



hoogheemraadschap
Hollands
Noorderkwartier

Prins Hendrikzanddijk

Invloed op het watersysteem Waddenzee en
havens

Auteur

Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.

Corsanummer:

16.0197939

Registratienummer

EDM70-19-308/16-016.687

Datum

5 oktober 2016

Versie

2

Status

definitief

Afdeling

Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Bevelandseweg 1
Postbus 250
1700 AG Heerhugowaard



Inhoudsopgave

1	Inleiding	2
1.1	Aanleiding	2
1.2	Toekomstige situatie: de Prins Hendrikzanddijk	2
1.3	Uitvoering	5
1.4	Doel van dit rapport	6
1.5	Leeswijzer	6
2	Invloed op grootschalige waterbeweging	7
2.1	Bestaande situatie	7
2.2	Aanwezigheid Prins Hendrikzanddijk	8
2.3	Aanleg en instandhouding Prins Hendrikzanddijk	13
3	Invloed op grootschalig slibtransport	14
3.1	Bestaande situatie	14
3.2	Aanwezigheid Prins Hendrikzanddijk	16
3.3	Aanleg en instandhouding Prins Hendrikzanddijk	16
4	Invloed op zandtransport en grootschalige morfologie	19
4.1	Bestaande situatie	19
4.2	Aanwezigheid Prins Hendrikzanddijk	20
4.3	Aanleg en instandhouding Prins Hendrikzanddijk	20
5	Aanslibbing havens Texel	22
5.1	Bestaande situatie	22
5.2	Aanleg en instandhouding Prins Hendrikzanddijk	24
6	Stabiliteit geulwandbestorting	28
6.1	Bestaande situatie	28
6.2	Aanwezigheid Prins Hendrikzanddijk	29
6.3	Aanleg en instandhouding Prins Hendrikzanddijk	30
7	Afwatering gemalen	31
7.1	Bestaande situatie	31
7.2	Aanwezigheid, aanleg en instandhouding Prins Hendrikzanddijk	31
8	Aanslibbing luwe zone	32
8.1	Inleiding	32
8.2	Uitgangspunten	32
8.3	Resultaten	33
8.4	Resumé en effect op habitattypen	33
9	Samenvatting en conclusies	35
10	Literatuur	37
	Bijlage I Bespreking situatie per haven	39
	Bijlage II Formules grootschalig slibtransport	47
	Bijlage III Formules verspreiding opgeloste stof	49



1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Primaire waterkeringen in Nederland moeten voldoen aan de eisen die in de Waterwet zijn vastgelegd. De veiligheid van een waterkering moet onder meer voldoen aan het voorgeschreven veiligheidsniveau. Voor dijkkringgebied 5, waartoe de Waddenzeedijk Texel behoort, is de normfrequentie 1/4.000 per jaar. Dat betekent dat de waterkering bestand moet zijn tegen hydraulische belastingen (hoogwaterstanden en golfslag) die een overschrijdingskans hebben van 1/4.000 per jaar. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier is verantwoordelijk voor het beheer van de Waddenzeedijk Texel. In de tweede toetsronde, gerapporteerd in 2006, bleek dat de Waddenzeedijk Texel op verschillende faalmechanismen niet aan de norm voldoet. Dit betekent niet dat momenteel een grote kans bestaat dat een dijkdoorbraak kan plaatsvinden. Maar om nu en in de toekomst te voldoen aan de wettelijke eisen is een versterking van de waterkering noodzakelijk.

Uit technische verkenningen is gebleken dat een versterking van de Prins Hendrikdijk op traditionele wijze, volgens de geldende normen en ontwerpmethodieken, een zeer fors gedimensioneerde binnenberm noodzakelijk zou maken. Dit zou ten koste gaan van de binnendijks aanwezige landbouwgrond, bebouwing en natuur. Vanuit de omgeving is dan ook een alternatief voorgedragen dat voorziet in een buitendijks gelegen versterking, te weten de Prins Hendrikzanddijk. De Prins Hendrikzanddijk is daarmee een integrale oplossing die de doelstelling voor hoogwaterveiligheid combineert met natuurontwikkeling. Zodoende worden de natuurwaarden in het gebied substantieel vergroot. Hiermee wordt invulling gegeven aan één van de kernopgaven van het Natura 2000-gebied Waddenzee. Een dergelijke oplossing past ook binnen de strategie van het Deltaprogramma.

1.2 Toekomstige situatie: de Prins Hendrikzanddijk

Het plangebied van sectie 9 maakt voor het grootste deel onderdeel uit van het Natura 2000-gebied Waddenzee. Het plan voorziet in de aanleg van een veiligheidsduin, een strandhaak met schelpenrijk strand en laag dynamische lagunes (luwe zones). Deze zones worden afgeschermd door de strandhaak en de NIOZ havendam.

Het veiligheidsduin is een duingebied dat tevens de kern van de nieuwe zandige zeewering vormt. Het veiligheidsduin komt direct zeewaarts van de bestaande Prins Hendrikdijk te liggen. Het veiligheidsduin sluit in het noorden aan op de versterkte waterkering van sectie 8 en in het zuiden wordt aangesloten op de voorlandkering, die weer aansluit op de versterkte waterkering van sectie 10. Hierdoor wordt het veiligheidsduin een doorlopende en op zichzelf functionerende zandige waterkering tussen sectie 8 en 10 ingepast.

In sectie 9 worden de natuurwaarden vergroot door transformatie van de huidige habitattypen (natuurwaarden) naar andere, op deze locatie hoogwaardigere, habitattypen en leefgebieden van soorten waarvoor een behoud- of uitbreidingsdoelstelling geldt en het vormen van een meer natuurlijke gradiënt van water naar land. De hogere natuurwaarden en de natuurlijke gradiënt



worden gecreëerd met droogvallende platen, slikken, schorren, stranden en jonge duinen die op een logische manier op elkaar aansluiten en in elkaar grijpen. Dit leidt tot hoogwaardigere natuur binnen het plangebied en levert een impuls aan de natuurwaarden in de Waddenzee. Daarnaast draagt de Prins Hendrikzanddijk bij aan de ontstening van de Waddenzee kust door de aanleg van een zachte overgang van eiland naar zee.

In het plangebied zijn meerdere leidingen aanwezig, waaronder twee waterleidingen van drinkwaterbedrijf PWN. Bij de realisatie van de Prins Hendrikzanddijk blijven de kabels en leidingen gehandhaafd. De uitstroomleidingen van het Prins Hendrikgemaal worden verlengd. Het gemaal De Schans wordt verplaatst en vervangen binnen de werkzaamheden van sectie 1 t/m 8 en 10. Het gemaal De Schans mondt uit in de natuurzone. De Prins Hendrikzanddijk wordt als doorlopende waterkering tussen sectie 8 en 10 ingepast. Het veiligheidsduin sluit in het noorden aan op de versterkte waterkering van sectie 8 en in het zuiden wordt aangesloten op sectie 10.

Onderstaande visualisatie van de Prins Hendrikzanddijk geeft de toekomstige situatie weer.

Afbeelding 1.1 Toekomstige situatie Prins Hendrikzanddijk



Transformatie natuurwaarden Prins Hendrikzanddijk

Om tot een concrete invulling te komen van de beoogde natuurontwikkeling bij de Prins Hendrikzanddijk zijn minimale arealen voor habitattypen en leefgebieden van soorten vastgesteld.

De binnen het plangebied te ontwikkelen minimum- en maximumarealen van relevante habitats en leefgebieden van soorten zijn in onderstaande tabel samengevat. De tabel geeft in de eerste kolom



de relevante habitats. In de tweede en derde kolom wordt per habitat inzicht gegeven in het minimale en het maximaal te ontwikkelen oppervlak binnen het plangebied en daarmee de onderlinge verdeling van oppervlak binnen het totale plangebied. In de derde kolom is de ontwikkeltijd aangegeven. In alle gevallen dient een totaal aantal van 208 ha aan habitattypen en leefgebied gerealiseerd te worden.

Tabel 1.1 Te ontwikkelen habitattypen en leefgebieden

habitats/leefgebied	minimale oppervlakte	maximale oppervlakte	ontwikkel tijd
totaal te realiseren habitattypen/leefgebieden	208 ha	208 ha	
H1110A Permanent overstroomde zandbanken getijdengebied	45 ha	geen max.	0-1 jr
H1140A Slik- en zandplaten getijdengebied	50 ha	geen max.	0-1 jr
H1310A Zilte pionierbegroeiingen zeekraal	1 ha	5 ha	0-5 jr
H1320 Slijkgrasvelden	0 ha	5 ha	2-5 jr
H1330A Schorren en zilte graslanden buitendijks	20 ha	geen max.	10-15 jr
H2120 Witte duinen	0 ha	40 ha*	3-5 jr
H2130A Grijs duinen kalkrijk	0 ha	40 ha*	10-15 jr
H2160 Duindoornstruwelen	0 ha	5 ha	5-10 jr
Schelpenrijk zand/strand/strandhaak	10 ha	40 ha	0-1 jr

* Gezamenlijk oppervlak H2120 Witte duinen en H2130A Grijs duinen kalkrijk bedraagt maximaal 40 ha

Recreatief medegebruik

De Prins Hendrikzanddijk is een bijzonder project met een regionale tot landelijke uitstraling. Het gebied wordt op verschillende manieren beleefbaar gemaakt voor het publiek.



Afbeelding 1.2 Recreatief medegebruik



Op het veiligheidsduin wordt een uitzichtpunt gerealiseerd welke landschappelijk ingepast wordt en visueel wordt afgeschermd om verstoring te voorkomen. Het uitzichtpunt is bereikbaar via een aan te leggen wandelpad. Dit nieuwe uitzichtpunt en wandelpad vormen een onderdeel van een wandelroute die polder Ceres, de Redoute, de Schans en de Prins Hendrikzanddijk met elkaar verbindt. Dit wandelpad wordt zo aangelegd dat deze geen visuele verstoring oplevert richting de luwe zone en het strand. Voor fietsers wordt een fietspad aangelegd over het veiligheidsduin en over de kruin van de bestaande dijk, zodat de mogelijkheid voor een (recreatieve) fietsroute langs het wad blijft bestaan.

1.3 Uitvoering

Deze paragraaf gaat in op de wijze van uitvoeren tijdens de aanleg- en gebruiksfase van de Prins Hendrikzanddijk.

Aanlegfase

De aanlegfase van de Prins Hendrikzanddijk bestaat hoofdzakelijk uit het aanbrengen en inrichten van ongeveer 4,5 miljoen m³ zand. Het zand voor deze suppleties wordt gewonnen op de Noordzee en per schip aangevoerd naar het plangebied, waar dit verwerkt wordt. Het aanbrengen van het zand vanuit de schepen op het plangebied van de Prins Hendrikzanddijk kan plaatsvinden met behulp van rainbowen of met behulp van een walpersleiding.



