options in 'PlotPreferences.txt', multirun binary output files 'HabitatModel*.bin' and a readable (and editable) plot description file, usually 'HabitatModelPlots.dat'.

HMplot command line options:

-Screen Switches on screen output

-[No]Full Full output (all plots, extended reports). Requires HabitatModel runs with full output as well.

-[No]ECP Writes ECP files for all plots

-[No]Debug Sets a high loglevel, also for HabitatModelPlot

-[No]SepSens Writes proxy, diet and sensitivityplots as separate files instead of into a single PDF file

-SPD Uses 'SPDplots.dat' as plot definition file (only Sensitivity, Proxy and Diet plots). Note that diet plots will only be produced after Habitatmodel run(s) with Full output.

-Control *filename* Sets the name of the job input file

default options: HMplot -NoFull -NoECP -NoDebug -NoSepSens
-Control control.txt

Note that configuration file option "KeepPlotFiles" must be set .true. in order to edit the plot definition files "HabitatModelPlots.dat" and/or "SPDplots.dat".

4.5.4 Output maps

If job input parameter HeightmapImage is set (see [Listing 4.9 at page 64](#)), a TIF file is produced with a picture of the height map at the resolution determined by configuration parameter RegionMapRoughness in [Listing 4.6 at page 59](#).

If job input parameter ExposureMapImage is set (see [Listing 4.9 at page 64](#)), a TIF file is produced with a picture of the calculated exposure time map (the one used for determining the available mudflat area and not the seasonal exposure times for the proxies) at the same resolution as the height map image.

If command line option "-Full" is set, images in TIF format are produced of all proxymaps and of the prey distribution (biomass, harvestable biomass, harvestable biomass \times exposure time).

The job input parameters "ExportProxyMaps" and "ExportPreyMaps" cause the creation of ASCII grid files for all proxy and prey maps. This is a time consuming option leading to huge amounts of output. It is not possible to write the calculated exposure times to an ASCII grid file.

4.5.5 CSV files

”Comma Separated Value” files are produced with average exposure times and proxy values for each subarea and each bird-season. These files can be easily imported into a spreadsheet for further processing. In case of reruns all results appear in a single CSV file with the run number in a separate column. This allows analysis of variance calculations, regression analysis, etc.

4.6 The structure of the program

The program Wadmap consists of a number of Fortran 95/2003/2008 modules. Such a Fortran module contains the declaration of module variables of a standard type or of a user-defined type and of a number of procedures (subroutines and functions). By means of a USE statement a module can make use of the public variables and procedures of another module.

In this way a large program can be built up from low level building blocks, for instance for the recognition of bird species names or bird-season combinations, which are literally USED in higher level modules.

4.6.1 The Fortran modules

The modules of Wadmap are the following:

HMrun Main program. Reads the command line and organises the wadmap run(s). This includes the creation of folder in which the output files are written.

HMplot Main program. Reads the command line and calls module HabitatModelPlot for constructing the PDF plots.

HabitatModelMain Reads the command line options, calls HabitatModelInput, opens and closes CSV output files to which the Wadmap writes results, calls HabitatModel for initializing Wadmap, calls HabitatModel for proxy calculation.

HabitatModel Initializes Wadmap (reads the configuration file) and organizes the proxy calculations mainly by calling private subroutines inside module HabitatModel and public procedures in other, USE'd modules.

BirdForaging Organizes the functional response calculations.

KnotVanGils Functional response calculation for knot based on [Hirakawa \(1995\)](#) and [Van Gils et al. \(2005\)](#).

ScholleksterWebtics Functional response calculation for oystercatcher based on [Zwarts et al. \(1996\)](#), [Goss-Custard et al. \(2001\)](#) and [Hiddink \(2003\)](#).

RosseGruttoDuijns Functional response calculation for bar-tailed godwit based on [Duijns et al. \(2015\)](#).

GossCustard Default functional response calculation for all other bird species based on [Goss-Custard et al. \(2006\)](#) with corrections made by Hans Schekerman.

ImaresSurvey Handles the WMR shellfish survey (see [section 2.3](#)).

SibesSurvey Handles the Sibes benthos survey (see [section 2.5](#)).

ComputedMaps Generates maps from Sibes point proxy values, exports them in ASCII grid format and draws them as TIF files (see [section 4.5.4](#)).

HabitatModelInput Verifies and reads the job input file. Writes a report of that in the logfile (see [section 4.4](#)).

HeightPDF Calculates the height probability density function for the subareas (see [Figure 3.4 at page 38](#) in [section 3.3.4](#)).

BirdSeason Takes care of bird-season names with associated parameters and abbreviations (input from configuration file, see [Listing 4.3 at page 54](#)).

BirdSpecies Recognises bird names in various languages and abbreviations used for filenames (input is [Table B.1 at page 85](#)).

BenthosBehaviour Implementation of weight size relations and depth distribution functions for benthos species.

BenthosSpecies Recognises benthos names in various languages, Sibes species codes and abbreviations used for filenames (input is [Table B.2 at page 86](#)).

Areaname Recognises area names with equivalents like tidal basis numbers (input is [Table B.3 at page 89](#)).

HMdefinitions Contains the definition of many names and constants used in the program, the definition of the variable Config with user-defined type containing all settings read from the configuration file. Contains procedures for the handling of version numbers en the selection of versioned datafiles which are actually used for input.

ParallelRunSupport A collection of utilities needed for parallel execution of reruns.

DelimitedFile Utilities for reading data from column based "spreadsheet type" of files like the files with WMR and Sibes data.

DefinePlot A module which is called for plotting requests ('new plot', 'new variable', 'new axis' and so on). The module collects this information and finally writes a plot definition file used by HMplot.

Wadmap makes use of linked object libraries. These compiled libraries are needed as a resource for the construction of Wadmap executable files. The source code of these general purpose libraries, however, is not part of Wadmap. Most of the libraries are freely available. The main exception is the EcoCurves library which is used for map operations, exposure time calculations and plotting.

4.6.2 The linked libraries

If a Fortran module X is compiled it is translated into an object file X.OBJ with machine code and into a so called mod file X.MOD which is needed at compile time if another module is using X. A library consists of a LIB file containing the object code of the included Fortran modules, subroutines and functions and of a collection of MOD files for the modules contained in the library.

The compiled Wadmap modules are combined with each other and linked with the following libraries in order to generate executable files for HMrun, HabitatModel and HMplot.

MATH77 The MATH77 collection of subroutines ([JPL Section 395, Supercomputing and Computational Mathematics Group, 1998](#)) is used in Wadmap for least squares cubic spline fits. Since 2015 this library is in the public domain under an open source (BSD) license and available from www.netlib.org. At <https://jblevins.org/log/math77> the library is described as follows:

MATH77 is a library of Fortran 77 subroutines implementing various numerical algorithms. It was developed over decades at JPL, and contains some very high-quality and time-tested code. The code is released under a BSD-type license. There is also a C version for people who love semicolons.

This goldmine includes basic mathematical functions, random number generators, linear algebra routines, solvers for systems of nonlinear equations, curve fitting, interpolation, and quadrature routines, and much more. The libraries are available at Netlib and are accompanied by 619 pages of detailed documentation.

EcoCurves A collection of Fortran-95/2008 modules developed, maintained and owned by EcoCurves BV. In Wadmap this library is called for plotting, the calculation of exposure times, for ASCII grid map input/output and map operations like rescaling, cropping, addition, subtraction and imaging. **The use of the EcoCurves library is not free.**

TTutil A collection of subroutines for input, output and string handling ([van Kraalingen & Rappoldt, 2000](#)) used by Wadmap for reading many input files containing "variable=value" entries. The library also contains subroutines for calculations with dates and times. Freely available.

PublicDomain Modules in the public domain for writing GIF files and GIF movies. Author and references are in the source code. These routines are referenced in linked modules (and therefore needed by the linker), but not actually called by Wadmap.

DCDFLIB Is a "Library of Fortran Routines for Cumulative Distribution Functions, Inverses, and Other Parameters". This library is freely available from <http://www.netlib.org/random>. It is used by Wadmap for calculating an F-statistic and values of the cumulative gamma distribution.

BLAS and Lapack These famous collections, Basic Linear Algebra Subroutines (BLAS) and Linear Algebra Package (Lapack), are the preferred source for vector and matrix operations.

The Intel Fortran compiler comes with highly optimised BLAS and Lapack libraries contained in the MKL package (Math Kernel Library). If another compiler is used (e.g. the free GFortran compiler), the BLAS and Lapack source code can be found at www.netlib.org.

NumericalRecipes The Fortran-90 version of the Numerical Recipes library is linked for use of 6 of its subroutines. This library is not free and a license for the Fortran-90 version can be purchased at www.numerical.recipes. Probably, however, the use of this library can be avoided altogether with help of the free libraries BLAS, Lapack, MATH77 and DCDFLIB. This requires some recoding, however.

References

- Bijleveld, A. I., van Gils, J. A., van der Meer, J., Dekkinga, A., Kraan, C., van der Veer, H. W., Piersma, T., 2012. Designing a benthic monitoring programme with multiple conflicting objectives. *Methods in Ecology and Evolution* 3, 526–536.
- Bult, T. P., Ens, B. J., Baars, D., Kats, R. K. H., Leopold, M. F., 2004. Evaluatie van de meting van het beschikbare voedselaanbod voor vogels die grote schelpdieren eten. Rapportage in het kader van EVA-II deelproject B3. Technical report, Wageningen IMARES, voorheen RIVO, Yerseke, the Netherlands. RIVO Rapport C018/04.
- Charnov, E. L., 1976. Optimal foraging: attack strategy of a mantid. *American Naturalist* 110, 141–151.
- Compton, T., Holthuijsen, S., Koolhaas, A., Dekkinga, A., ten Horn, J., Smith, J., Galama, Y., Brugge, M., van der Wal, G., van der Meer, J., van der Veer, H. W., Piersma, T., 2013. Distinctly variable mudscapes: Distribution gradients of intertidal macrofauna across the Dutch Wadden Sea. *Journal of Sea Research* 82, 103–116.
- Doodson, A. T., 1921. The harmonic development of the tide-generating potential. *Proceedings of the Royal Society London A* 100, 305–329.
- Duijns, S., Knot, I. E., Piersma, T., van Gils, J. A., 2015. Field measurements give biased estimates of functional response parameters, but help explain foraging distributions. *Journal of Animal Ecology* 84, 565–575.
- Elias, E., Wang, Z. B., 2013. Abiotische gegevens voor monitoring effect bodemdaling. Technical report, Deltares, Delft, the Netherlands.
- Goss-Custard, J., West, A., Yates, M., Caldow, R., Stillman, R., Bardsley, L., Castilla, J., Castro, M., Dierschke, V., Durell, S., Eichhorn, G., Ens, B., Exo, K., Udayangani-Fernando, P., Ferns, P., Hockey, P., Gill, J., Johnstone, I., Kalejta-Summers, B., Masero, J., Moreira, F., Nagarajan, R., Owens, I., Pacheco, C., Perez-Hurtado, A., Rogers, D., Scheiffarth, G., Sitters, H., Sutherland, W., Triplet, P., Worrall, D., Zharikov, Y., Zwarts, L., Pettifor, R., 2006. Intake rates and the functional response in shorebirds (Charadriiformes) eating macro-invertebrates. *Biological Reviews* 81, 501–529.
- Goss-Custard, J. D., West, A. D., Stillman, R. A., le V. dit. Durell, S. E. A., Caldow, R. W. G., McGrorty, S., Nagarajan, R., 2001. Density-dependent starvation in a vertebrate without significant depletion. *Journal of Animal Ecology* 70, 955–965.
- Hiddink, J. G., 2003. Modelling the adaptive value of intertidal migration and nursery use in the bivalve *Macoma balthica*. *Marine Ecology Progress Series* 252, 173–185.