Daarnaast is sprake van aanpassingen aan de gemalen De Schans en Prins Hendrik om de functionaliteit daarvan te kunnen blijven waarborgen. Bij gemaal Prins Hendrik is voorzien dat de huidige uitstroomleiding wordt verlengd onder het veiligheidsheidsduin door richting de Waddenzee. Deze werkzaamheden worden voorafgaand aan het aanbrengen van het zand uitgevoerd. De uitstroomconstructie van gemaal De Schans wordt aangepast om aanzanding te voorkomen. De constructies die ter bescherming of aanpassing van de kunstwerken nodig zijn, worden over land of water aangevoerd. Deze constructies worden aangebracht met behulp van het daarvoor noodzakelijke materieel, zoals telescoopkranen of graafmachines.

De voorzieningen voor recreatief medegebruik, waaronder wandelpaden, uitkijkpunt en fietspad worden aan het einde van de realisatie aangebracht. Ook worden de maatregelen voortkomend uit de ruimtelijke inpassing, zoals afrastering, in deze fase aangelegd. De materialen hiervoor worden hiervoor over land of water aangevoerd. De verhardingen worden aangebracht met kranen en graafmachines.

Gebruiksfase

De Prins Hendrikzanddijk is onderhevig aan getij- en weersinvloeden (wind, stromingen, golven) en kan hierdoor eroderen. Een morfologische studie is uitgevoerd waaruit blijkt dat de bruto erosie (verlies) van zand uit het plangebied ongeveer 20.000 m³/jaar bedraagt. Om te voldoen aan de gestelde veiligheidsnorm moet de Prins Hendrikzanddijk door middel van zandsuppleties onderhouden worden om deze bruto erosie aan te vullen. Tevens wordt het reguliere beheer van het hoogheemraadschap en de uitwerking van de adaptatiestrategie plaats.

1.4 Doel van dit rapport

In dit rapport wordt ingegaan op de invloed van de Prins Hendrikzanddijk op het watersysteem van de westelijke Waddenzee. Hierbij wordt zowel aandacht besteed aan de vormgeving en het ruimtebeslag van het plan als de aanleg en de instandhouding. Dit betreft alleen de abiotische factoren.

Het onderzoek is voornamelijk uitgevoerd op basis van reeds beschikbare informatie en literatuur, onder andere afkomstig van enkele recent uitgevoerde onderzoeken. Waar relevant zijn daarbij de effecten gekwantificeerd met behulp van berekeningen.

1.5 Leeswijzer

Na dit inleidende hoofdstuk wordt in hoofdstuk 2 ingegaan op de invloed op de grootschalige waterbeweging. Hoofdstuk 3 heeft betrekking op de invloed op het grootschalige slibtransport. Hoofdstuk 4 geeft een beschrijving van de gevolgen voor het grootschalige zandtransport. Hoofdstuk 5 gaat in op de invloed op de aanslibbing van de havens op Texel. Hoofdstuk 6 behandelt vervolgens de stabiliteit van de geulwandbestorting van de Texelstroom ter plaatse van de Prins Hendrikdijk. In hoofdstuk 7 wordt ingegaan op de afwatering van gemalen en in hoofdstuk 8 wordt vervolgens ingegaan op aanslibbing in luwe zones. In het afsluitende hoofdstuk 9 worden tenslotte de samenvatting en de conclusies van het uitgevoerde onderzoek gegeven. Tevens zijn een aantal bijlagen met achtergrondinformatie toegevoegd.



2 Invloed op grootschalige waterbeweging

2.1 Bestaande situatie

De Prins Hendrikzanddijk is gesitueerd ter hoogte van het zeegat van Texel (Marsdiep). Het zeegat van Texel is het meest westelijke zeegat van de Waddenzee dat de Noordzee en de Waddenzee met elkaar verbindt. De grootschalige stroming wordt in eerste instantie bepaald door het getij. Het zeegat heeft na de afsluiting van de Zuiderzee (1932) drastische veranderingen ondergaan in de morfologie. Een belangrijke oorzaak hierbij betreft de toename van het getijvolume door het zeegat met een sterke wijziging van de oriëntatie van de buitendelta en de daarin liggende getijgeulen. De buitendelta, genaamd Noorderhaaks, is de zandige ondiepte aan de Noordzeekant van het zeegat Marsdiep. De toename van het getijvolume heeft geresulteerd in grote zandverliezen langs de kust van Texel en Noord-Holland en lokaal heeft er een grote uitschuring plaatsgevonden door de vorming van getijgeulen direct onder de kust van Noord-Holland.

Aan de kant van de Waddenzee vormt de Texelstroom de belangrijkste watervoerende geul van het zeegat. Ter plaatse van de Prins Hendrikzanddijk ligt de Texelstroom ongeveer 400 m uit de kust. Sinds de aanleg van de Afsluitdijk fungeert de Texelstroom als belangrijkste geul voor de komberging van de Westelijke Waddenzee. Hierdoor is de aanstroming van de zuidoostkust van Texel versterkt. De aanpassing van de geulen aan de nieuwe situatie is echter een zeer langzaam verlopend proces. De oriëntatie van de Texelstroom is daardoor in de loop van de tijd nauwelijks veranderd. Ook de aanwezigheid van een erosiebestendige laag keileem die ruwweg de westkant van de Texelstroom vormt wordt hierbij als mogelijke oorzaak genoemd (zie [11] en [19]).

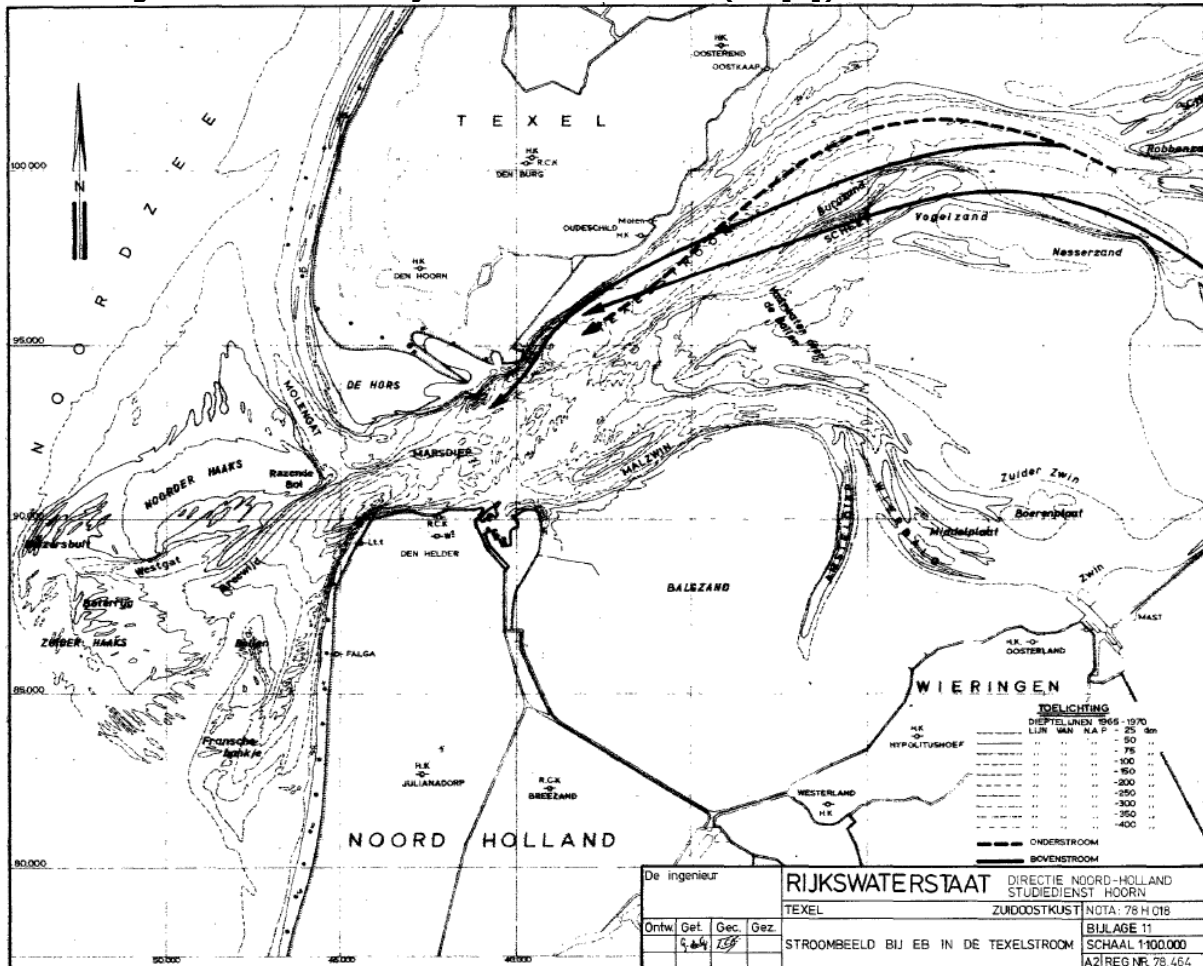
De toename van het getijvolume heeft wel gezorgd voor een verdieping van de Texelstroom.¹ Dit heeft ook gezorgd dat de geul zich in de loop der tijd iets verder richting de zuidoostelijke oever van Texel heeft uitgebreid. Direct ten noordoosten van het 't Horntje is in de loop der tijd (1932-1969) sprake geweest van een grotere inscharing van de oever. Als mogelijke verklaring hiervoor wordt gewezen op de aanwezigheid van een spiraalstroming² (zie afbeelding 2.1, uit [3]). Om verder opdringen van de geul richting de kust tegen te gaan is ter plaatse van de Prins Hendrikdijk inmiddels nagenoeg langs de gehele geulwand een steenbestorting aangebracht (zie hoofdstuk 7).

¹ De oppervlakte van de dwarsdoorsnede van dergelijke geulen is afhankelijk van het getijvolume dat er doorheen stroomt.

² Een spiraalstroming is een stroming onder in het dwarsprofiel die min of meer haaks staat op de stroomrichting. De spiraalstroming ontstaat bij een (gekromde) bochtstroming in een begrensd gebied waarbij het water door de stroomsnelheid naar buiten wordt geslingerd (door de middelpuntvliedende kracht). In de buitenbocht loopt daardoor het water hoger op dan in de binnenbocht. De zwaartekracht vereffent dit waterstandsverschil waardoor een tegengestelde stroming ontstaat: de zogenaamde spiraalstroming.



Afbeelding 2.1 Stroombeeld bij eb in de Texelstroom (uit [3])



De verwachting bestaat dat op hoofdlijnen de configuratie van de Texelstroom in de komende decennia gelijk blijft. Wel is het mogelijk dat de geuldoorsnede nog iets toe neemt als gevolg van een eventuele vergroting van het getijareaal en de getijslag [4].

De spuibolumes die tijdens eb via de Lorentz- en Stevinsluizen op de Waddenzee worden gespuid zijn normaal gesproken een orde kleiner dan het getijvolume. De invloed van het spuiregime (zout-zoet effecten) op het stroombeeld in de westelijke Waddenzee blijft daarom beperkt tot de directe omgeving van de spuisluizen. Voor de Prins Hendrikzanddijk speelt het spuien dus geen rol van betekenis.

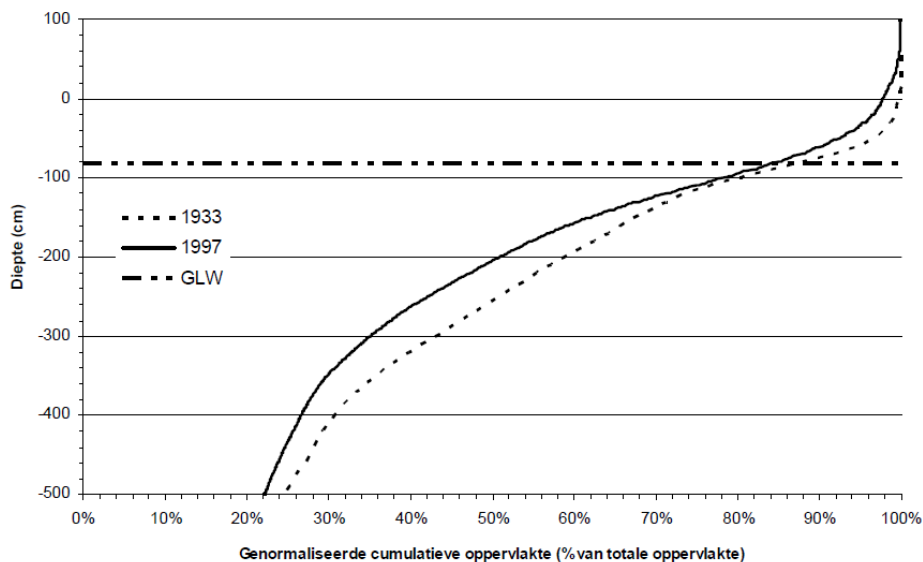
2.2 Aanwezigheid Prins Hendrikzanddijk

In afbeelding 2.2 wordt de hypsometrische curve van het Marsdiep weergegeven met het verloop van het cumulatieve oppervlakte van het dwarsprofiel als functie van de diepte [5]. Hierin is te zien dat het gedeelte van het bekken onder NAP -1,0 m circa 80% van het oppervlak uitmaakt. De getijstrooming vindt met name plaats in de diepere delen van de geul.



De relevante habitattypen van de Prins Hendrikzanddijk zijn gesitueerd boven de bestaande GLW-lijn (\approx grofweg overeenkomend met de doorgaande NAP -1 m dieptelijn). Ten opzichte van de oriëntatie van de Texelstroom is sprake van een min of meer gestroomlijnde vorm van het ontwerp voor de natuurbouw. Vanwege de beperkte omvang en de ligging van de Prins Hendrikzanddijk, aan de rand van de Texelstroom in relatief ondiep water, is het aannemelijk dat de Prins Hendrikzanddijk alleen zeer lokaal invloed heeft op het stroombeeld. Daarom wordt verwacht dat op grotere schaal het stromingspatroon in de Texelstroom door de aanleg van de Prins Hendrikzanddijk niet verandert.

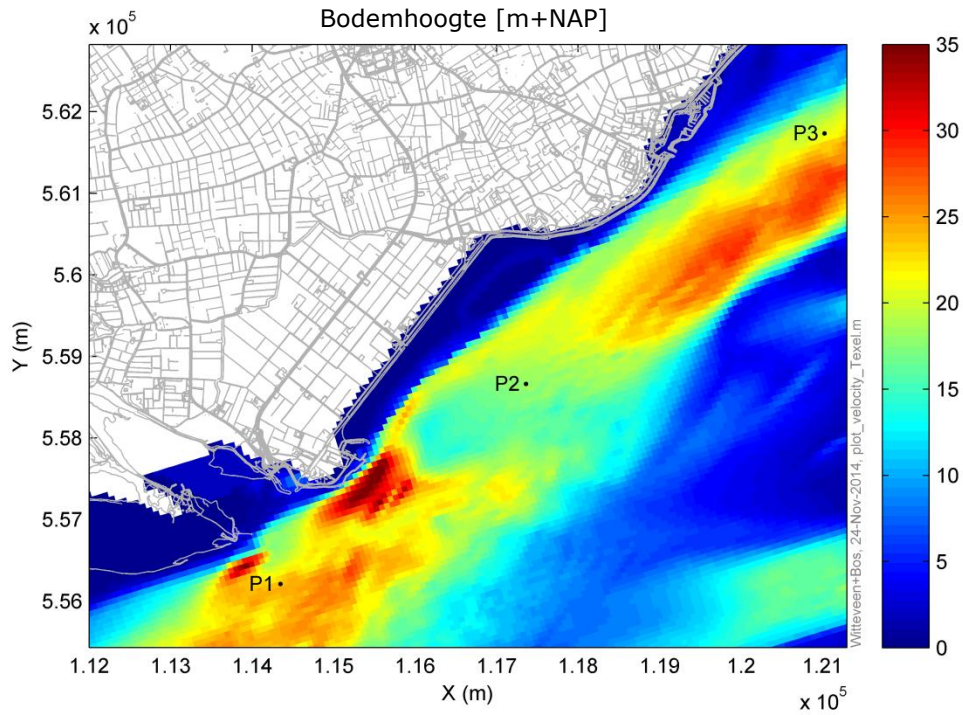
Afbeelding 2.2 Hypsometrische curve Marsdiep (uit [5])



In het kader van morfologisch onderzoek dat is uitgevoerd door Witteveen+Bos [6] zijn getijberekeningen uitgevoerd voor de huidige en toekomstige situatie met het DELFT3D model voor het genereren van de getijrandvoorwaarden. In afbeelding 2.3 t/m 2.6 worden de resultaten weergegeven. De uitkomsten van de berekeningen bevestigen de conclusie dat de Prins Hendrikzanddijk geen invloed heeft op de grootschalige waterbeweging ter plaatse van de Texelstroom. De Prins Hendrikzanddijk resulteert alleen op lokale schaal in een toename van de stroomsnelheden (zie afbeelding 2.6).