- Hirakawa, H., 1995. Diet optimization with a nutrient or toxin constraint. *Theoretical Population Biology* 47, 331–346.
- JPL Section 395, Supercomputing and Computational Mathematics Group, 1998. MATH77 and *mathc90*, Release 6.0, Libraries of Mathematical Subprograms in Fortran 77 and C. NASA's Jet Propulsion Laboratory, USA.
- Kamermans, P., Kesteloo-Hendrikse, J. J., Baars, D., 2003. Evaluatie van de geschatte omvang en ligging van kokkelbestanden in de waddenzee, ooster- en Westerschelde. Rapportage in het kader van EVA-II deelproject H2. Technical report, Wageningen IMARES, voorheen RIVO, Yerseke, the Netherlands. RIVO Rapport C054/03.
- Kowalik, Z., Luick, J., 2013. The oceanography of tides. https://www.uaf.edu/files/sfos/Kowalik/tide_book.pdf. [online; accessed 7-April-2017].
- Nauw, J., Philippart, C. J. M., Duran-Matute, M., Gerkema, T., 2017. Estimates of exposure times in the wadden sea: A comparison of methods. *Journal of Sea Research* 127, 12–25.
- Pugh, D., Woodworth, P., 2014. Sea-Level science ; Understanding tides, surges, tsunamis and mean sea-level changes. Cambridge university press, Cambridge.
- Rappoldt, C., Ens, B. J., 2013a. Het effect van bodemdaling op overwinterende scholeksters in de Waddenzee ; een modelstudie met WEBTICS. Technical report, EcoCurves, Haren, the Netherlands. EcoCurves rapport 17 (Sovon-rapport 2013/19).
- Rappoldt, C., Ens, B. J., 2013b. Scholeksters en de toekomstige erosie van slikken in de Oosterschelde ; een modelstudie met WEBTICS. Technical report, EcoCurves, Haren, the Netherlands. EcoCurves Rapport 18, ISSN 1872-5449, Sovon rapport 2013/25.
- Rappoldt, C., Ens, B. J., Kersten, M. A. J. M., Dijkman, E. M., 2003. Wader Energy Balance & Tidal Cycle Simulator WEBTiCS, technical documentation version 1.0. Rapport voor de deelprojecten B1 en D2 van EVA-II, de tweede fase van het evaluatieonderzoek naar de effecten van schelpdiervisrijp op natuurwaarden in de Waddenzee en Oosterschelde 1999-2003. Technical report, Alterra, Wageningen, the Netherlands. Alterra–rapport 869.
- Rappoldt, C., Roosenschoon, O. R., van Kraalingen, D. W., 2014. InterTides, maps of the intertidal by interpolation of tidal gauge data. Technical report, EcoCurves, Haren, the Netherlands. EcoCurves Rapport 19, ISSN 1872-5449.
- van Asch, M., van den Ende, D., Brummelhuis, E., van Zweeden, C., Troost, K., 2015. Het kokkelbestand in de nederlandse kustwateren in 2015. Technical report, IMARES Wageningen UR, Yerseke, the Netherlands. Rapport C111/15.
- van den Ende, D., Brummelhuis, E., van Zweeden, C., van Asch, M., Troost, K., 2015. Mosselbanken en oesterbanken op droogvallende platen in de nederlandse kustwateren in 2015: bestand en arealen. Technical report, IMARES Wageningen UR, Yerseke, the Netherlands. Rapport C168/15.
- Van Gils, J., de Rooij, S., van Belle, J., van der Meer, J., Dekkinga, A., Piersma, T., Drent, R., 2005. Digestive bottleneck affects foraging decisions in red knots *calidris canutus*. I. Prey choice. *Journal of Animal Ecology* 74, 105–119.

van Kraalingen, D. W. G., Rappoldt, C., 2000. Reference manual of the fortran utility library ttutil v. 4. Technical report, Plant Research International (Report 5), Wageningen, the Netherlands. Updated PDF file available from kees.rappoldt@ecocurves.nl.

Zwarts, L., Ens, B. J., Goss-Custard, J. D., Hulscher, J. B., le V. dit. Durell, S. E. A., 1996. Causes of variation in prey profitability and its consequences for the intake rate of the oystercatcher *Haematopus ostralegus*. Ardea 84A, 229–268.

Appendices

APPENDIX A

Vogelsoort-seizoen combinaties

In [Tabel A.1](#) op [bladzijde 83](#) staan de geïmplementeerde combinaties van vogelsoort en seizoen. Het maandnummer heeft consequenties voor het gewicht van de gegeten prooien en voor de waterstanden die worden gebruikt voor het berekenen van de droogvalduur.

De laatste kolom bevat de afkorting die gebruikt wordt op plaatsen waar een volledige beschrijving onhandig is, zowel binnen het habitat model, als in de (file)namen van sommige grafieken en kaarten die voor de betreffende vogelsoort-seizoen combinatie kunnen worden gemaakt.

De afkorting is samengesteld uit de afkorting voor de soort in kolom "L2" in [Tabel B.1](#) op [bladzijde 85](#), en het nummer van de maand in de eerste kolom van [Tabel A.1](#). Daarbij worden de maanden oktober, november en december aangeduid met "A", "B" en "C" (hexadecimaal voor 10, 11 en 12). Een voorbeeld is de kluut in november. Dat wordt "KLB".

Tabel A.1. Vogelsoort-seizoen combinaties geïmplementeert in het habitat model. Namen van vogelsoorten kunnen zowel in het Latijn, Engels als Nederlandse worden opgegeven. De maand heeft consequenties voor het gewicht van de gegeten prooien en voor de waterstanden die worden gebruikt voor het berekenen van de droogvalduur.

Month	BirdSpecies	Name	DescriptionNL	DescriptionUK	L3
1	Shelduck	BergeendWinter	in de winter	in winter	BE1
9	Shelduck	BergeendNazomer	in de nazomer	in late summer	BE9
1	Pintail	PijlstaartWinter	in de winter	in winter	PS1
11	Pintail	PijlstaartNajaar	in de herfst	in autumn	PSB
1	Oystercatcher	ScholleksterWinter	in de winter	in winter	BP1
9	Oystercatcher	ScholleksterNazomer	in de nazomer	in late summer	BP9
9	Avocet	KluutNazomer	in de nazomer	in late summer	KL9
11	Avocet	KluutNajaar	in het najaar	in autumn	KLB
5	Ringed plover	BontbekVoorjaar	in het voorjaar	in spring	BB5
9	Ringed plover	BontbekNazomer	in de nazomer	in late summer	BB9
1	Grey Plover	ZilverplevierWinter	in de winter	in winter	ZP1
5	Grey Plover	ZilverplevierVoorjaar	in het voorjaar	in spring	ZP5
1	Red Knot	KanoetWinter	in de winter	in winter	KA1
8	Red Knot	KanoetZomer	in de zomer	in summer	KA8
5	Sanderling	DrieteenVoorjaar	in het voorjaar	in spring	DT5
9	Sanderling	DrieteenNazomer	in de nazomer	in late summer	DT9
5	Dunlin	BontjeVoorjaar	in het voorjaar	in spring	BO5
9	Dunlin	BontjeNazomer	in de nazomer	in late summer	BO9
5	Bar-tailed Godwit	RosseGruuttoVoorjaar	in het voorjaar	in spring	RG5
8	Bar-tailed Godwit	RosseGruuttoZomer	in de zomer	in summer	RG8
1	Curlew	WulpWinter	in de winter	in winter	WT1
9	Curlew	WulpNazomer	in de nazomer	in late summer	WU9
1	Redshank	TureluurWinter	in de winter	in winter	TU1
7	Redshank	TureluurZomer	in de zomer	in summer	TU7
1	Turnstone	SteenloperWinter	in de winter	in winter	ST1
8	Turnstone	SteenloperZomer	in de zomer	in summer	ST8

APPENDIX B

Namen van vogelsoorten, benthos soorten en deelgebieden

In [Tabel B.1](#) op [bladzijde 85](#) staan de soortnamen die door het habitat model worden herkend.

In [Tabel B.2](#) vanaf [bladzijde 86](#) staan de benthos namen die gebruikt kunnen worden. De lijst moet volledig zijn in de zin dat alle soortnamen die in de Sibes datafiles voorkomen in de tabel moeten voorkomen. De namen die gebruikt worden in de dieet files van de vogelsoorten zijn veelal de nederlandse namen die via [Tabel B.2](#) herleid worden tot Sibes items.

In [Tabel B.3](#) op [bladzijde 89](#) staat de lijst met geïmplementeerde deelgebieden. Op het moment zijn dat de kombergingen, maar de lijst kan gemakkelijk worden aangevuld met bijvoorbeeld de aandachtsgebieden in de Pinkebat komberging.

Hele kleine deelgebieden zullen een grillige hoogteverdeling hebben. Als er daar door allerlei artefacten optreden in effectberekeningen voor bodemdaling met op schuivend voedsel, dan kan voor het berekenen van de hoogteverdeling een groter deelgebied worden gekozen door middel van de kolom "RefMapHeightPDF". De kombergingen zijn voldoende groot om zichzelf als referentie te gebruiken.

Tabel B.1. De soortnamen van de vogels in het latijn, engels en nederlands. De "FileNameStem" is de naam die gebruikt wordt in datafiles voor de betreffende soort. De afkorting "L2" wordt gebruikt als afkorting in filennamen, samen met een afkorting voor het beschouwde deelgebied.

Latin	English	Dutch	FileNameStem	L2
<i>Tadorna tadorna</i>	Shelduck	Bergeend	Shelduck	BE
<i>Anas penelope</i>	Wigeon	Smient	Smient	SM
<i>Anas crecca</i>	Teal	Wintertaling	Wintertaling	WT
<i>Anas platyrhynchos</i>	Mallard	Wilde eend	WildeEend	WE
<i>Anas acuta</i>	Pintail	Pijstaart	Pintail	PS
<i>Haematopus ostralegus</i>	Oystercatcher	Scholeksster	Oystercatcher	BP
<i>Recurvirostra avosetta</i>	Pied avocet	Kluut	Avocet	KL
<i>Charadrius hiaticula</i>	Ringed plover	Bontbekplevier	RingedPlover	BB
<i>Pluvialis squatarola</i>	Grey plover	Zilverplevier	GreyPlover	ZP
<i>Calidris canutus</i>	Red knot	Kanoet	Knot	KA
<i>Calidris alba</i>	Sanderling	Drieteenstrandloper	Sanderling	DT
<i>Calidris alpina</i>	Dunlin	Bonte strandloper	Dunlin	BO
<i>Limosa lapponica</i>	Bar-tailed godwit	Rosse grutto	BarTailedGodwit	RG
<i>Numerius arquata</i>	Curlew	Wulp	Curlew	WU
<i>Tringa erythropus</i>	Spotted redshank	Zwartre ruiter	ZwartreRuiter	ZR
<i>Tringa totanus</i>	Redshank	Tureluur	Redshank	TU
<i>Tringa nebularia</i>	Greenshank	Groenpootruijer	Groenpoot	GP
<i>Arenaria interpres</i>	Turnstone	Steenloper	Turnstone	ST
<i>Chroicocephalus ridibundus</i>	Black-headed gull	Kokmeeuw	Kokmeeuw	KM
<i>Larus canus</i>	Common gull	Stormmeeuw	Stormmeeuw	LC
<i>Larus argentatus</i>	Herring gull	Zilvermeeuw	Zilvermeeuw	ZM
<i>Avis omnivora all</i>	Omnivore	Alleseter	AlleProoieneter	AP
<i>Avis omnivora shelffish</i>	Shellfish eater	Schelpemeter	AlleSchelpemeter	AS
<i>Avis omnivora crustaceae</i>	Crustacea eater	Kreeftemeter	AlleKreeftemeter	AK
<i>Avis omnivora worms</i>	Worm eater	Wormeneter	AlleWormeneter	AW

Tabel B.2. Namen Sibes bemonstering. Veel gebruikte Nederlandse namen zijn toegevoegd zodat die in parameter files over foeragerende vogels gebruikt kunnen worden. De laatste kolom wordt door het habitat model gebruikt in filennamen voor de betreffende soort.

NaamCode	SibesName	Latin	English	Dutch1	Dutch2	Group	FileNameStem
Abralb	Abra alba	Abra alba	white furrow shell	witte dunschaal	-	bivalve	Abralb
Abreten	Abra tenuis	Abra tenuis	abra tenuis	tere dunschaal	-	bivalve	Abreten
Barcan	Barnea candida	Barnea candida	white piddock	witte boormossel	-	bivalve	Barcan
Ceredeu	Cerastoderma edule	Cerastoderma edule	cockle	kokkel	-	bivalve	Cergia
Cergia	Cerastoderma glaucum	Cerastoderma glaucum	lagoon cockle	brakwaterkokkel	-	bivalve	Cragig
Cragig	Crassostrea gigas	Crassostrea gigas	japanese oyster	Japanse oester	-	bivalve	Donvit
Donvit	Donax vittatus	Donax vittatus	banded wedge-shell	-	-	bivalve	Ensdir
Ensdir	Ensis directus	Ensis directus	atlantic jack knife clam	amerikaanse zwaardschede	-	bivalve	wadslakje
Hydulv	Hydrobia ulvae	Hydrobia ulvae	mudsnail	wadslakje	-	other	nometje
Macbal	Macoma balthica	Macoma balthica	baltic tellin	nometje	-	bivalve	Maccor
Maccor	Macoma corallina	Macra stultorum	rayed trough-shell	grote strandschelp	-	bivalve	stranggaper
Myaare	Mya arenaria	Mya arenaria	sand gaper	strandgaper	-	bivalve	Mysbid
Mysbid	Mysella bidentata	Mysella bidentata	mysella, bidentata	weetandmosselijte	-	bivalve	Mytedu
Mytedu	Mytilus edulis	Mytilus edulis	common mussel	mossel	-	bivalve	Petphio
Petphio	Petricola pholadiformis	Petricola pholadiformis	Amerikaanse boormossel	-	-	bivalve	Scriptia
Serpbla	Serpicularia plana	Serpicularia plana	platte slijkschelp	-	-	bivalve	Spisub
Spisub	Spisula subtruncata	Spisula subtruncata	halfgeknootte strandschelp	-	-	bivalve	Teffab
Teffab	Tellina fabula	Tellina fabula	linksgestreepte platschelp	-	-	bivalve	Teltten
Teltten	Tellina tenuis	Tellina tenuis	tere, platschelp	-	-	bivalve	Venssen
Venssen	Venerupis senegalensis	Venerupis corrugata	pullet carpet shell	-	-	bivalve	Bartspe
Bartspe	Bathyperore spec.	Bathyperore spec.	kniksprietvlakreeft	-	-	crustaceans	crustaceans
Bodisco	Bodotria scorpioides	Bodotria scorpioides	cumacee	-	-	crustaceans	Bedisco
Calliae	Callionops laeviusculus	Callichirus laeviusculus	amphipode	-	-	crustaceans	Calliae
Canpag	Cancer pagurus	Cancer pagurus	noordzeekrab	-	-	crustaceans	Canpag
Caplin	Caprella linearis	Caprella linearis	spookkreeftje	-	-	crustaceans	Caplin
Carmae	Carcinus maenas	Carcinus maenas	strandkrab	-	-	crustaceans	strandkrab
Chesun	Cheiocratus sundevalli	Cheiocratus sundevalli	vlokreef (Chesun)	-	-	crustaceans	Chesun
Corach	Monocorophium acanthicum	Monocorophium acanthicum	vlokreef (Corach)	-	-	crustaceans	Corach
Corins	Monocorophium insidiosum	Monocorophium insidiosum	vlokreef (Corins)	-	-	crustaceans	Corins
Cracra	Corophium sp.	Corophium sp.	langsprintkreeftje	-	-	crustaceans	Cracra
Diopug	Crangon crangon	Crangon crangon	garnaal	-	-	crustaceans	garnaal
Eurpul	Diogenes pugilator	Diogenes pugilator	boxterje	-	-	crustaceans	Diopug
Gammaar	Eunidiice pulchra	Eunidiice pulchra	agaatpijsbed	-	-	crustaceans	Eurpul
Hanare	Gammaurus spec.	Gammaurus spec.	vlokreeft (Grammar)	-	-	crustaceans	Gammaar
Hemsan	Haustorius arenarius	Haustorius arenarius	-	-	-	crustaceans	Hauare
Hentak	Hemigrapsus sanguineus	Hemigrapsus sanguineus	-	-	-	crustaceans	Hemsan
Idobal	Hemigrapsus takanoi	Hemigrapsus takanoi	-	-	-	crustaceans	Hentak
Idoche	Idotea balthica	Idotea balthica	zeepisschede	-	-	crustaceans	Idobal
Idolin	Idotea chelipes	Idotea chelipes	Zeewisse zeepisschede	-	-	crustaceans	Idoche
Jaealb	Idotea linearis	Idotea linearis	Lange zeepisschede	-	-	crustaceans	Idolin
Jaealb	Jaera albifrons	Jaera albifrons	witkoppijsbed	-	-	crustaceans	Jaealb
Lantfas	Lamnoprops fasciata	Lamnoprops fasciata	cumacee	-	-	crustaceans	Lantfas
Leulil	Leucothoe lilljeborgii	Leucothoe lilljeborgii	vlokreeft (Leulil)	-	-	crustaceans	Leulil
Melpal	Melita palmata	Melita palmata	vlokreeft (met dik ...)	-	-	crustaceans	Melpal
Messa	Mesopodopsis slabberi	Mesopodopsis slabberi	steeolog-aasgarnaal	-	-	crustaceans	Messa
Micmac	Microprotopus maculatus	Microprotopus maculatus	vlokreeft	-	-	crustaceans	Micmac