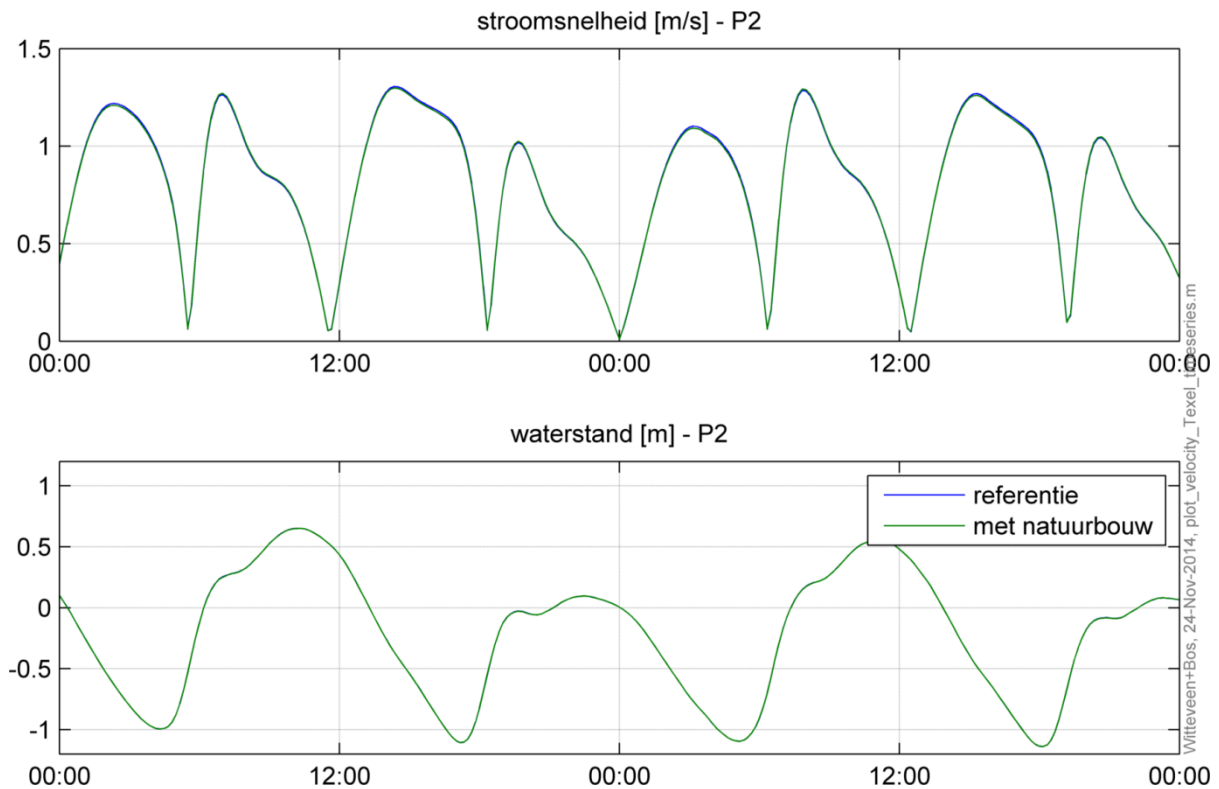


Afbeelding 2.3 Bodemligging toekomstige situatie en uitvoerpunten getij

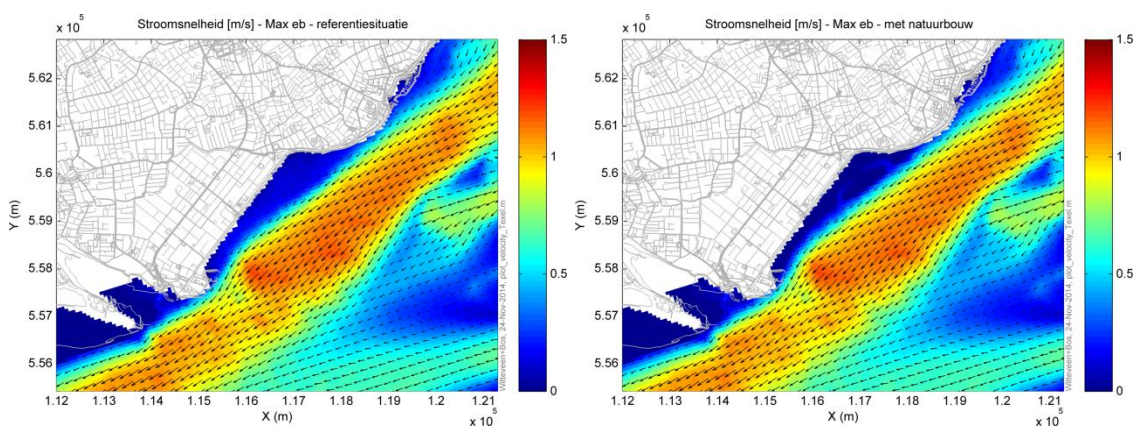




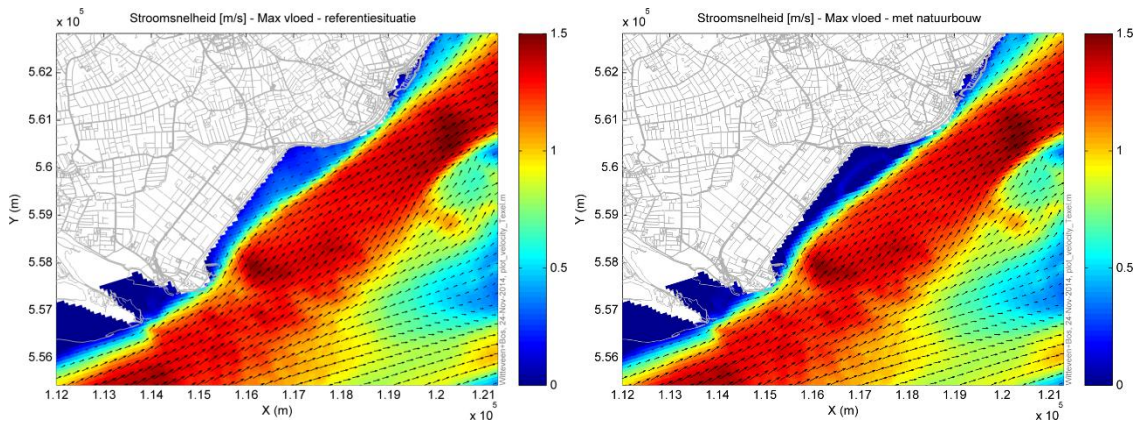
Afbeelding 2.4 Verloop horizontaal en verticaal getij met en zonder Prins Hendrikzanddijk voor uitvoerpunt P2



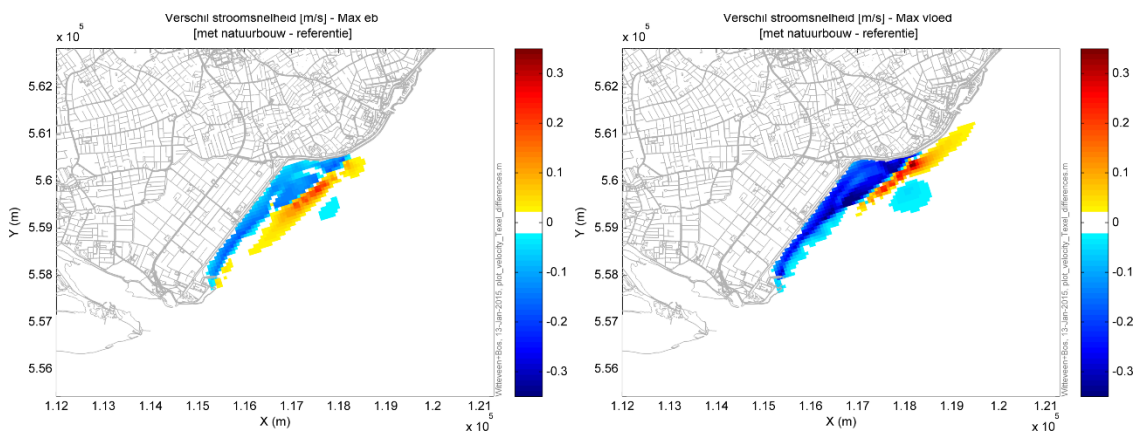
Afbeelding 2.5 Resultaat stromingsberekeningen (de stroomsnelheden zijn vrijwel gelijk waardoor de lijnen samenvallen, hierdoor is de grafiek met de referentie niet altijd zichtbaar)



a) Overall stromingspatroon eb

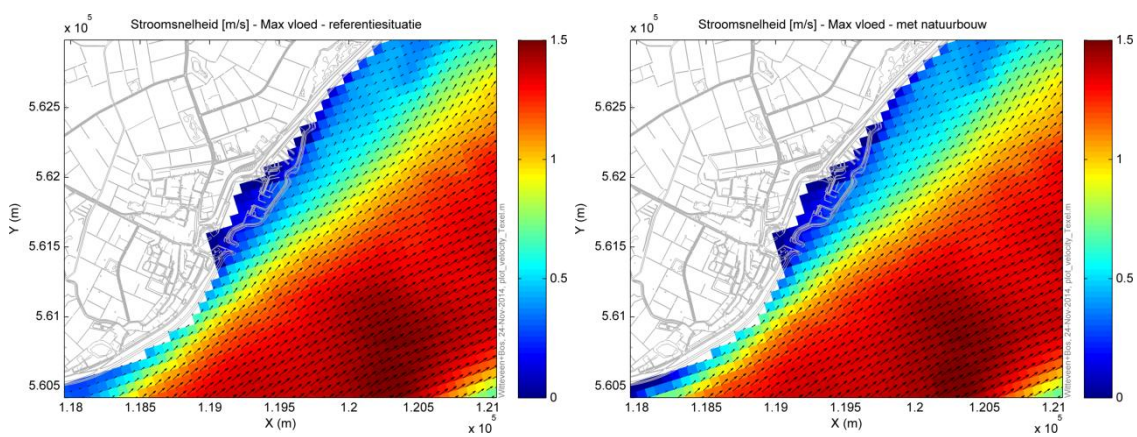


b) Overall stromingspatroon vloed

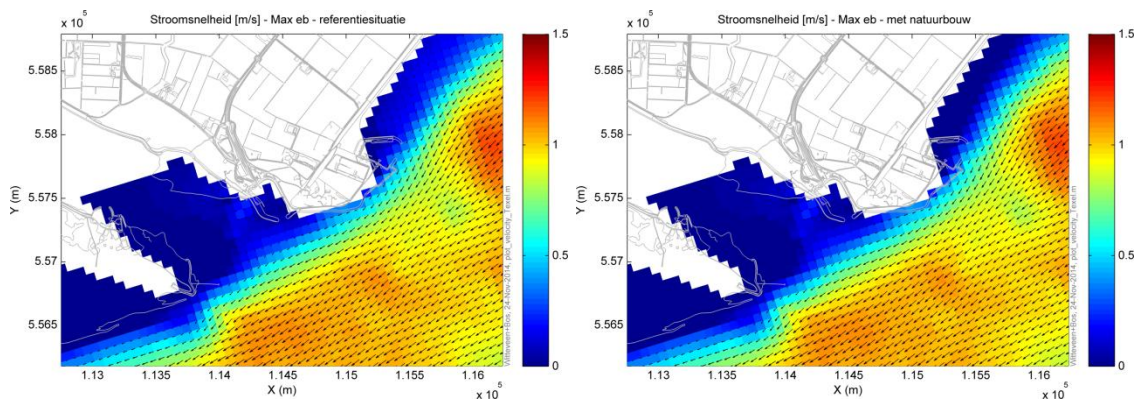


c) Verschil referentie - natuurbouw

Afbeelding 2.6 Detail stromingsberekeningen



a) Detail Oudeschild, max. vloed



b) Detail stromingsberekeningen

2.3 Aanleg en instandhouding Prins Hendrikzanddijk

In een getijdengebied als de Waddenzee treedt van nature veel waterbeweging op. In de Texelstroom kunnen hoge stroomsnelheden optreden (tot wel 2 m/s tijdens springtij gedurende maximum eb en vloed). Van tijd tot tijd kan ook een behoorlijke golfwerking optreden.

De extra beweging van de waterkolom door de stortactiviteiten ter plaatse van de Prins Hendrikzanddijk tijdens de aanleg van de Prins Hendrikzanddijk en tijdens het uitvoeren van onderhoud is zeer beperkt ten opzichte van de natuurlijke getjibeweging en de waterbeweging ten gevolge van golven. De aanleg en instandhouding van de Prins Hendrikzanddijk heeft daarom geen invloed op de grootschalige waterbeweging.

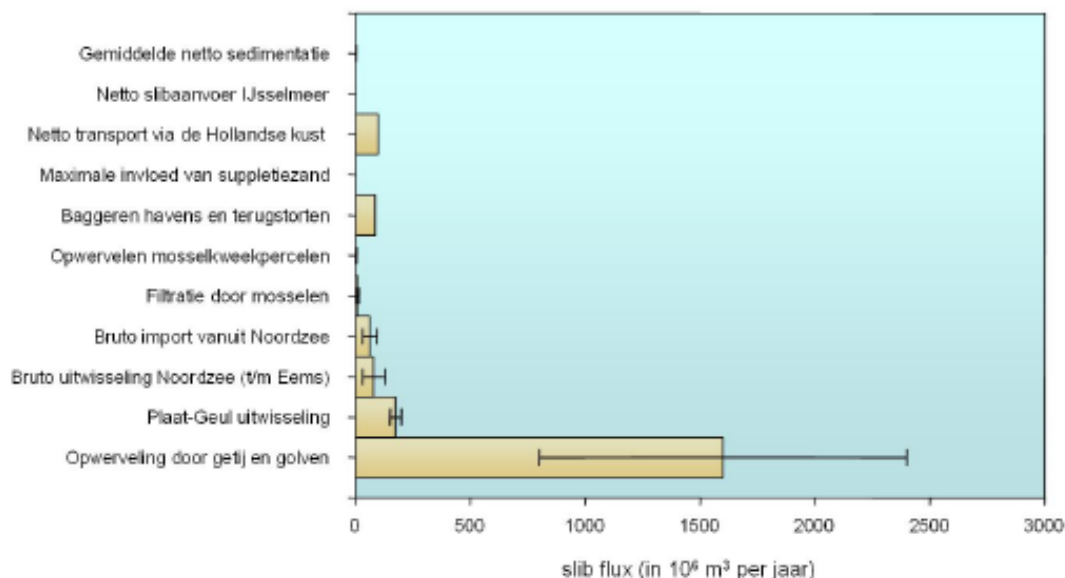


3 Invloed op grootschalig slibtransport

3.1 Bestaande situatie

In afbeelding 3.1 wordt een overzicht gegeven van de verschillende slibbronnen die een rol spelen bij de grootschalige slibhuishouding in de Waddenzee [7]. Hieruit blijkt dat de hoeveelheid slib in de Waddenzee nagenoeg volledig wordt bepaald door natuurlijk transportprocessen. Een belangrijk deel van het gesuspendeerde materiaal in de waterkolom komt door op werveling van de bodem in de Waddenzee zelf.