Vervolg Tabel B.2.

NaamCode	SibesName	Latin	English	Dutch	Dutch2	Group	FileNameStem
Myspe	Mysidacea sp.	Mysidacea sp.	aasgarnaal spec.	-	-	crustaceans	Mysspe
Neoint	Neomysis integer	Neomysis integer	aasgarnaal	-	-	crustaceans	Neoint
Pagber	Pagurus bernhardus	Pagurus bernhardus	heremiekreeft	-	-	crustaceans	Pagber
Palele	Pelaeon mon elegans	Pelaeon mon elegans	steurgarnaal	-	-	crustaceans	Palele
Pipis	Pinnotheres pisum	Pinnotheres pisum	erwtenkrabbelje	-	-	crustaceans	Pipis
Pison	Pisidina longicornis	Pisidina longicornis	porkeleinkrabbelje	-	-	crustaceans	Pison
Ponalt	Pontocretes altamarius	Pontocretes altamarius	vlokreeft (Ponalt)	-	-	crustaceans	Ponalt
Sacar	Saccula carinii	Saccula carinii	krabbezakje	-	-	crustaceans	Sacar
Sphrug	Lekanesphaera rugicauda	Lekanesphaera rugicauda	ruwe zeepissebed	-	-	crustaceans	Sphrug
Thoera	Thorulus cranchii	Thorulus cranchii	kleine steurgarnaal	-	-	crustaceans	Thoera
Urospe	Urothoe spec.	Urothoe spec.	-	-	-	polychaete	Urospe
Alisuc	Alitta succinea	Alitta succinea	ambergele zeeduizendpot	-	-	polychaete	Alisuc
Alivir	Alitta virens	Alitta virens	groene zeeduizendpot	-	-	polychaete	Alivir
Ampacu	Ampharetete acutifrons	Ampharetete acutifrons	lijkt op Peetmania	-	-	polychaete	Ampacu
Ampfig	Neamphipitrite filigulus	Neamphipitrite filigulus	spionide worm	-	-	polychaete	Ampfig
Anoxoy	Anoides oxycephala	Anoides oxycephala	-	-	-	polychaete	Anoxoy
Aphmar	Aphelocheaeta marioni	Aphelocheaeta marioni	-	-	-	polychaete	Aphmar
Aredef	Arenicola defodiens	Arenicola defodiens	zwarte zeepior	-	-	polychaete	Aredef
Arenmar	Arenicola marina	Arenicola marina	wadpijer	-	-	polychaete	Arenmar
Arimin	Aricidea minuta	Aricidea minuta	verwant aan Scoloplos	-	-	polychaete	Arimin
Autian	Autolytus langerhansi	Autolytus langerhansi	(was Autolytus prolifer)	-	-	polychaete	Autian
Aupro	Autolytus prolifera	Autolytus prolifera	grote zeerups (bij Arenicola)	-	-	polychaete	Aupro
Bylsar	Bylgides sarsi	Bylgides sarsi	(krullebol als Aphelocheata)	-	-	polychaete	Bylsar
Capeap	Capitella capitata	Capitella capitata	-	-	-	polychaete	Capeap
Circir	Cirratulus tentaculata	Cirratulus tentaculata	-	-	-	polychaete	Circir
Etelon	Eteone longa	Eteone longa	-	-	-	polychaete	Etelon
Eteosp	Eteone sp.	Eteone sp.	groene bladkieuwworm	-	-	polychaete	Eteosp
Eulvir	Eulalia viridis	Eulalia viridis	(Phyllodocidae)	-	-	polychaete	Eulvir
Eumsan	Eunimida sanguinea	Eunimida sanguinea	-	-	-	polychaete	Eumsan
Eunlon	Eunerolis longissima	Eunerolis longissima	-	-	-	polychaete	Eunlon
Glyalb	Glycera alba	Glycera alba	-	-	-	polychaete	Glyalb
Glyron	Glycera rouxi	Glycera rouxi	(was Glycera rouxi)	-	-	polychaete	Glyron
Harimb	Harmothoe imbricata	Harmothoe imbricata	zeerups op hardsubstraat	-	-	polychaete	Harimb
Harimp	Harmothoe impar	Harmothoe impar	zeerups	-	-	polychaete	Harimp
Harmsp	Harmothoe spec.	Harmothoe spec.	veelkleurige zeeduizendpot	-	-	polychaete	Harmsp
Heddiv	Hediste diversicolor	Hediste diversicolor	draadvorm	-	-	polychaete	Heddiv
Hetfil	Heteromastus filiformis	Heteromastus filiformis	schelpkokerworm	-	-	polychaete	Hetfil
Lancon	Lanice conchilega	Lanice conchilega	zeerups (12 p schubben)	-	-	polychaete	Lancon
Lepsqu	Lepidonotus squamatus	Lepidonotus squamatus	-	-	-	polychaete	Lepsqu
Magepe	Mageleona spec.	Mageleona spec.	Spionide, lijkt op Spiophanes	-	-	polychaete	Magepe
Maliful	Malacoctenus fuliginosus	Malacoctenus fuliginosus	zeerups	-	-	polychaete	Maliful
Mallin	Malmgreniella jungmanni	Malmgreniella jungmanni	kleine zeerups (bij Lanice)	-	-	polychaete	Mallin
Mallun	Malmgreniella lunulata	Malmgreniella lunulata	amerikaanse spinode	-	-	polychaete	Mallun
Marvir	Marenzelleria viridis	Marenzelleria viridis	interstielie mini-wormje	-	-	polychaete	Marvir
Micsim	Microphthalmalus similis	Microphthalmalus similis	-	-	-	polychaete	Micsim
Myspic	Mysta picta	Mysta picta	-	-	-	polychaete	Myspic

Vervolg Tabel B.2.

NaamCode	SibesName	Latin	English	Dutch1	Dutch2	Group	FileName	Stem
Nepcae	<i>Nephrys caeca</i>	<i>Nephrys caeca</i>	-	-	-	polychaete	Nepcae	
Nepcir	<i>Nephrys cirrosa</i>	<i>Nephrys cirrosa</i>	-	-	-	polychaete	Nepcir	
Nephom	<i>Nephrys hombergii</i>	<i>Nephrys hombergii</i>	-	-	-	polychaete	Nephom	
Nephsp	<i>Nephrys spec.</i>	<i>Nephrys spec.</i>	-	-	-	polychaete	Nephsp	
Neplon	<i>Nephrys longosetosa</i>	<i>Nephrys longosetosa</i>	-	-	-	polychaete	Neplon	
Neresp	<i>Nereis sp.</i>	<i>Nereis sp.</i>	-	-	-	polychaete	Neresp	
Feckor	<i>Fecitaria koreni</i>	<i>Fecitaria koreni</i>	-	-	-	polychaete	Feckor	
Phomin	<i>Pholoe minuta</i>	<i>Pholoe minuta</i>	-	-	-	polychaete	Phomin	
Phymac	<i>Phyllodocia maculata</i>	<i>Phyllodocia maculata</i>	-	-	-	polychaete	Phymac	
Physme	<i>Phyllodocia mucosa</i>	<i>Phyllodocia mucosa</i>	-	-	-	polychaete	Physme	
Physpe	<i>Phyllodocidae spec.</i>	<i>Phyllodocidae spec.</i>	-	-	-	polychaete	Physpe	
Poleae	<i>Polydora cornuta</i>	<i>Polydora cornuta</i>	-	-	-	polychaete	Poleae	
Folspe	<i>Polydora spec.</i>	<i>Polydora spec.</i>	-	-	-	polychaete	Folspe	
Psepul	<i>Pseudopolydora pulchra</i>	<i>Pseudopolydora pulchra</i>	-	-	-	polychaete	Psepul	
Pygele	<i>Pygospio elegans</i>	<i>Pygospio elegans</i>	-	-	-	polychaete	Pygele	
Sabspi	<i>Sabellaria spinulosa</i>	<i>Sabellaria spinulosa</i>	-	-	-	polychaete	Sabspi	
Scoarm	<i>Scoloplos armiger</i>	<i>Scoloplos armiger</i>	-	-	-	polychaete	Scoarm	
Scospe	<i>Scolelepis squamata</i>	<i>Scolelepis squamata</i>	-	-	-	polychaete	Scospe	
Spiboom	<i>Spiophanes bombyx</i>	<i>Spiophanes bombyx</i>	-	-	-	polychaete	Spiboom	
Spispe	<i>Spio spec.</i>	<i>Spio spec.</i>	-	-	-	polychaete	Spispe	
Slibboa	<i>Sthenelais boa</i>	<i>Sthenelais boa</i>	-	-	-	polychaete	Slibboa	
Srsbr	<i>Streblospio shrubsolii</i>	<i>Streblospio shrubsolii</i>	-	-	-	polychaete	Srsbr	
Strweb	<i>Streptosyllis websteri</i>	<i>Streptosyllis websteri</i>	-	-	-	polychaete	Strweb	
Trafor	<i>Travisia forbesii</i>	<i>Travisia forbesii</i>	-	-	-	polychaete	Trafor	
Venven	<i>Ventrosia ventrosa</i>	<i>Ventrosia ventrosa</i>	-	-	-	ogewollen brakwaterhoren	Venven	
Lepcin	<i>Lepidochitona cinerea</i>	<i>Lepidochitona cinerea</i>	-	-	-	agrauwke keverslak	Lepcin	
Crefor	<i>Crepidula fornicate</i>	<i>Crepidula fornicate</i>	-	-	-	multijf	Crefor	
Retobt	<i>Retusa obtusa</i>	<i>Retusa obtusa</i>	-	-	-	oubliehoren	Retobt	
Lithlit	<i>Littorina littorea</i>	<i>Littorina littorea</i>	-	-	-	alkruik	Lithlit	
Telfer	<i>Tellinaya ferruginea</i>	<i>Tellinaya ferruginea</i>	-	-	-	ovale zeeklitschelp	Telfer	
Oligoc	<i>Oligochaeta sp.</i>	<i>Oligochaeta sp.</i>	-	-	-	Oligochaeta sp.	Oligoc	
Nemertini	<i>Nemertini sp.</i>	<i>Nemertini sp.</i>	-	-	-	roze nemetijn	Nemertini	
Astrub	<i>Asterias rubens</i>	<i>Asterias rubens</i>	-	-	-	zeester	Astrub	
Spi02	<i>Spiondide 2</i>	<i>Spiondide 2</i>	-	-	-	common starfish	Spi02	
Spiol	<i>Spiondide 1</i>	<i>Spiondide 1</i>	-	-	-	other	Spiol	

Tabel B.3. Lijst deelgebieden die worden herkend door het habitat model. De lijst kan worden aangevuld door een regel toe te voegen en een kaart op te nemen in de folder met deelgebiedkaarten. De "FileNameStem" is de naam die gebruikt wordt in datafiles voor het betreffende deelgebied. De afkorting "L2" wordt gebruikt als afkorting in filennamen, samen met de afkorting voor een vogelsoort.

Full	Short1	Short2	FileNameStem	L2	RefMapHeightPDF
Marsdiep	Marsdiep	Kom01	Marsdiep	MD	Kom01
Eijerlandse gat	ELgat	Kom02	Eijerlandse.Gat	EG	Kom02
Vlie	Vlie	Kom03	Vlie	VL	Kom03
Borndiep	Borndiep	Kom04	Borndiep	BD	Kom04
Pinkegat	Pinkegat	Kom05	Pinkegat	PG	Kom05
Zoutkamperlaag	ZKlaag	Kom06	Zoutkamperlaag	ZL	Kom06
Eilander balg	EilBalg	Kom07	EilanderBalg	EB	Kom07
Lauwers	Lauwers	Kom08	Lauwers	LA	Kom08
Schild	Schild	Kom09	Schild	SC	Kom09
Eems	Eems	Kom10	Eems	ED	Kom10
PinkZout	PinkZout	Kom56	Pinkegat.Zoutkamperlaag	PZ	Kom56
Balgzand	Balgzand	Vogels01	Balgzand	BZ	Vogels01
TexelVieland	TexelVieland	Vogels02	TexelVieland	TV	Vogels02
Griend	Griend	Vogels03	Griend	GR	Vogels03
Terschelling	Terschelling	Vogels04	Terschelling	TS	Vogels04
Noorderleegh	Noorderleegh	Vogels05	Noorderleegh	NL	Vogels05
Ameland	Ameland	Vogels06	Ameland	AM	Vogels06
FrieseKustOost	FrieseKustOost	Vogels07	FrieseKustOost	FK	Vogels07
Schier	Schier	Vogels08	Schier	SM	Vogels08
GroningseKustWest	GroningseKustWest	Vogels09	GroningseKustWest	GW	Vogels09
Rottums	Rottums	Vogels10	Rottums	RT	Vogels10
GrKustOost	GrKustOost	Vogels11	GroningseKustOost	GO	Vogels11.3
EemsDollard	EemsDollard	Vogels12	EemsDollard	ED	Vogels12
Harlingen	Harlingen	Vogels13	Harlingen	HA	Vogels13
AmelandOost	AmelandOost	AmelandOost	AmelandOost	AO	AmelandOost
AmelandWest	AmelandWest	AmelandWest	AmelandWest	AW	AmelandWest
HondPaap	HondPaap	HondPaap	HondPaap	HP	HondPaap
Dollard	Dollard	Dollard	Dollard	DL	Dollard
Waddenzee	Waddenzee	Waddenzee	Waddenzee	WZ	Waddenzee

APPENDIX C

InterTides Interpolation Method

This appendix is a chapter from [Rappoldt *et al.* \(2014\)](#).

The water level at a certain position and at a certain time is estimated by interpolation between nearby measured levels. By comparing a calculated level with the height read from a height map, the program decides whether or not the point is exposed or not. By repeating the calculations for all measurement intervals of 10 min, we find the fraction of time during which the point is exposed or flooded.

C.1 The data

The blue dots in Figure C.1 are the tidal gauge stations in the Wadden Sea. From Den Helder along the North Sea coast these are Den Helder, Oudeschild, Vlieland haven, West-Terschelling, Nes, Wierumergronden, Schiermonnikoog en Huibertgat. En from Den Helder along the mainland coast: Den Helder, Den Oever buiten, Kornwerderzand, Harlingen, Lauwersoog, Eemshaven, Delfszijl en Nieuwstatenzijl. At these stations Rijkswaterstaat measures the water level every 10 minutes. Results are freely available from <http://live.waterbase.nl>.

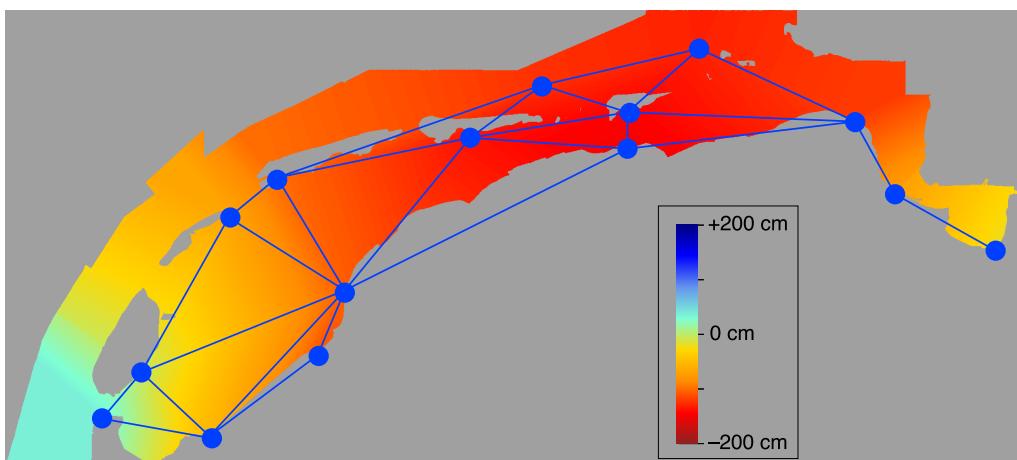


Figure C.1. Tidal gauge stations of Rijkswaterstaat in de Wadden Sea and an example of interpolated water levels. InterTides interpolates within the triangles covering most of the area. For outside points, the water level is interpolated along the nearest edge.

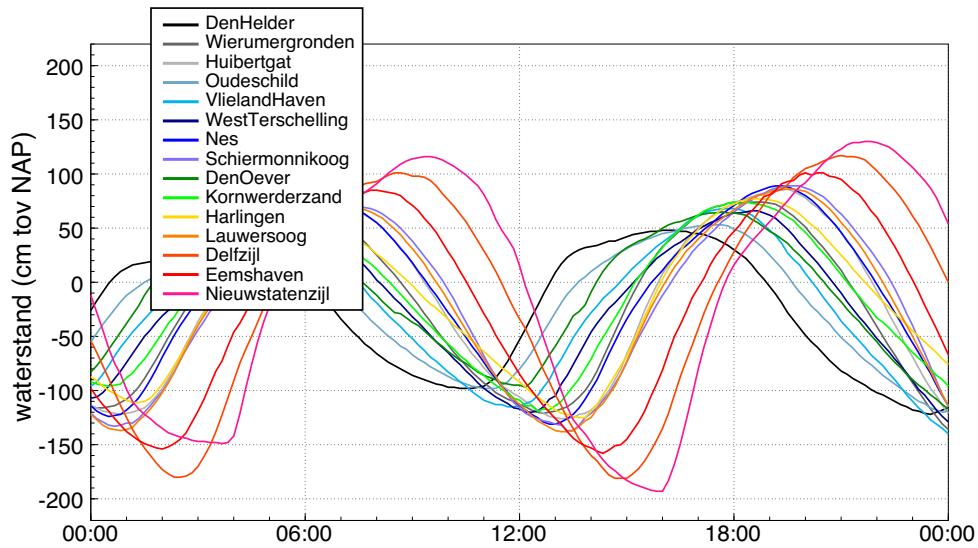


Figure C.2. Waterlevels of April, 24 2006 measured at the 15 tidal gauge stations of Rijkswaterstaat (data downloaded from <http://live.waterbase.nl>).

Figure C.2 shows an example of measured water levels. The tidal wave moves from west to east and its amplitude increases.

C.2 Spatial Interpolation

The interpolation is carried out in a purely geometrical manner, as a weighted mean of measured water levels. Hence, the hydrodynamics of the various tidal basins is not taken into account. The underlying assumption is that the distances between the gauge stations is sufficiently small.

C.2.1 Triangles

Most of the Wadden Sea is covered by triangles formed by three tidal gauge stations. Inside these triangles water levels are found as a weighted mean of three measured levels.

Figure C.3a shows a point \vec{x} inside a triangle formed by three tidal stations. The tidal stations have positions given by two dimensional vectors \vec{S}_1 , \vec{S}_2 en \vec{S}_3 . By shifting the origine to \vec{S}_1 we get Figure C.3b, in which the vectors $\vec{v}_2 = \vec{S}_2 - \vec{S}_1$ en $\vec{v}_3 = \vec{S}_3 - \vec{S}_1$ represent the triangle and point P is given by $\vec{p} = \vec{x} - \vec{S}_1$.

Now, the interpolation formula is found by describing \vec{p} as a linear combination of \vec{v}_2 en \vec{v}_3 . Hence,

$$\vec{p} = w_2 \vec{v}_2 + w_3 \vec{v}_3 . \quad (\text{C.1})$$

For $\vec{x} = \vec{S}_1 + \vec{p}$ this means

$$\vec{x} = w_2 \vec{S}_2 + w_3 \vec{S}_3 + (1 - w_2 - w_3) \vec{S}_1 .$$

Using $w_1 = 1 - w_2 - w_3$ this is equivalent to

$$\vec{x} = w_1 \vec{S}_1 + w_2 \vec{S}_2 + w_3 \vec{S}_3 .$$

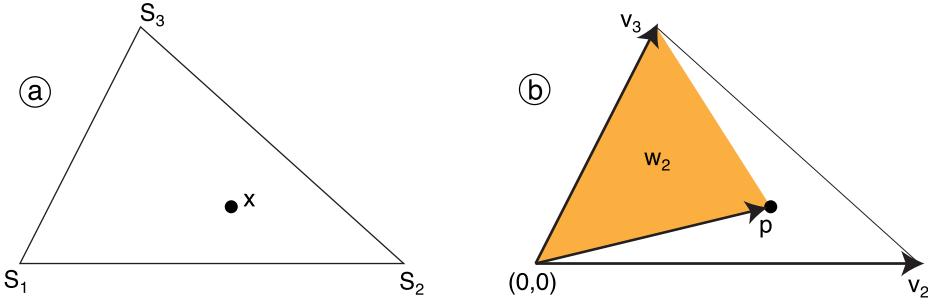


Figure C.3. A triangel formed by three tidal gauge stations. The water level at a point inside the triangle is calculated as a weighted average of the station levels. The coloured fraction of the triangle surface area is the weight w_2 for station S_2 .

With these three weights the water level L_P in point P is then found as

$$L_P = w_1 L_1 + w_2 L_2 + w_3 L_3, \quad (\text{C.2})$$

in which L_1 , L_2 en L_3 are the three measured levels.

The three weights

For finding the three weights Equation (C.1) is written as

$$\begin{cases} p_x = w_2 v_{2x} + w_3 v_{3x} \\ p_y = w_3 v_{2y} + w_3 v_{3y} \end{cases}$$

with solution

$$\begin{cases} w_2 = \frac{(p_x v_{3y} - p_y v_{3x})}{(v_{2x} v_{3y} - v_{2y} v_{3x})} \\ w_3 = \frac{(v_{2x} p_y - v_{2y} p_x)}{(v_{2x} v_{3y} - v_{2y} v_{3x})} \end{cases}$$

The numerator of the expression for w_2 is twice the surface area spanned by the vectors \vec{p} en \vec{v}_3 . The denominator is twice the surface area of the triangle. Hence, the weight w_2 is equal to the fraction of the triangle surface area covered by the coloured part of Figuur C.3b. The third weight w_1 is found from $w_1 = 1 - w_2 - w_3$. If all three weights are positive, point P lies inside the triangle.

C.2.2 Interpolation along an edge segment

Around the triangles an edge defined. For a point P (vector $\text{vec}x$) not inside one of the triangles in Figure C.1, the water level is estimated by interpolating between two measured levels, along the nearest line segment of the edge.

The line segments of the edge enclose the area covered by triangles. Their orientation is chosen in such a way that the triangles are kept at the lefthand side of the edge (Figure C.4). This simplifies the vector calculations.

Moving again the origin to S_1 we define $\vec{v} = \vec{S}_2 - \vec{S}_1$ and $\vec{p} = \vec{x} - \vec{S}_1$. The two weights are then given by

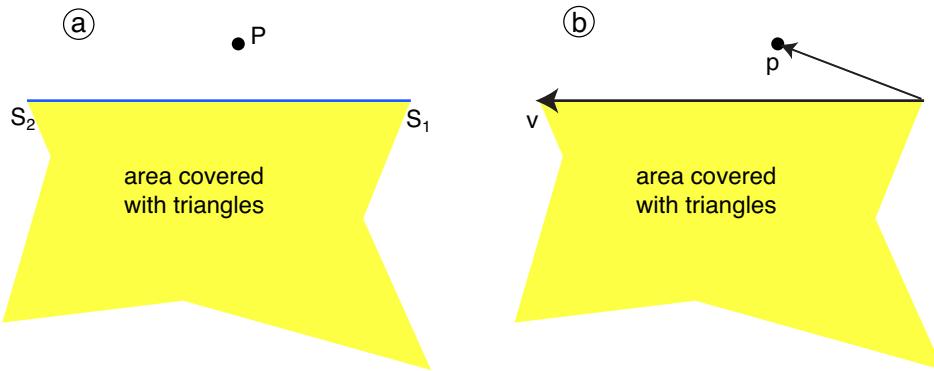


Figure C.4. An edge segment between two tidal stations S_1 and S_2 . If the two weights in Equation (C.3) are positive, point P lies next to this edge segment and the water levels at S_1 and S_2 are interpolated.

$$\begin{cases} w_2 = \frac{p_x v_x + p_y v_y}{v_x^2 + v_y^2} \\ w_1 = 1 - w_2 \end{cases} . \quad (\text{C.3})$$

If the two weights in Equation (C.3) are positive, point P lies next to the edge segment (S_1, S_2) and the water levels at S_1 and S_2 can be interpolated. There are additional conditions, however. Obviously P should not be inside any triangle and should lie at the *righthand side* of the selected edge segment. If these conditions cannot be met, there is no suitable edge segment. In that case the nearest tidal station is used, without any interpolation.