Afbeelding 3.1 Geschatte slibfluxen gemoeid met verschillende processen en ingrepen in de Waddenzee(uit [7])



Op basis van beschikbare data van het NIOZ met betrekking tot gesuspendeerd materiaal in het Marsdiep (Ridderinkhof) is door IMARES [8] berekend dat per jaar ongeveer 12 miljoen ton gesuspendeerd materiaal netto de Waddenzee in getransporteerd wordt (= 16,5 miljoen ton bruto) door het Marsdiep. Op basis van een schatting van de soortelijke massa van het gesuspendeerde materiaal (2500 kg/m^3), en een porositeit van het bezonken materiaal van ongeveer 50% betekent een dergelijke import een jaarlijkse netto volumevracht van $9,6 \text{ miljoen m}^3$ slib. Van deze hoeveelheid hoeft niet alles te bezinken; een deel kan via andere zeegaten uitstromen. Stel dat alles bezinkt in het bekken van het Marsdiep dan zou dat een laag van circa 2 cm per jaar betekenen ($9,6 \cdot 10^6 / 600 \cdot 10^6 = 0,016 \text{ m/jr}$). Niet alles bezinkt in het Marsdiep en derhalve wordt dit gezien als een bovenwaarde. Volgens een ruwe schatting in [9] bevindt zich in het water van de Waddenzee gemiddeld tussen één en twee miljoen kilo aan zwevend materiaal, wat overeenkomt met een bodemlaagje slib van circa 0,5 – 1 mm.

De natuurlijke concentratie kan, als gevolg van verschillende omgevingsfactoren (zoals stroming, wind en golven), fluctueren. Tijdens het stormseizoen is de concentratie zwevend materiaal hoger

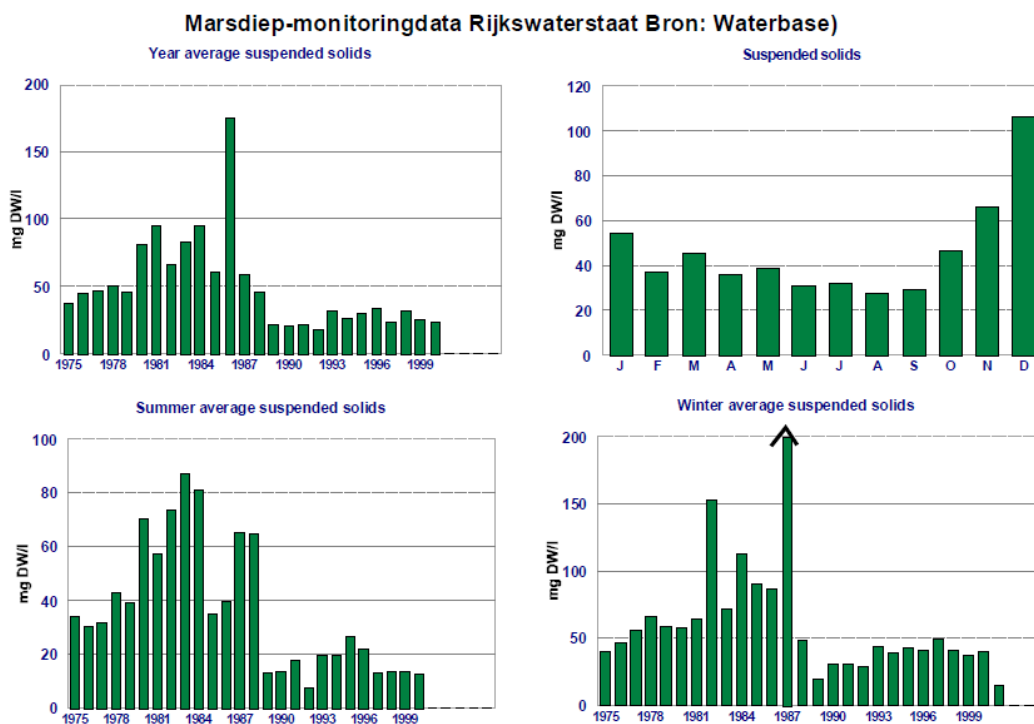


dan tijdens de rest van het jaar vanwege de hogere windsnelheden en golfwerking. Hierdoor kan een groot gedeelte van het bezonken materiaal weer worden opgewerveld en in de waterkolom terecht komen. De gemiddelde concentratie gesuspendeerd materiaal in de Waddenzee kan dus zeer sterk variëren, ook jaargemiddeld [7]. De range loopt van circa 25 mg/l tot circa 150 mg/l, met een Waddenzee breed gemiddelde van 80 mg/l.

In afbeelding 3.2 is een overzicht gegeven van de maandelijkse Rijkswaterstaat/RIKZ monitoringsdata met betrekking tot gesuspendeerd materiaal in het Marsdiep. Het gesuspendeerde materiaal is weergegeven voor een aantal jaren, zowel voor de zomer- en winterperiode als voor het gehele jaar. Ook de seizoensvariatie is weergegeven. Volgens afbeelding 3.1 komt de langjarige gemiddelde concentratie voor de winterperiode uit op circa 50 mg/l en voor de zomer op circa 30 mg/l. De jaar tot jaar variatie in concentratie voor zowel de zomer- als winterperiode kan echter een factor 2 à 3 groter uitpakken. Opgemerkt wordt dat vanaf 1982 de monstername is gewijzigd. De hierboven vermelde concentraties hebben betrekking op monsters die zijn genomen op 1,5 m onder het wateroppervlak bij kentering (Pers. Comm., H. Mulder, RWS). Dat betekent dat met de concentratiewaarden van na 1982 de werkelijke slibvracht in de waterkolom en de diepte gemiddelde slibconcentratie enigszins worden onderschat.

Ondanks dat sprake is van een onderschatting van de werkelijke slibconcentraties worden bovenstaande slibconcentraties, bij gebrek aan andere waarden, gebruikt als referentie om de effecten van de Prins Hendrikzanddijk te bepalen.

Afbeelding 3.2 Concentratie gesuspendeerd materiaal voor het Marsdiep op basis van monitoringsresultaten RWS/RIKZ (uit [8])





3.2 Aanwezigheid Prins Hendrikzanddijk

In het vorige hoofdstuk is aan de hand van de berekende stroombeelden geconcludeerd dat de Prins Hendrikzanddijk geen invloed heeft op het grootschalige stromingspatroon. Op basis hiervan kan worden geconcludeerd dat de aanwezigheid van Prins Hendrikzanddijk ook geen significant effect heeft op het grootschalig slibtransportpatroon.

De hoeveelheid slib die zich in de loop der tijd af zet ter plaatse van de natuurbouw is verwaarloosbaar ten opzichte van de totale hoeveelheid slib die een rol speelt in de slibhuishouding in de Waddenzee.

3.3 Aanleg en instandhouding Prins Hendrikzanddijk

Voor de aanleg van de Prins Hendrikzanddijk wordt gebruikt gemaakt van ongeveer 5 miljoen m³ zand. Dit zand wordt gewonnen op een winlocatie op de Noordzee en wordt met schepen vervoerd naar het plangebied. Het suppletiezand op de winplaats bevat 3-5% slib. Het is gebruikelijk dat tijdens het vullen van de beun wordt doorgeladen om de fijnere fractie te "overflowen". Dus het grootste deel van het slib spoelt al uit op de zandwinlocatie. De slibfractie van het suppletiezand is daardoor gering (maximaal circa 1%).³

De uitvoeringsmethode is vrij te kiezen door de aannemer. Naar alle waarschijnlijkheid wordt ter plaatse van de Prins Hendrikzanddijk het zand via rainbowen of een walpersleiding in profiel gebracht. Het perswater loopt via een open stort terug naar de Waddenzee. De nog aanwezige slibfractie in het suppletiezand wordt voor een deel met het perswater afgevoerd. Als representatieve situatie wordt aangenomen dat 50% van het slib op die manier in de Waddenzee verdwijnt.

Voor een hoeveelheid van 5 Mm³ zand met 0,5% slib is de totale hoeveelheid slib die naar de Waddenzee wordt afgevoerd circa 0,04 Mton (dichtheid zand = 1500 kg/m³). Ten opzichte van de totale natuurlijke import aan gesuspendeerd materiaal via het Marsdiep (12 Mton/jaar) is de hoeveelheid slib die vrijkomt tijdens de aanleg van de Prins Hendrikzanddijk dus zeer gering te noemen (0,04/12 = 0,3%). Ten opzichte van de slibflux door opwerveling via getij en golven is de hoeveelheid zelfs geheel verwaarloosbaar.

Om de gevolgen op de concentratie gesuspendeerd materiaal te berekenen wordt verondersteld dat de geloosde hoeveelheid slib volledig in suspensie gaat (de sedimentatie van slib wordt dus op nul gesteld).⁴ Het slib van de Prins Hendrikzanddijk verspreidt zich over de omgeving. Tijdens

³ Het slibaandeel van het suppletiezand is sowieso laag in vergelijking met dat in de bodem van de Westelijke Waddenzee.

⁴ Het geloosde slib komt terecht in de Texelstroom. Gezien de relatief hoge stroomsnelheden ter plaatse accumuleert het slib (en de fijne fractie zand) niet lokaal. Dit wordt mede ingegeven door de hoge mediane korrelgrootte die van nature ter plekke wordt aangetroffen.



Pagina
17 van 51

Datum
5 oktober 2016

vloed wordt het slib verder de Westelijke Waddenzee in getransporteerd; tijdens eb richting de Noordzee.

Voor het uitvoeren van de berekening is ingeschat dat de Prins Hendrikzanddijk in 5 maanden wordt aangelegd. In 5 maanden gaan 294 getijden (totaal 706 getijden per jaar). Dus per getij komt 136 ton slib in het systeem van de Westelijke Waddenzee (0,04Mton/294).

De totale oppervlakte van de Westelijke Waddenzee bedraagt circa 590 km². Met een gemiddelde diepte van 5,4 m komt het totale volume voor de Westelijke Waddenzee uit op circa 3,2x10⁹ m³. Voor de komberging van de Westelijke Waddenzee door het Marsdiep geldt een volume van 1,01x10⁹ m³.

Op basis van het uitgewisselde kombergingsvolume kan berekend worden (voor vergelijkingen zie Bijlage 2) dat het vrijkomende slib van de Prins Hendrikzanddijk in theorie een verhoging van 0,14 mg/l veroorzaakt voor de concentratie gesuspenseerd materiaal (=136x10⁹/(1,01x10⁹x10³)).

In werkelijkheid is echter sprake van retentie, omdat niet het totale volume water per getij wordt ververst. Daardoor neemt de slibconcentratie tijdens de aanleg van de Prins Hendrikzanddijk enigszins toe. Voor de verversingstijd van de westelijke Waddenzee wordt uitgegaan van 30 getijden (circa 0,5 maand). De totale geloosde hoeveelheid slib gedurende die periode bedraagt dan 4.080 ton (30*136 ton). Op basis van het totale volume van de Westelijke Waddenzee kan dan berekend worden dat tijdens de aanleg van de Prins Hendrikzanddijk de vrijkomende hoeveelheid slib een verhoging van 1,3 mg/l veroorzaakt van de concentratie gesuspenseerd slib (=4080x10⁹/(3,2x10⁹x10³)).

Gegeven alle benaderingen en aannamen die ten grondslag liggen aan bovenstaande berekening lijkt het realistisch om voor het effect van de Prins Hendrikzanddijk op de natuurlijke slibhuishouding van de Waddenzee uit te gaan van een maximale toename in de orde van 1 à 2 mg/l tijdens de aanleg van de Prins Hendrikzanddijk. Dit betekent, uitgaande van de langjarig gemiddelde concentraties, dat de concentratie gesuspenseerd materiaal in de winterperiode kan toenemen van ongeveer 50 mg/l naar maximaal 52 mg/l (+4%). In de zomerperiode kan de toename van 30 mg/l naar maximaal 32 mg/l (+7%) bedragen.

Procentueel gezien zou de berekende toename als significant aangeduid kunnen worden. Gezien de grote variatie in concentratie gesuspenseerd materiaal die van nature in de Waddenzee voorkomt kan geconcludeerd worden dat de effecten van het geloosde slib zoals hierboven berekend gering zijn en wegvallen in de natuurlijke dynamiek van de Waddenzee.

De Prins Hendrikzanddijk is onderhevig aan getij- en weersinvloeden (wind, stroming, golven) en past zich hier aan. Om de Prins Hendrikzanddijk in stand te houden wordt daarom van tijd tot tijd onderhoud uitgevoerd door middel van zandsuppleties. Voor het onderhoud van de Prins Hendrikzanddijk wordt uitgegaan van een onderhoudsinterval van minimaal 10 jaar om voldoende tijd te laten voor herstel van het habitatarealen. Een globale inschatting is gemaakt dat de totale erosie van de Prins Hendrikzanddijk circa 20.000 m³ (bandbreedte: - 50 % tot + 100 %) per jaar bedraagt (zie [12]). De omvang van de uit te voeren zandsuppleties voor een periode van 10 jaar bedraagt dan circa 200.000m³. Hierbij wordt uitgegaan dat het onderhoud van de Prins



Hendrikzanddijk op identieke wijze wordt uitgevoerd als de aanleg. De totale hoeveelheid slib die vrijkomt tijdens de uitvoering van onderhoudsuppleties bedraagt circa 2 à 6% van de totale hoeveelheid slib bij aanleg. Dit betekent dat de invloed van het periodieke onderhoud van de Prins Hendrikzanddijk op de natuurlijke slibconcentraties in de Waddenzee te verwaarlozen is. De slibconcentraties zullen lokaal (nabij de suppletiewerkzaamheden) significant verhogen. Deze slibconcentratieverhogingen zijn zeer tijdelijk van aard en vergelijkbaar met een tijdelijke opwoeling tijdens een storm. De veroorzaakte verstoring voor de ontwikkelde habitattypen wordt daarom als acceptabel ingeschat. Een gedeelte van de slibconcentratie kan neerslaan in de luwe zone achter de strandhaak. Dit is in het algemeen positief omdat opslibbing gewenst is in de betreffende bij de betreffende habitattypen.



4 Invloed op zandtransport en grootschalige morfologie

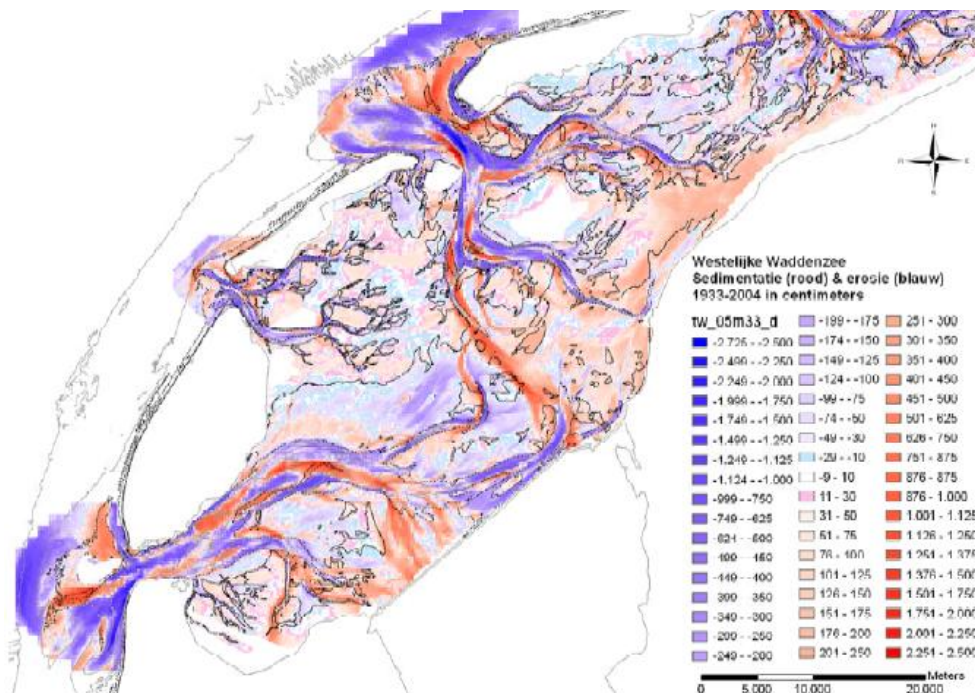
4.1 Bestaande situatie

Zoals in het hoofdstuk 2 reeds is aangegeven heeft het zeegat van Texel na de afsluiting van de Zuiderzee (1932) drastische morfologische veranderingen ondergaan. Daarbij is sinds de aanleg van de Afsluitdijk zeer veel sediment afgezet in het getijbekken van de Westelijke Waddenzee (Marsdiep en het Vlie). De toename van het sedimentvolume in de Westelijke Waddenzee is gepaard gegaan met een afname van de sedimentvoorraad van de buitendelta's en de aangrenzende kustgebieden (met name Noord-Holland en Texel).

Zandbudget studies [10] van de Westelijke Waddenzee wijzen erop dat sinds de afsluiting in totaal enkele honderden miljoenen kubieke meters sediment geïmporteerd is. Afbeelding 4.1 geeft een kaart met de opgetreden bodemveranderingen in de periode 1933-2004. Jaarlijks gaat via de zeegaten van Marsdiep tot en met de Eems circa 41 -56 miljoen m³ sediment heen en weer tussen Noordzee en Waddenzee.

In de huidige situatie wordt de netto sediment import door het Marsdiep richting Waddenzee geschat op 5 tot 6 miljoen m³/jaar [11]. Dit laat zien dat de effecten van de afsluiting van de Zuiderzee nog verre van uitgewerkt zijn.

Afbeelding 4.1 Opgetreden sedimentatie en erosie (1933-2004) in cm (afkomstig uit [5])





4.2 Aanwezigheid Prins Hendrikzanddijk

Vanwege de interactie tussen de waterbeweging en het sedimenttransport is het stroombeeld in de Texelstroom grotendeels bepalend voor de invloed van de aanwezigheid van de Prins Hendrikzanddijk op de natuurlijke morfologische processen in de Westelijke Waddenzee.

In het vorige hoofdstuk is aan de hand van de berekende stroombeelden geconstateerd dat de Prins Hendrikzanddijk geen invloed heeft op het grootschalige stromingspatroon in de Texelstroom. Er is alleen zeer lokaal een effect te verwachten (zie afbeelding 4.1). Op basis daarvan kan direct de conclusie worden getrokken dat de aanwezigheid van Prins Hendrikzanddijk ook geen significant effect op het grootschalig zandtransportpatroon en de morfologie van de Westelijk Waddenzee heeft.

4.3 Aanleg en instandhouding Prins Hendrikzanddijk

Jaarrond verliezen

De Prins Hendrikzanddijk is onder jaarrond condities onderhevig aan getij- en weersinvloeden (wind, stromingen, golven) en past zich hieraan aan. Om deze aanpassingen en de hieraan gerelateerde zandverliezen te beperken is het dwarsprofiel gebaseerd op een gemiddeld evenwichtsprofiel.

Kustlangs is de vorm van de Prins Hendrikzanddijk gestroomlijnd ten einde erosie en sedimentatie van het aangebrachte ontwerp te minimaliseren en slibafzettingen te stimuleren. Ter plaatse van de natuurbouw treedt erosie op als gevolg van getijgedreven zandtransporten onder invloed van de Texelstroom. Ter plaatse van de ondiepe vooroever en het zandlichaam is sprake van erosie als gevolg van gradiënten in het golfgedreven langtransport.

De totale netto erosie van de Prins Hendrikzanddijk is berekend op 5.600 m^3 (-50 % tot +100 %) per jaar (zie [12]). De netto erosie is het geërodeerde volume dat het plangebied daadwerkelijk verlaat. Het zandverlies als gevolg van het lokale wind-/golfklimaat en de overheersende vloedstroom treedt met name richting de NO-begrenzing van het plangebied op. Het geërodeerde zand komt voor een deel terecht in de Texelstroom waar het vervolgens deel gaat uitmaken van het grootschalige transportsysteem. Hierbij vindt uitwisseling plaats met het al aanwezige sediment. De korrels met een diameter van minder dan $160 \mu\text{m}$ worden op het moment dat ze door de stroming in de Texelstroom in beweging gezet, vrijwel onmiddellijk in suspensie gaan in de waterkolom. Grovere korrels kennen bij lage snelheden een fase waarin zij rollend en stuiterend over de bodem voortbewegen en gaan pas bij hogere snelheden in suspensie, maar blijven daarbij dicht bij de bodem. In combinatie met de variatie van de optredende stroomsnelheden op platen en (afhankelijk van de platen en geulen) vindt hierdoor in de Waddenzee een sterke sortering op de korrelgrootte plaats.