C.3 Phase differences

The most simple situation is a tidal wave of uniform amplitude moving through the region. In Figure C.5 there are two waves with a delay of 2 hours between station 2 and station 1. Now we apply simple linear interpolation to a point in the middle between the two stations and we get the red curve in Figure C.5. The problem is that the amplitude of this red curve is smaller than the amplitude at the two tidal stations. For a larger delay this damping effect will be larger.

The size of this damping effect can be estimated for the simple situation in Figure C.5. For a delay of α hours we calculate the amplitude of the interpolated tidal wave $w(t)$. With an equal amplitude A at the stations we get¹

¹This uses $\sin(x) + \sin(x - 2y) = 2\cos(y)\sin(x - y)$, in which y is half the phase difference. This can be shown as follows: $\sin(x) + \sin(x - 2y) = \sin(x) + \sin(x)\cos(2y) - \cos(x)\sin(2y)$. With $\cos(2y) = 2\cos(y)\cos(y) - 1$ and $\sin(2y) = 2\sin(y)\cos(y)$, the first term cancels and we have $2\sin(x)\cos(y)\cos(y) - 2\cos(x)\sin(y)\cos(y)$, which is equal to $2\cos(y)\sin(x - y)$.

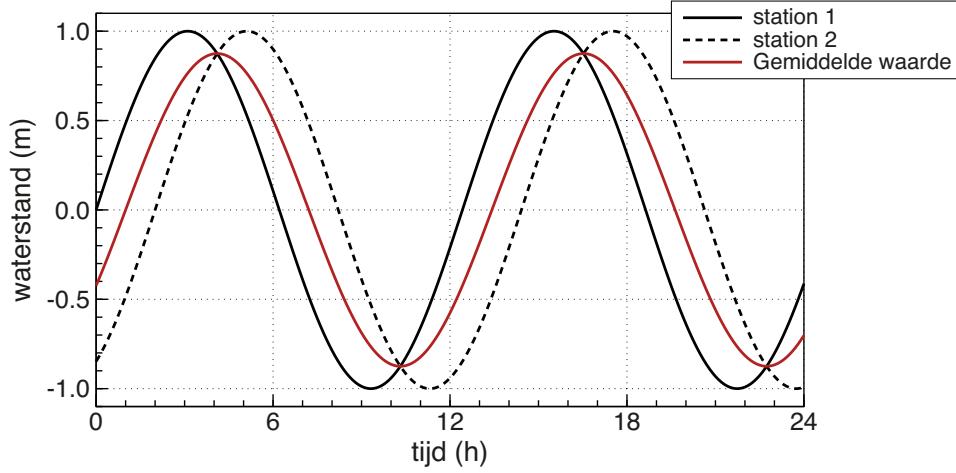


Figure C.5. The curves for station 1 and station 2 describe a tidal sine wave which needs two hours to move from station 1 to station 2. The red curve is the interpolated water level halfway. The amplitude of the interpolated tide is 13% too small due to the phase difference of 2 hours.

$$\begin{aligned}
 w(t) &= \frac{A}{2} \left[\sin\left(\frac{2\pi t}{12.421}\right) + \sin\left(\frac{2\pi(t-\alpha)}{12.421}\right) \right] = \\
 &= A \cos\left(\frac{2\pi\alpha/2}{12.421}\right) \times \sin\left(\frac{2\pi(t-\alpha/2)}{12.421}\right) = \\
 &= A \left[1 - 2 \sin^2\left(\frac{\pi\alpha}{24.842}\right) \right] \times \sin\left(\frac{2\pi(t-\alpha/2)}{12.421}\right) = \\
 &= A [1 - \epsilon] \times \sin\left(\frac{2\pi(t-\alpha/2)}{12.421}\right).
 \end{aligned} \tag{C.4}$$

The interpolated sine wave $w(t)$ shows a delay $\alpha/2$ relative to station 1, which is fine. Its amplitude, however, is not equal to A , but it is reduced. In Equation (C.4) the amplitude of $w(t)$ is written as $A(1-\epsilon)$ and ϵ is then the relative amplitude reduction. From the derivation in Equation (C.4) we can write for ϵ

$$\begin{aligned}
 \epsilon &= 2 \sin^2\left(\frac{\pi\alpha}{24.842}\right) \approx \\
 &\approx 2 \left(\frac{\pi\alpha}{24.842}\right)^2 \approx \frac{\alpha^2}{31.3}.
 \end{aligned} \tag{C.5}$$

The last two steps are an approximation valid for delays α not exceeding about 3 hours. Equation (C.5) shows that the amplitude reduction increases quadratically with the phase difference between the stations. For $\alpha = 0.5$ hour the deviation is merely 0.8%. For $\alpha = 1.5$ hour the deviation reaches already 7%.

The tidal phase differences can be estimated using the lunital intervals for the various stations in Table C.1. Figure C.6 shows for each of the triangles the maximum delay between any two corners of the triangle. The delays exceed 1 hour for the area west of Harlingen and between Schiermonnikoog and Rottum. The damping errors will be largest there. For the mudflats near Terschelling, Ameland and Engelsmanplaat, these errors will be small.

Table C.1. Lunitidal intervals (or "havengetallen") for the tidal gauge stations. Source: "Waternormalen" or "normaalwaarden" for water levels at the Rijkswaterstaat website www.rws.nl. The tidal waves can be synchronised by using a delay relative to the Harlingen station. The time shift is the delay for high tide, the delay for low tide, or the average of the two, rounded to the nearest 10 min.

Station	Lunitidal interval		Mean delay (min)
	High tide	Low tide	
Den Helder	6:11	12:56	-170
Oudeschild	7:12	13:29	-120
Den Oever	7:30	14:20	-90
Vlieland Haven	7:50	14:08	-80
Kornwerderzand	8:17	15:14	-30
West Terschelling	8:21	14:28	-60
Wierumergronden	8:30	14:56	-40
Harlingen	8:37	16:04	0
Lauwersoog	9:18	15:22	0
Huibertgat	9:09	15:34	0
Nes	9:13	15:16	-10
Schiermonnikoog	9:29	15:21	0
Eemshaven	10:20	16:50	+70
Delfzijl	11:05	17:32	+120
Nieuwstatenzijl	11:42	-	+150

The damping effect can be largely avoided by synchronising the tidal gauge data before interpolating them. As an example, Figure C.7a shows again the water levels from Figure C.2. In Figure C.7b the curves are shifted using the mean delays in Table C.1. Figure C.7c shows the tidal curves synchronized by the phase of the M2 tidal constituent². In this case the lunitidal intervals are not used.

²M2 is the principal lunar, semi-diurnal constituent. It is calculated by harmonic analysis of the tidal gauge data (see Hoofdstuk D).

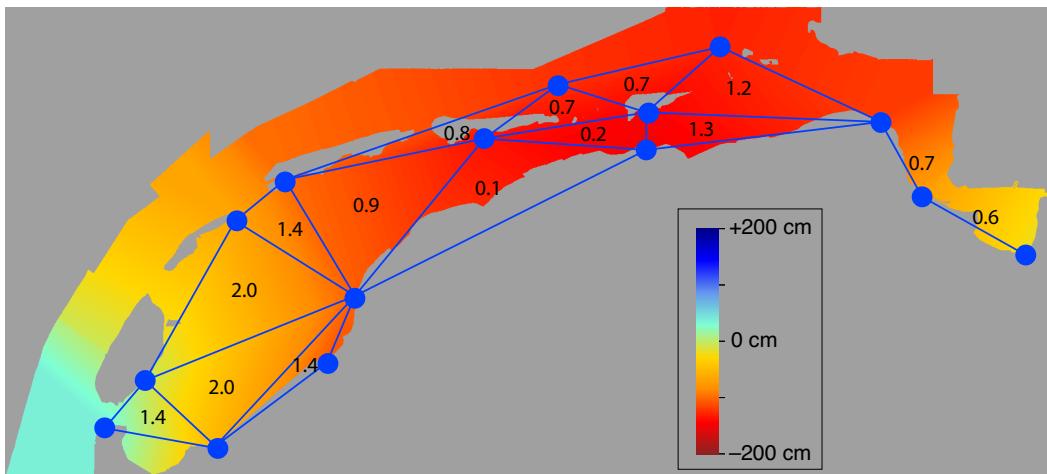


Figure C.6. Maximum phase difference in hours between two corners of the interpolation triangles. The delays are calculated as the average of the difference in lunitidal interval for high tide and lunitidal interval for low tide (see Table C.1).

Finally, we need to figure out how to use synchronised levels for the calculation of an interpolated level at a specific point and a specific time. The next [section C.4](#) shows how this can be done.

C.4 Interpolation between synchronised stations

The basic method remains the same. The water level of a point P at time t is found by interpolating between two or three water levels at nearby tidal stations. The calculations of the weights also remains unchanged.

We write the station weights as w_i , and the water levels as functions of time $W_i(t)$. Without synchronisation we would write for the water level $W_P(t)$ at point P

$$W_P(t) = \sum_i w_i W_i(t). \quad (\text{C.6})$$

With synchronisation we use the delayed levels $W_i(t + d_i)$ in which d_i is the time delay belonging to station i . The water level at point P is then found as

$$W_P = \sum_i w_i W_i(t + d_i), \quad (\text{C.7})$$

but for which time this is the level at point P ? A consistent approach is to assume that not just the levels, but also the delays can be interpolated. So the water level W_P in Equation (C.7) actually is the water level at time $t + d_P$ in which d_P is the delay at point P estimated by

$$d_P = \sum_i w_i d_i. \quad (\text{C.8})$$

We now can add the time to W_P in Equation (C.7) and get

$$W_P(t + d_P) = \sum_i w_i W_i(t + d_i), \quad (\text{C.9})$$

which, by subtracting d_P from the time t is equivalent to

$$W_P(t) = \sum_i w_i W_i(t + (d_i - d_P)). \quad (\text{C.10})$$

This Equation (C.10) shows that we first have to calculate d_P by interpolating between the tidal station delays using Equation (C.8). Then we can find the times for the station values as $t + (d_i - d_P)$, hence by correcting t using the *differences in phase* between the point and the stations.

Note that without any phase differences the d_i are zero, therefore also $d_P = 0$ and Equatiion (C.10) reduces to Equation (C.6). Note also that the weighted sum of the phase corrections $\sum_i w_i(d_i - d_P)$ is zero and that the $(d_i - d_P)$ are the *local phase differences*, the differences between the point phase d_P and the phases d_i of the nearby stations. Clearly, in local interpolation only local phase differences should play a role.

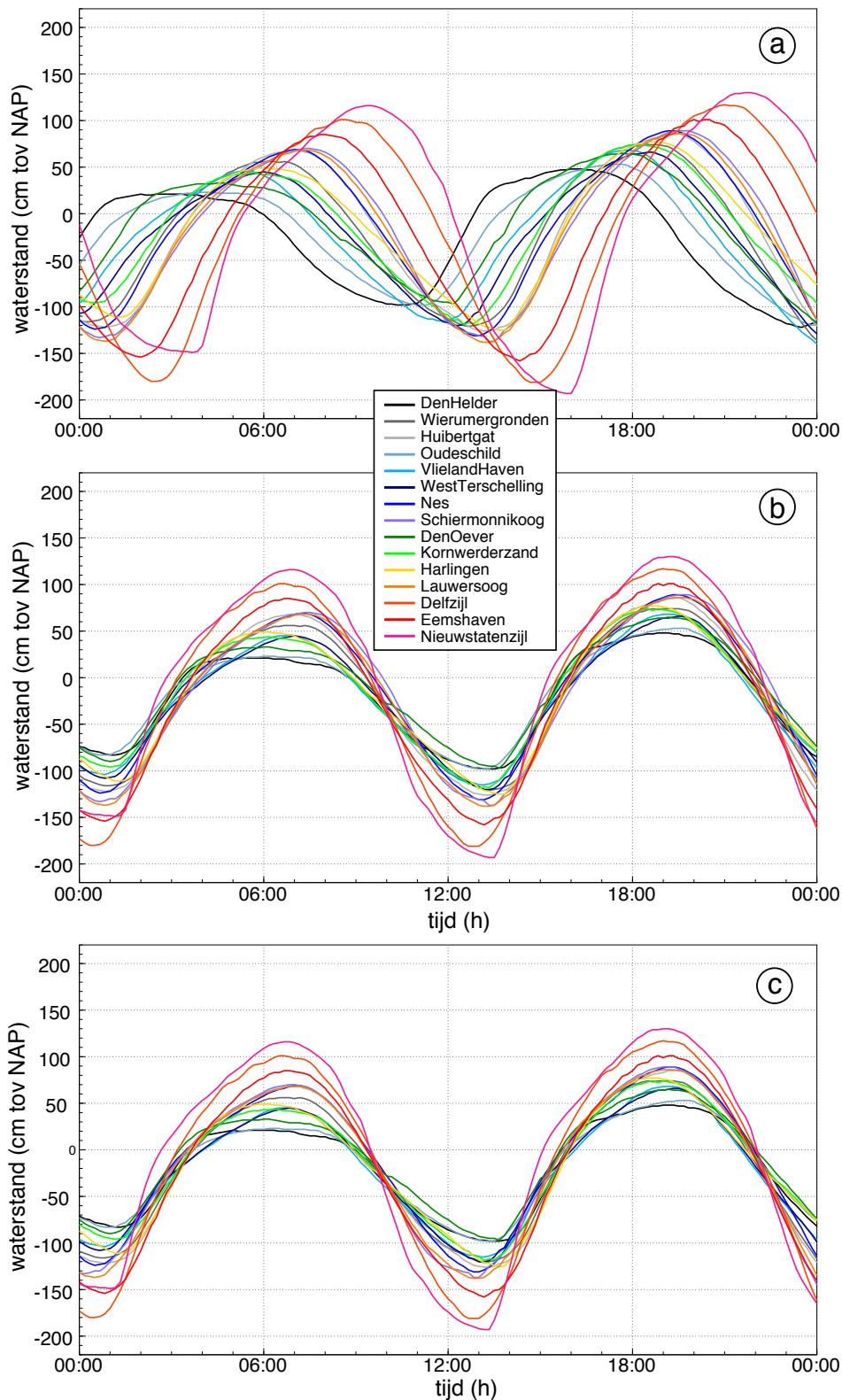


Figure C.7. Water levels measured at 24 april 2006. (a) As measured by the 15 tidal gauge stations of Rijkswaterstaat, (b) Shifted with the average of the lunitidal interval for high and low tide (see Table C.1) en (c) Shifted with the phase of the M2 constituent of the station (M2 is the principal lunar, semi-diurnal tidal constituent).

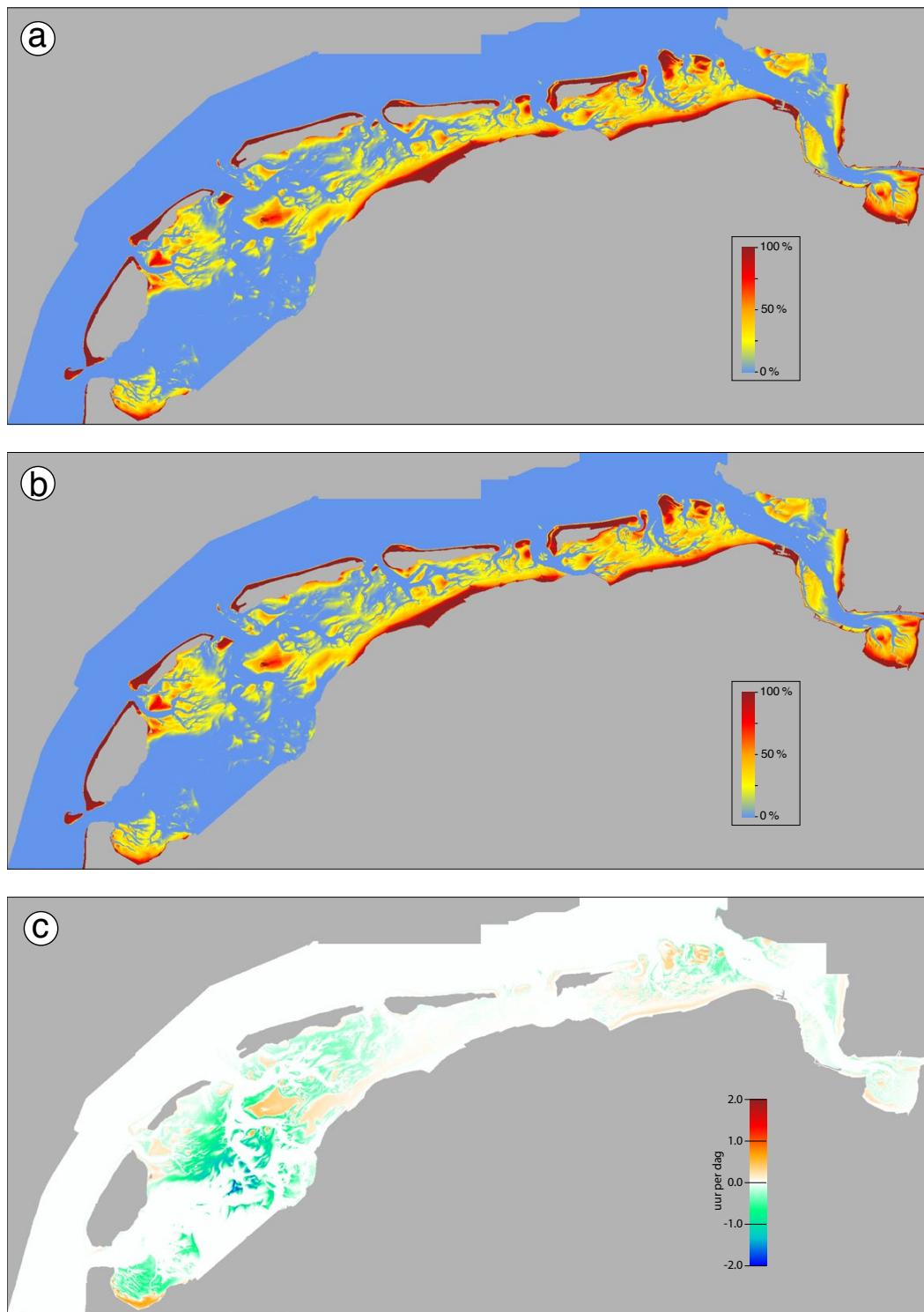


Figure C.8. Effect of synchronization of tidal gauge stations on a calculated exposure time map. (a) Exposure time as an average percentage of time calculated for non-synchronised tidal data like those in Figuur C.7a, (b) The same for synchronised data like those in Figuur C.7b, (c) Difference map with a legend in hours per day. Negative values (green-blue) mean a longer exposure time when synchronization is used.

C.5 Exposure time map with synchronised stations

The damping effect will affect also exposure times since these are calculated from a large series of interpolated levels. A too small tidal amplitude will cause points with a large height to be flooded less often. This leads to an overestimated exposure time. On the other hand, points with a low height will be exposed less often than by tides with a larger amplitude, which corresponds to an underestimate.

As an illustration of this effect, Figure C.8a shows a calculated exposure time map without synchronisation, Figure C.8a with synchronisation and Figure C.8c is the difference map. The largest deviations are hours per day and indeed occur west of Harlingen and near Rottum, where we would expect them according to Figure C.6.

InterTides can synchronise the stations using different types of delays, based on high tide times, low tide times, averages of those two, or based on the phase of the M2 constituent calculated for the stations³. The delays estimated in different ways will probably lead to very similar results, since a small remaining phase difference will have a negligible effect on interpolated values (e.g. Equation (C.5)).

³M2 is the moon tide responsible for most of the tidal wave. This tidal constituent is known as the "principal lunar semi-diurnal" and has an astronomical speed of 28.984104 degree per hour, which corresponds to a period of 12.420601 hours.

APPENDIX D

InterTides Harmonic analysis

This appendix is a chapter from [Rappoldt *et al.* \(2014\)](#).

The following background operations of InterTides make use of the harmonic analysis of tidal data.

- **Missing values.** Water levels for the period between 1985 and 1990 are available as hourly values only¹. The easiest way of dealing with this is to calculate the five missing values per hour as the sum of the "predicted", astronomical level and the interpolated hourly residuals (the difference between measured level and predicted level).
- **First and last day.** Synchronization of the tidal wave at the various stations requires time-shifted water levels. Such a time shift leads to missing data at either the begin or at the end of the entire time series. Harmonic analysis is used to extend the measured time series over an additional day at the begin and at the end of the time range.
- **M2 phase.** One of the synchronization options of InterTides is based on the phase of the M2 constituent (the primary lunar tide). This phase is calculated for each station from the measured water levels in the year 2000.
- **High and Low tides.** The calculation of realised high tide and low tide times and levels by just searching for minimum and maximum water levels is *not* reliable due to storm tides. A better way is to use the tides predicted from harmonic analysis and to search for the real maximum (or minimum) around the astronomical prediction.

In order to accomplish these tasks, InterTides uses a basic form of harmonic analysis as a tool. Since InterTides is not a program dedicated to tidal prediction, the result of the module for harmonic analysis is not available for output. Nevertheless, the InterTides implementation of harmonic analysis will be briefly described.

D.1 Short introduction to harmonic analysis

The periodic change in water level is described as the sum of a series of cosine functions. Each cosine function has an amplitude, a frequency and a phase. The frequencies are known and fixed and the unknown amplitudes and phases need to be determined by harmonic analysis.

¹The use of a 10-minute interval started around 1990 at different dates for the various tidal gauge stations.

The frequencies depend on a handful of basic astronomical periods (e.g. [Kowalik & Luick, 2013](#); [Pugh & Woodworth, 2014](#)) related to earth rotation and the orbits of earth and moon. However, the number of cosine functions (or tidal constituents) required for a satisfactory description of the tide is much larger than the number of basic astronomical periods. There are two reasons for that.

The first reason is that the various astronomical effects do not lead to additive and independent tidal waves. The amplitude of principal lunar tide, for instance, changes periodically due to the fact that the orbit of the moon is an ellipse and not a circle. Mathematically a cosine function with a slowly but periodically changing amplitude is equivalent to the sum of *three cosine functions* with constant amplitudes and slightly different frequencies. Such interactions between the various astronomical periods lead to tens of larger and smaller tidal constituents.

The second reason is that the shape of the tidal wave changes in shallow water like the North Sea coast and the Wadden Sea. If a cosine function changes in shape it obviously is no longer a cosine function, but its frequency f is preserved. Mathematically this means it can be described as the sum of cosine functions with frequencies $f, 2f, 3f, 4f$, etc. Analogous to the overtones in music, the additional higher frequency constituents are known as "shallow water overtides". The higher order constituents become smaller and smaller.

Harmonic analysis means that the amplitudes and phases of the important constituents are determined from a series of measured water levels. Once we have these amplitudes and phases a water level can be calculated for a time in past or future by just calculating all constituents for that time and summing them. Hence, the prediction of tides is little more than solving a fitting problem and an easy way is by linear regression analysis.

The important tidal constituents have been named and classified by [Doodson \(1921\)](#). His system has been extended, but is still in use today (e.g. http://www.ihc.int/mtg_docs/com_wg/IHOTC/IHOTC_Misc/TWLWG_Constituent_list.pdf).

D.2 Harmonic analysis by InterTides

The constituents used are the same as in the predefined list for a year of data in <http://apps.helpdeskwater.nl/downloads/extra/simona/release/doc/uselog/tidegui/a872r1r11.pdf>. This list contains the average water level and 94 tidal constituents.

Each constituent (cosine function) with unknown amplitude and phase can be rewritten as the sum of a sine and a cosine function, both with an amplitude only (e.g. [Kowalik & Luick, 2013](#)). This allows us to write the harmonic analysis as a linear regression problem with $1 + 2 \times 94 = 189$ unknown parameters. In order to solve this problem InterTides calls Lapack² subroutine "gelss" from the Math Kernel Library of Intel (<https://software.intel.com/sites/products/documentation/hpc/mkl/mklman/>). This subroutine calculates the least squares solution after singular value decomposition of the coefficient matrix.

All calculations are carried out with the time in days starting at 31-dec-1899 00:00:00³. Table D.1 at [bladzijde 102](#) gives an example of the results. It shows the harmonic constituents calculated for station Den Helder for the year 2000.

²Linear Algebra Package

³This zero point can also be set in Excel spreadsheets, but we skip 29-feb-1900 as a day and Excel does not (in Excel the year 1900 is incorrectly treated as a leap year).

Table D.1. Harmonic analysis for Den Helder for the year 2000 using the 94 Rijkswaterstaat constituents. The fitted mean sea level was 2.8 cm+NAP and the residual error of the regression analysis is 24 cm. De phases are in degrees.