Welk gedeelte van het zandverlies bijdraagt aan de concentratie van gesuspendeerd materiaal is afhankelijk van de korrelverdeling van het suppletiezand. Op dit moment is dat nog niet bekend. Vooralsnog wordt uitgegaan dat voor de aanleg van de Prins Hendrikzanddijk suppletiezand met



een relatief grove korreldiameter van 250 – 350 μm wordt toegepast (dit is mede ingegeven om de verstuiving van zand zoveel mogelijk te beperken).

Het bovenstaande betekent dat slechts een deel van het zandverlies van de Prins Hendrikzanddijk bijdraagt aan de suspensie concentratie. Als worst case wordt hierbij uitgegaan van 50%. Of te wel een hoeveelheid van 2.800 m^3 (-50 % tot +100 %) per jaar. Met een droge dichtheid van 1500 kg/m^3 voor het zand bedraagt de bijdrage aan het gesuspendeerde materiaal 4.200 ton/jr. Deze hoeveelheid is 20% van de hoeveelheid slib (40.000 ton) die bij de aanleg in het systeem van de Westelijke Waddenzee terechtkomt.

Evenals bij de effecten van de vrijkomende hoeveelheid slib tijdens de aanleg van de Prins Hendrikzanddijk kan dus geconcludeerd worden dat voor het onderhoud van de Prins Hendrikzanddijk het effect op de natuurlijke suspensie concentratie verwaarloosbaar is.

Niet verwacht wordt dat zand dat ter plaatse van de Prins Hendrikzanddijk door erosie verdwijnt in de loop van de tijd voor extra aanzanding zorgt buiten de projectlocatie, bijvoorbeeld ten noordoosten van de projectlocatie, richting de haven van Oude Schild. Hiervoor is een 2-ledige verklaring. Enerzijds gaat het om een betrekkelijk beperkte hoeveelheid sediment. Anderzijds biedt de situatie ter plaatse daarvoor onvoldoende luwte en golfafscherming. Dat geldt ook al voor de huidige situatie. Blijkbaar zijn de lokale condities daarvoor te ongunstig. Verwacht wordt dat dit in de toekomstige situatie niet verandert.

Verliezen onder extreme condities

Kustdwarse transportprocessen (zeewaarts tijdens stormcondities, landwaarts tijdens meer gematigde condities), zorgen voor een seizoensafhankelijke vorm van dwarsprofiel. Aangezien het dwarsprofiel gebaseerd is op een gemiddeld evenwichtsdwarsprofiel, wordt verondersteld dat hierbij geen substantiële hoeveelheid zand uit het systeem van de Prins Hendrikzanddijk verdwijnt.

Tijdens meer extreme condities kan er als gevolg van duinafslag sprake zijn van een netto transport in een zeewaartse richting. Door de beschutte ligging van de Prins Hendrikzanddijk blijft de hoeveelheid duinafslag echter beperkt. Tevens is voldoende ruimte ter plaatse van de natuurbouw om de afgeslagen hoeveelheid zand te bufferen.

Een reden om te veronderstellen dat de Prins Hendrikzanddijk van invloed is op de zandtransporten en de grootschalige morfologische ontwikkeling in de Waddenzee is dus niet aan de orde.



5 Aanslibbing havens Texel

De afschatting van de aanslibbing heeft betrekking op de havens van Oude Schild, NIOZ, de Veerhaven en de Mokbaai. In bijlage 1 worden de betreffende havens afzonderlijk besproken. Deze havens zijn in de directe nabijheid van de projectlocatie van de Prins Hendrikzanddijk gesitueerd waardoor daar een effect op de aanslibbing merkbaar zou kunnen zijn als gevolg van de Prins Hendrikzanddijk.

5.1 Bestaande situatie

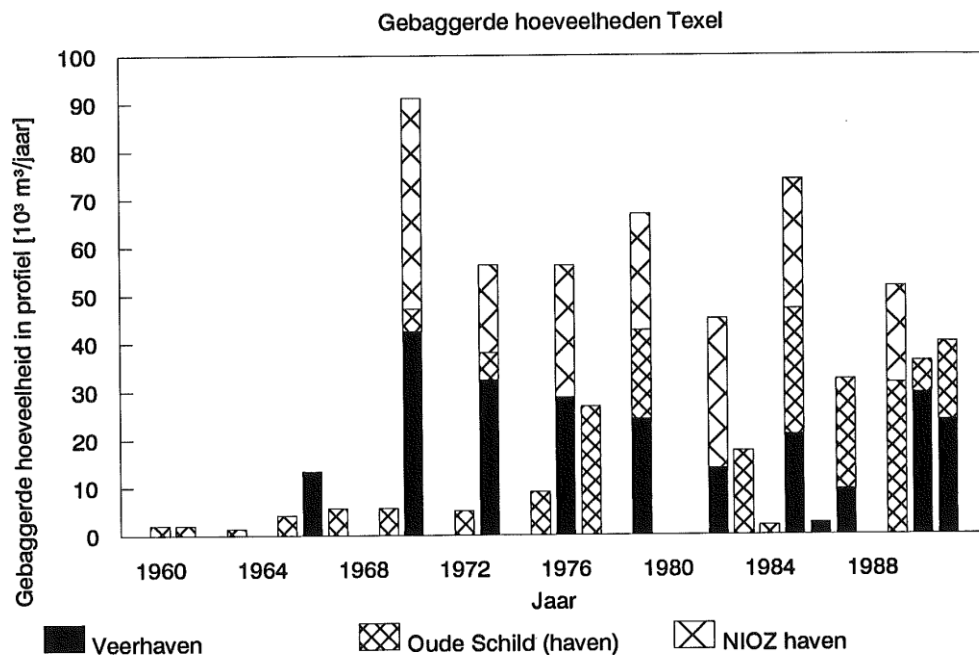
De aanslibbing in de betreffende havens wordt veroorzaakt door de hoeveelheid water dat tijdens een getij wordt uitgewisseld tussen de haven en de Waddenzee, en de concentratie aan gesuspendeerd materiaal in de waterkolom. Bij de uitwisseling spelen verschillende mechanismen een rol, namelijk: het kombergingsvolume, neervorming in de havenmond en dichtheidseffecten (zoet-zout verschillen). Het uitgewisselde volume water is redelijk nauwkeurig te bepalen op basis van de vormgeving van de haven. De concentratie van het gesuspendeerd materiaal is echter een probleem omdat die sterk afhankelijk is van de lokale omstandigheden (tijd en plaats). De hoeveelheid sediment die in de haven achterblijft hangt daarnaast nog af van de aard van het sediment (zand of slib) en de verblijftijd binnen de haven (het sediment moet voldoende tijd hebben om uit te zakken).

In tabel 5.1 wordt een overzicht gegeven van de maximaal vergunde baggerinspanning in de huidige situatie voor de betreffende havens. De gespecificeerde volumes zijn gebaseerd op de passende beoordeling voor het baggeren en verspreiden van baggerspecie in de Waddenzee [13]. De baggervolumes hebben betrekking op de maximale hoeveelheden gedurende een periode van 10 jaar. Daarbij is rekening gehouden met een variatie zoals die per locatie kan optreden ten behoeve van speelruimte in de vergunning. De werkelijke hoeveelheden liggen in het algemeen lager. Zo bedraagt de werkelijke baggerhoeveelheid voor de Veerhaven (Texel 't Horntje, toegangseul en haven) 7.500 m³/jr, als gemiddelde voor de periode 2008-2013 (Pers. Comm., H. Mulder, RWS).

Afbeelding 5.1 heeft betrekking op historische baggergegevens (periode 1960 – 1990) voor de Veerhaven, NIOZ haven en de haven van Oudeschild [14]. De afbeelding levert bevestiging dat de hoeveelheid baggerwerk over de jaren heen sterk kan variëren. Op basis van de gepresenteerde baggerhoeveelheden is berekend dat de verondieping als gevolg van aanslibbing kan oplopen tot enkele decimeters per jaar.



Abbeelding 5.1 Historische baggergegevens Veerhaven, NIOZ haven en haven Oudeschild [14]



De jaarlijkse hoeveelheid baggerspecie die in de gehele Waddenzee wordt gestort is volgens de NEA gemiddeld circa 5,3 miljoen m³ (zie Tabel 5.2, afkomstig van [16]). Dit is afkomstig uit alle Waddenzee havens en de hoofdvaarwegen in de Waddenzee. In deze tabel heeft de hoeveelheid aangeduid als "max. baggerstort marine havens" betrekking op de haven van Den Helder waarvan de vrijkomende komende bagger in de Texelstroom wordt gestort (in de nabijheid van de Prins Hendrikzanddijk) De maximaal hoeveelheid bedraagt hier 1.500.000 m³ per jaar.

Tabel 5.1 Maximale baggerinspanning havens op Texel in de nabijheid van de Prins Hendrikzanddijk

haven	baggermethode	baggervolume (x10 ³ m ³)	frequentie	soort specie
Gemeentelijke haven Oude Schild (inclusief toegangsgeul)	divers (injectie/ploegen/agiteren/ploegen/sleephopper/kraanschip+ponton)	85 (45, periode 1981-1990)	jaarlijks (8 weken per jaar)	zanderig slib
Jachthaven Oude Schild	divers (ploegen/sleephopper)	10	1 per 7 jaar	
Veerhaven Texel (inclusief toegangsgeul)	divers (injectie/ploegen/agiteren/ploegen/sleephopper/kraanschip+ponton)	40 (8,5, periode 2010-2013) (25, periode 1981-1990)	jaarlijks (4 weken per jaar)	zanderig slib
NIOZ haven	divers (injectie/ploegen/agiteren/ploegen/sleephopper)	55 (8, periode 1981-1990)	1 per 2 jaar	



haven	baggermethode	baggervolume (x10 ³ m ³)	frequentie	soort specie
	egen/sleephopper)			
Mokbaai	Sleephopper	50 (37, periode 2007-2012 [15])	5 weken per jaar	

N.B.: De werkelijke baggerhoeveelheden voor zover beschikbaar staan weergegeven tussen haakjes (in 1.000 m³ per jaar).