	Constituent Name	Speed (deg/hr)	Amplitude (cm)	Phase (deg)
1	Sa	0.0411	10.8	338.0
2	SM	1.0159	2.2	65.0
3	Q1	13.3987	2.9	49.1
4	O1	13.9430	9.7	169.0
5	M1C	14.4921	1.4	323.0
6	P1	14.9589	3.4	12.9
7	S1	15.0000	1.2	144.4
8	K1	15.0411	6.9	6.7
9	3MKS2	26.8702	1.1	146.5
10	3MS2	26.9523	1.9	306.9
11	OQ2	27.3417	0.4	294.9
12	MNS2	27.4238	1.4	130.9
13	2ML2S2	27.4967	1.0	232.9
14	NLK2	27.8861	3.1	62.7
15	mu2	27.9682	8.0	219.7
16	N2	28.4397	10.1	74.1
17	nu2	28.5126	3.8	155.4
18	MSK2	28.9020	1.0	142.3
19	MPS2	28.9430	2.4	54.6
20	M2	28.9841	65.9	160.4
21	MSP2	29.0252	0.6	264.1
22	MKS2	29.0662	0.2	145.1
23	lambda2	29.4556	3.1	301.3
24	2MN2	29.5285	6.3	58.9
25	T2	29.9589	1.0	215.0
26	S2	30.0000	17.9	256.8
27	K2	30.0821	4.8	76.1
28	MSN2	30.5444	1.8	138.6
29	2SM2	31.0159	2.2	122.6
30	SKM2	31.0980	1.3	311.8
31	NO3	42.3828	0.3	169.7
32	2MK3	42.9271	0.9	275.9
33	2MP3	43.0093	0.2	275.2
34	SO3	43.9430	0.3	331.1
35	MK3	44.0252	0.4	196.7
36	SK3	45.0411	0.1	319.3
37	4MS4	55.9364	0.5	310.2
38	2MNS4	56.4079	0.5	126.8
39	3MS4	56.9523	1.9	219.6
40	MN4	57.4238	3.9	71.0
41	2MLS4	57.4967	1.4	151.9
42	2MSK4	57.8861	1.0	189.5
43	M4	57.9682	11.7	158.7
44	3MN4	58.5126	1.9	56.1
45	MS4	58.9841	6.4	248.5
46	MK4	59.0662	2.1	73.1

continued on next page

Table D.1. *continued*

Constituent Name	Speed (deg/hr)	Amplitude (cm)	Phase (deg)
47 2MSN4	59.5285	1.2	145.8
48 S4	60.0000	0.5	3.6
49 MNO5	71.3669	0.6	95.3
50 3MK5	71.9112	1.1	205.6
51 2MP5	72.9271	0.6	325.6
52 3MO5	73.0093	1.1	28.1
53 MSK5	74.0252	0.5	107.8
54 3KM5	74.1073	0.1	284.4
55 3MNS6	85.3920	0.7	234.9
56 2NM6	85.8636	1.1	67.8
57 4MS6	85.9364	1.1	313.5
58 2MN6	86.4079	3.3	161.0
59 2Mnu6	86.4808	1.1	256.8
60 3MSK6	86.8702	0.7	250.5
61 M6	86.9523	5.8	256.5
62 MSN6	87.4238	1.1	267.2
63 MKnu6	87.5788	0.2	197.7
64 2MS6	87.9682	5.5	340.3
65 2MK6	88.0503	1.5	149.5
66 3MSN6	88.5126	1.2	246.6
67 2SM6	88.9841	1.0	73.6
68 MSK6	89.0662	0.5	256.7
69 2MNO7	100.3510	0.2	161.7
70 M7	101.4490	0.2	333.1
71 2MSO7	101.9112	0.3	16.5
72 2(MN)8	114.8477	0.8	82.1
73 3MN8	115.3920	1.8	190.8
74 M8	115.9364	2.2	289.3
75 2MSN8	116.4079	1.1	290.6
76 2MNK8	116.4901	0.9	89.0
77 3MS8	116.9523	3.3	11.9
78 3MK8	117.0345	0.9	190.2
79 2(MS)8	117.9682	1.2	109.8
80 2MSK8	118.0503	0.5	300.6
81 3MNK9	130.4331	0.2	56.4
82 4MK9	130.9775	0.1	161.9
83 3MSK9	131.9934	0.2	221.8
84 4MN10	144.3761	0.7	267.5
85 M10	144.9205	0.6	16.4
86 3MSN10	145.3920	0.8	357.9
87 4MS10	145.9364	1.3	86.7
88 2(MS)N10	146.4079	0.2	146.3
89 3M2S10	146.9523	0.7	171.1
90 4MSK11	160.9775	0.1	308.9
91 M12	173.9046	0.1	97.6
92 4MSN12	174.3761	0.4	44.6
93 5MS12	174.9205	0.4	132.3
94 4M2S12	175.9364	0.4	220.4

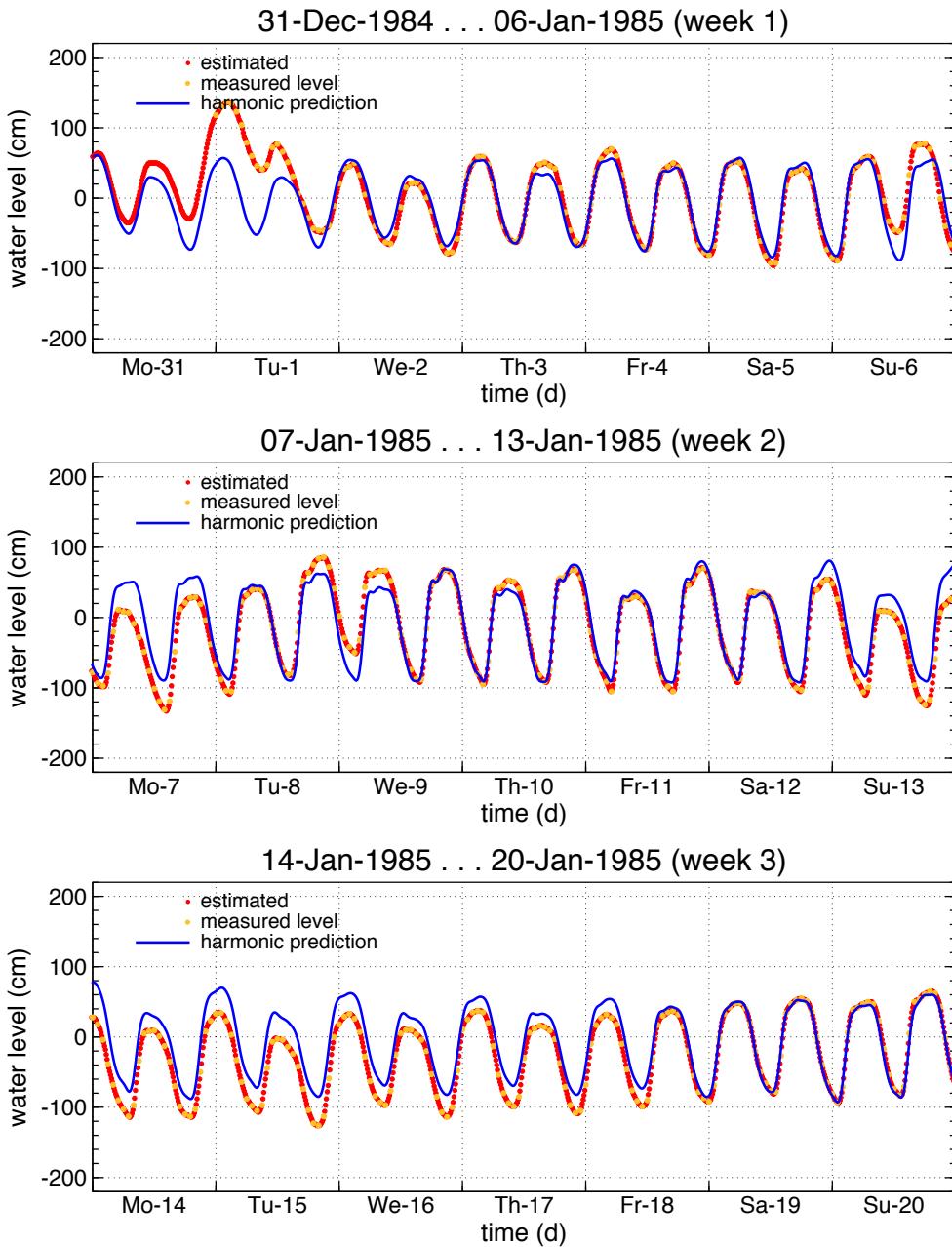


Figure D.1. The tidal gauge time series for Den Helder begins on Tuesday January,1 1985 at 00:00. The available measured levels are hourly values and the five missing values per hour were estimated by means the calculated astronomical tide (the blue curve "harmonic prediction"). Also the levels for December,31 were estimated from the harmonic prediction.

No attempt is made to identify constituents which are not statistically significant. We just use the 94 constituents to calculate astronomical water levels at arbitrary times.

Figure D.1 shows an example of the application. The blue curve is the astronomical tide and the yellow points are measured water levels. Clearly, the measured levels deviate from the "prediction" which is mainly due to the influence of weather and atmospheric pressure. The hourly residuals can be interpolated however and added to the astronomical tide. This leads to realistic intermediate values.

APPENDIX E

Amplitudekaart ?

InterTides bevat een methode om te corrigeren voor lokale verschillen in de amplitude van het getij. In plaats van waterstanden W_i gemeten bij de getijdestations worden gereduceerde waterstanden r_i gebruikt die gedefinieerd zijn als

$$r_i = \frac{W_i - z_i}{A_i},$$

waarin z_i het gemiddeld zeeniveau en A_i de amplitude van het getijde op de plaats van getijdestation i . Het resultaat van de interpolatie is een gereduceerde waterstand r_p op point p die terug getransformeerd wordt naar een echte waterstand door middel van het gemiddeld zeeniveau z_p en de amplitude A_p op punt p .

$$W_p = z_p + A_p \times r_p.$$

Om deze correctie te kunnen uitvoeren zijn dus kaarten nodig van het gemiddeld zeeniveau en de amplitude van het getij. De amplitudekaart kan een relatieve

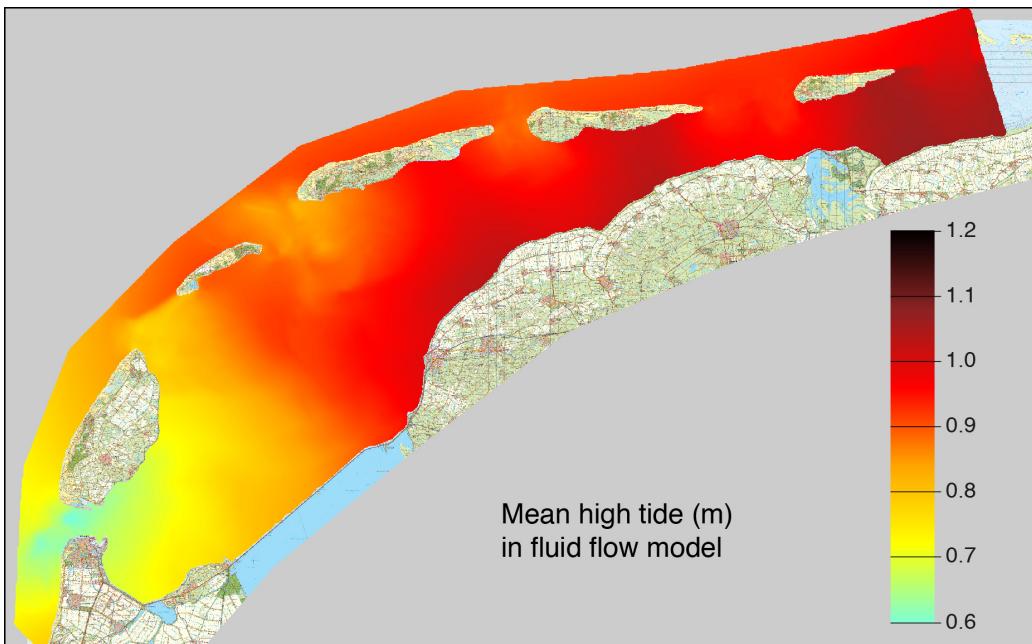


Figure E.1. Kaart van de gemiddelde hoogwaterstand voor 2009–2011 berekend op basis van simulaties door [Nauw et al. \(2017\)](#).

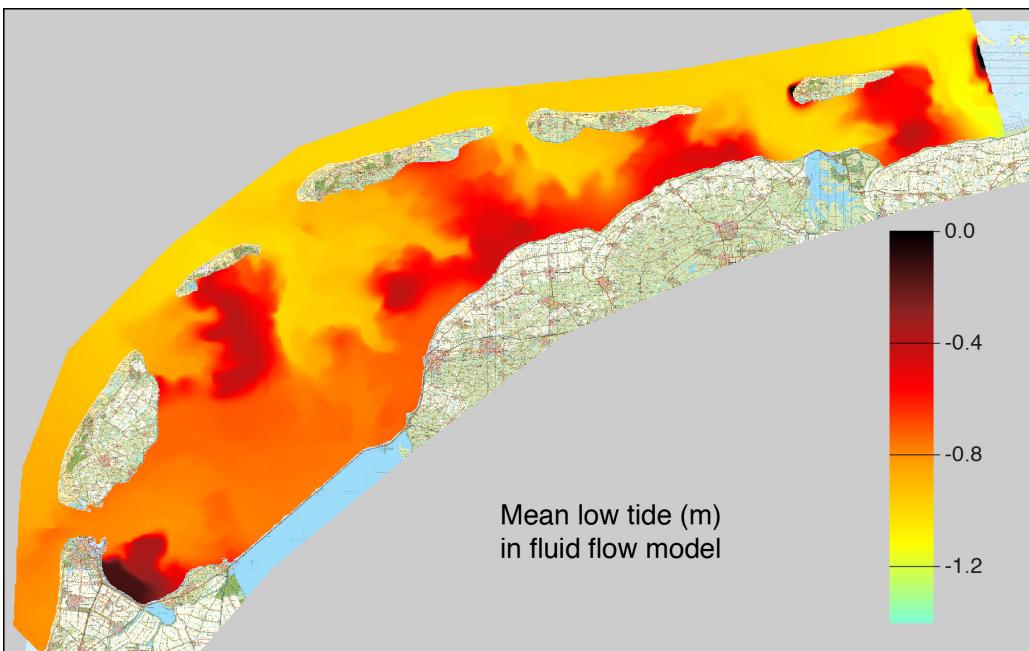


Figure E.2. Kaart van de gemiddelde laagwaterstand voor 2009–2011 berekend op basis van simulaties door Nauw *et al.* (2017).

maat zijn voor de getijslag, omdat alleen de verhoudingen tussen de amplitudes op verschillende plaatsen van invloed zijn op het resultaat.

E.1 Gesimuleerd getij

Het getij in en rond de Waddenzee is voor de periode 2009-2011 gesimuleerd door Nauw *et al.* (2017). De simulatieresultaten zijn beschikbaar gesteld in de vorm van een harmonische analyse voor elk van de 201584 beschouwde punten. Het getij op elk van die punten is gereconstrueerd uit de 140 opgegeven componenten en het opgegeven gemiddeld zeeniveau. Vervolgens zijn de hoog- en laagwaterstanden bepaald, zijn daarvan gemiddelden berekend, en zijn tenslotte kaarten gemaakt van de resultaten.

Figuur E.1 is een kaart van de gemiddelde hoogwaterstand. Zoals bekend neemt de hoogwaterstand toe van west naar oost, maar er zijn ook lokale verschillen zoals bij het wantij van Ameland. Dat zijn het type verschillen dat relevant is voor de correctie van geïnterpolateerde waterstanden.

In Figuur E.2 staat de kaart van de gemiddelde laagwaterstand. Deze kaart laat een veel grilliger patroon zien dan die voor de hoogwaterstand. Dat is niet onlogisch gezien de grotere rol die de droogvallende platen spelen bij lage waterstanden. Enkele observaties:

- Langs de kust is er een algehele verlaging van de laagwaterstand van west naar oost. Dat zit ook in de gemeten waterstanden en is dus correct.
- Op de wantijen achter Vlieland, Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog ligt de gemiddeld gesimuleerde laagwaterstand rond de 0.6 m onder NAP.
- De getijdestations van Rijkswaterstaat liggen geen van alle op een plek waar deze hoge laagwaterstanden direct geverifieerd kunnen worden.

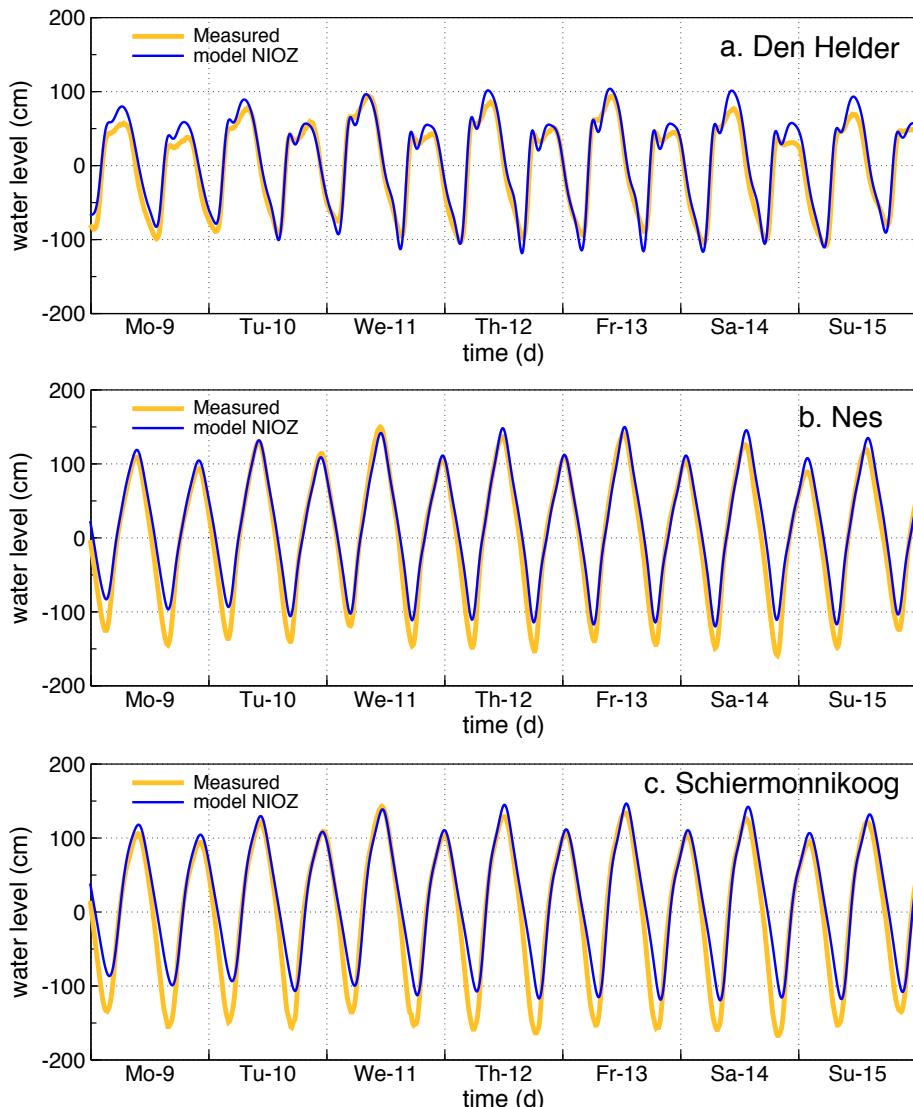


Figure E.3. Getijcurves voor week 32 van 2010 (9 t/m 15 augustus). De gemeten waarden zijn die van Rijkswaterstaat. De waarden voor "model NIOZ" zijn berekend met de resultaten van een hydrodynamisch model ([Nauw et al., 2017](#)).

Een gemiddelde laagwaterstand van 0.6 meter onder NAP lijkt echter erg hoog. Er zijn daarom enkele grafieken gemaakt waarin het berekende getij vergeleken wordt met gemeten waterstanden. Er is daarvoor een week uitgekozen (week 32 in 2010) waarvoor het astronomisch getij en het gemeten getij dicht bij elkaar liggen, dus klaarblijkelijk zonder grote wind- of luchtdrukeffecten. Figuur E.3 laat de getijcurves zien voor de stations Den Helder, Nes en Schiermonnikoog.

In Figuur E.3a voor Den Helder zijn de verschillen tussen de berekende en de gemeten curve klein. In Figuur E.3b voor Nes en Figuur E.3c voor Schiermonnikoog valt een *systematisch* verschil op tussen de berekende en gemeten laagwaterstand. De berekende hoogwaterstanden zijn wel in overeenstemming met de gemeten waarden.

Voor Nes en Schiermonnikoog zijn de gesimuleerde laagwaterstanden te hoog. Bekijken we de posities van die stations op de kaart in Figuur E.2 dan blijkt dat ze beide nog in "het gele gebied" liggen met een gemiddeld laagwater van rond 1 m

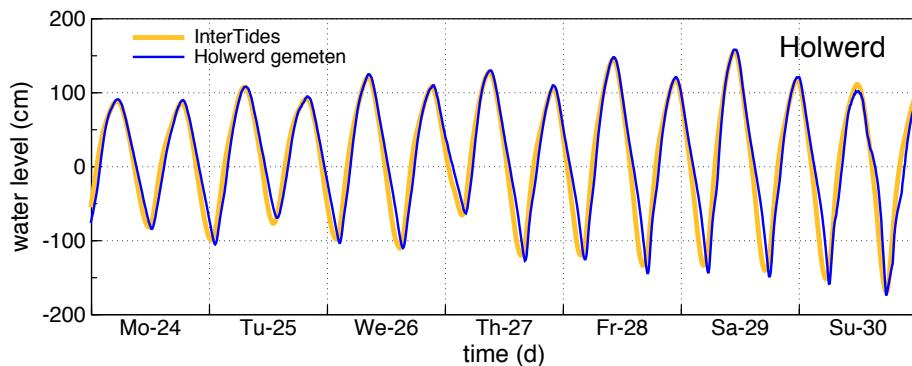


Figure E.4. Gemeten waterstanden bij Holwerd voor 24 t/m 30 augustus 1992 en interpolatie met InterTides (tussen Lauwersoog, Nes en Harlingen).

onder NAP. Op het wantij van Ameland loopt de laagwaterstand op tot ongeveer 0.6 m en de vraag is nu of dat realistisch is. Om dat na te gaan is gebruik gemaakt van metingen bij de veerhaven van Holwerd uit de jaren negentig.

Het probleem daarbij is natuurlijk dat we voor die periode geen gesimuleerde waterstanden beschikbaar zijn. In Figuur E.4 is daarom eerst een vergelijking gemaakt tussen waterstanden gemeten bij Holwerd en waterstanden geïnterpoleerd met InterTides voor een week met weinig wind in augustus 1992. De twee getijcurves zijn goed met elkaar in overeenstemming. De gemeten laagwaterstanden zijn wel iets lager dan de geïnterpoleerde waarden. InterTides lijkt dus een redelijke benadering van metingen bij Holwerd op te leveren.

Tenslotte is voor de lokatie Holwerd dus een vergelijking gemaakt tussen InterTides en de modelsimulatie, weer voor week 32 van 2010. Het resultaat is te zien in Figuur E.5. Er blijkt een duidelijk verschil in laagwaterstand dat lijkt op de verschillen in Figuur E.3 voor Nes en Schiermonnikoog, maar veel groter. De vorm van de gesimuleerde (blauwe) curve suggerert dat het water langzaam van het wantij afstroomt. De gesimuleerde waterstand bij Holwerd daalt dan langzaam totdat de nieuwe vloed binnenkomt.

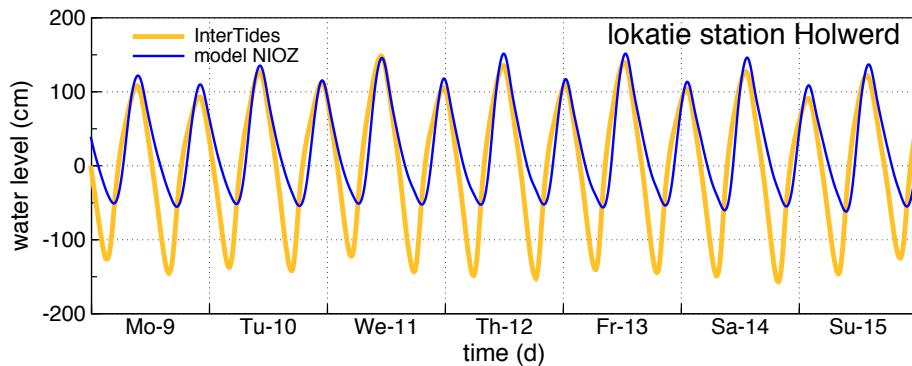


Figure E.5. Gesimuleerde waterstanden bij Holwerd voor 9 t/m 15 augustus 2010 en interpolatie met InterTides (tussen Lauwersoog, Nes en Harlingen).

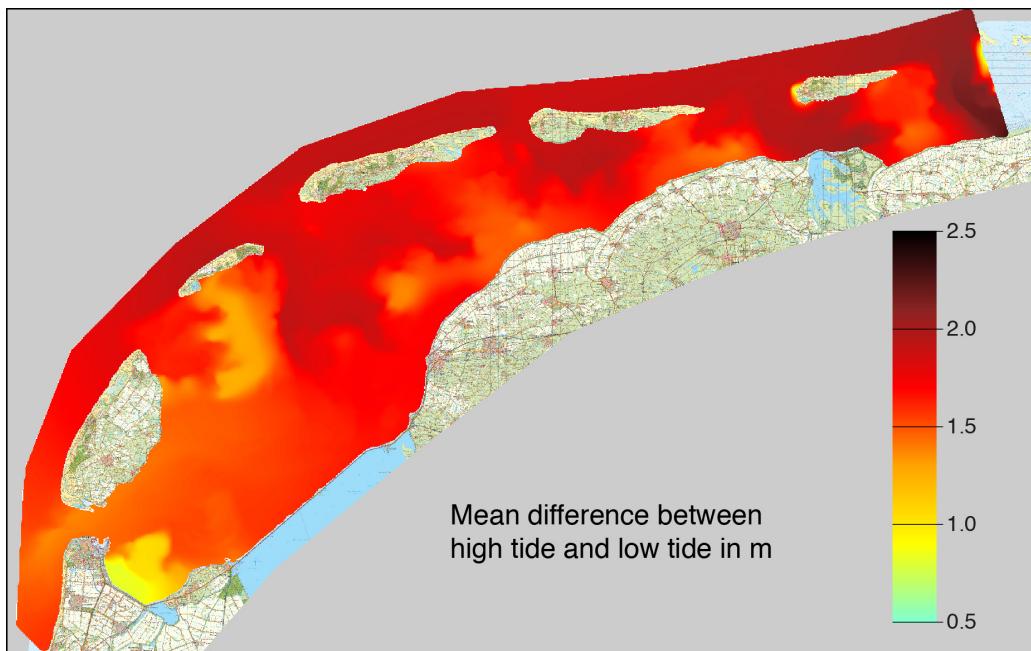


Figure E.6. Amplitude kaart berekend als het verschil tussen gemiddeld hoogwater (Figuur E.1) en gemiddeld laagwater (Figuur E.2).

E.2 De amplitudekaart

Figuur E.6 is de amplitudekaart berekend als het verschil tussen gemiddeld hoogwater en gemiddeld laagwater.

E.3 Conclusie

De hoge gesimuleerde laagwaterstanden op bijvoorbeeld het wantij van Ameland kunnen niet worden geverifieerd door directe vergelijking met gemeten waarden, omdat er op dergelijke plekken geen meetstations zijn.

In de jaren negentig is echter gedurende een aantal jaren de waterstand bij de veerhaven van Holwerd gemeten. Deze waterstanden zijn goed in overeenstemming met InterTides waterstanden gevonden door interpolatie tussen Lauwersoog, Nes en Harlingen. De hoge gesimuleerde laagwaterstanden voor 2010 zijn in strijd met resultaten van InterTides en ook in strijd met de laagwaterstanden zoals die zijn waargenomen in de jaren negentig.

De berekende amplitudekaart is om die redenen niet in gebruik genomen. De kaart is met name bedoeld om de waterstanden te corrigeren bij wantijen en zeegaten, waar systematische verschillen met de getijdestations kunnen worden verwacht. De kaart faalt echter bij de wantijen en gebruik als correctiemiddel zal dan geen verbetering opleveren.