Tabel 5.2 Baggerbezwaar voor de Waddenzee [15]

locaties	hoeveelheid baggerspecie (m ³ /jr)
Havens	4.100.000
Veerverbindingen en hoofdvaarwegennet	1.600.000
Totaal	5.700.000
Zand aan wal gebracht	400.000
Gestort in Waddenzee	5.300.000
Max. baggerstort marine havens	1.500.000

De aanslibbing in de havens en het uit te voeren baggerwerk wordt, naast de natuurlijke sedimentatieprocessen en morfologische omstandigheden, in hoge mate bepaald door (extreme) weersomstandigheden. Dat heeft als consequentie dat stormen een substantiële bijdrage kunnen leveren in de totale jaarlijkse aanslibbing van de havens (factor 5 à 10).

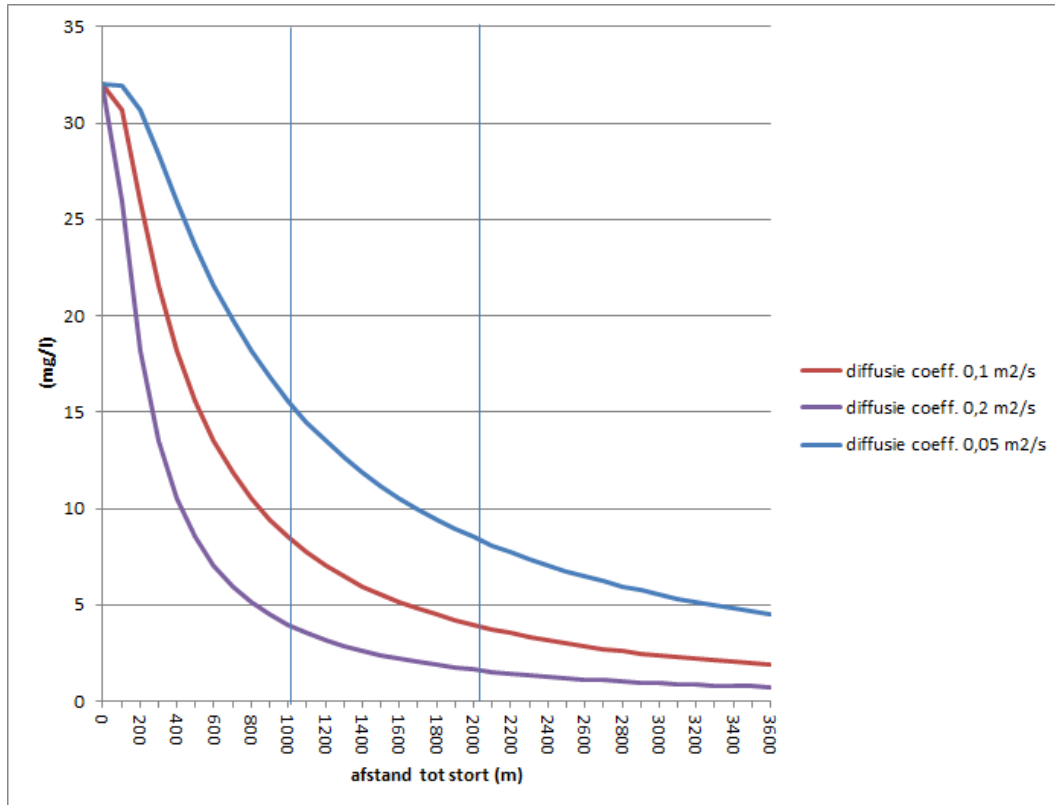
5.2 Aanleg en instandhouding Prins Hendrikzanddijk

Om te onderzoeken wat het effect is van de vrijkomende hoeveelheid slib tijdens de aanleg van de Prins Hendrikzanddijk op de aanslibbing van de havens wordt gekeken naar de verspreiding van het slib op de schaal van een getijperiode. Hierbij is gebruik gemaakt van de dispersiemodel voor een opgeloste stof die wordt meegevoerd met de stroming (zie Bijlage 3 voor de vergelijkingen).

Wanneer wordt uitgegaan van een over het getij gemiddelde stroomsnelheid van 1 m/s (\approx 2 knopen) bij een breedte van 20 m waarmee het stort in de Texelstroom stroomt en een diepte van 5 m bedraagt de initiële concentratie van het geloosde slib 32 mg/l (suspensie vracht = 3,15 kg/s = $136 \times 10^3 / 12 / 3600$ kg/s; debiet = $5 \times 1 \times 20 = 100$ m³/s).



Afbeelding 5.2 Verloop maximale concentratie (c_{\max}) als functie van de afstand tot de stortlocatie



In afbeelding 5.2 wordt het verloop van de maximale concentratie (c_{\max}) in het hart van de pluim weergegeven. Voor de initiële diffusiecoëfficiënt is een waarde van $0,1 \text{ m}^2/\text{s}$ gebruikt. Deze waarde geldt als representatief voor een initiële lengte van orde 10 à 100 m (= de initiële breedte van de stort waar het slib in de Waddenzee wordt geloosd, zie bijlage 3). Op basis van de uitgevoerde berekening is de conclusie dat er een sterke verspreiding van het slib plaatsvindt in de Texelstroom. De maximale concentratie in het hart van de pluim bedraagt circa $8,5 \text{ mg/l}$ op 1,0 km, circa $5,5 \text{ mg/l}$ op 1,5 km en circa 4 mg/l op 2 km. Hierbij is uitgegaan dat er geen slib door uitzakking en aanslibbing uit de waterkolom verdwijnt. De vermelde concentraties komen bovenop de natuurlijke achtergrond concentraties van het slib (zie §4.1).

Een soortgelijke berekening bij een diepte van 10 m leidt tot een halvering van de betreffende concentraties. Ter vergelijking is ook het verloop van de slibconcentratie weergegeven voor een initiële diffusiecoëfficiënt van $0,2 \text{ m}^2/\text{s}$ en $0,05 \text{ m}^2/\text{s}$ (factor 2 verschil). Hieruit blijkt dat de diffusiecoëfficiënt een relatief grote invloed heeft op het verloop van de slibconcentratie.

Voor de extra aanslibbing in de havens is de toename van de slibconcentratie ter plaatse van de havenmond bepalend. Voor de lokale slibconcentratie wordt de afstand van de verschillende havens tot het lozingspunt als maatgevende parameter aangehouden. Daarbij wordt het



lozingspunt ongeveer halverwege de Prins Hendrikzanddijk verondersteld.⁵ Bij bepaling van de slibconcentratie is uitgegaan van de middelwaarde van de diffusiecoëfficiënt ($k=0,1 \text{ m}^2/\text{s}$). In tabel 5.3 wordt per haven de op basis hiervan berekende toename van de slibconcentratie weergegeven.

Procentueel gezien lijkt dit een sterke toename maar daarbij moet wel bedacht worden dat ook de jaargemiddelde en de momentane slibconcentraties in de Waddenzee van nature ook sterk kunnen variëren (zie afbeelding 10).

Tabel 5.3 Toename slibconcentratie per haven als functie van de afstand

haven	afstand tot lozingspunt (km)	toename concentratie (mg/l)			toename winter (%)	toename zomer (%)
		k=0,2	k=0,1	k=0,05		
NIOZ	1,0	4,0	8,5	16	17	28
Veerhaven	2,5	1,2	3,0	7	6	10
Mokbaai	3,0	0,9	2,4	6	5	8
Oudeschild	4,0	0,6	1,6	4	3	5

In tabel 5.4 is nagegaan wat de toename van de slibconcentraties betekent voor de aanslibbing van de havens. Hierbij is uitgegaan van een nat oppervlak van 1 m^2 , een getijslag (verschil tussen hoog- en laagwater) van 1,5 m en een waterdiepte van 5 m. Er is aangenomen dat de totale slibvracht die per getij vanaf de Waddenzee in de waterkolom wordt aangevoerd uitzakt naar de bodem. Bij de berekening is uitgegaan van de toename van de slibconcentratie zoals weergegeven in tabel 4 met $k=0,1 \text{ m}^2/\text{s}$. Als achtergrondconcentratie is de voor de Waddenzee langjarige gemiddelde slibconcentratie van 80 mg/l toegepast.⁶ De aanslibbing is op basis van 1 jaar berekend (= 706 getijden). Voor de duur van de uitvoering van de Prins Hendrikzanddijk is uitgegaan van 5 maanden (294 getijden). Voor de dichtheid van het slib is $1300 \text{ kg}/\text{m}^3$ aangehouden. De concentratie van 80 mg/l veroorzaakt een aanslibbing van 0,07 m op jaarbasis (= $1,5 * 80 \text{ mg}/\text{l} = 0,12 \text{ kg}/\text{getij} * 706 \text{ getijden} = 84,7 \text{ kg}/1300 \text{ kg}/\text{m}^3 = 0,0652 \text{ m}$).

Tabel 5.4 Toename aanslibbing per jaar gedurende aanleg Prins Hendrikzanddijk

haven	toename concentratie tijdens aanleg (mg/l)	aanslibbing (m)	toename
NIOZ	8,5	0.0681	4,4%
Veerhaven	3,0	0.0662	1,6%
Mokbaai	2,4	0.0660	1,3%
Oudeschild	1,6	0.0657	0,8%

Uit tabel 5.4 kan geconcludeerd worden dat de toename van de aanslibbing varieert tussen 1% en 5%. De grootste toename van 5% heeft betrekking op de NIOZ haven. Voor de overige havens ligt

⁵ In werkelijkheid varieert de positie van het lozingspunt langs de Prins Hendrikzanddijk, afhankelijk van de voortgang van het werk en de plek van het spuitfront.

⁶ Voor de berekening van de aanslibbing heeft het geen zin om onderscheid te maken tussen zomer en winter omdat de relatieve verhoging niet van belang is, alleen de absolute toename telt.



de toename van de aanslibbing substantieel lager. In alle gevallen, zowel met als zonder Prins Hendrikzanddijk, is de berekende aanslibbing in de orde van 0,1 m/j. Deze aanslibbing is betrekkelijk laag in vergelijking met de in het verleden waargenomen aanslibbing voor de verschillende havens en de jaarlijkse variatie (zie §6.1 en [14]). Zeker als bedacht wordt dat de huidige berekening is gebaseerd op een conservatief uitgangspunt waarbij verondersteld is dat de totale hoeveelheid slib bezinkt. Indirect is dit ook een bevestiging dat stormen een substantiële bijdrage leveren aan de totale jaarlijkse aanslibbing van de havens.

Vanwege de verwachte erosie wordt de Prins Hendrikzanddijk met behulp van periodieke zandsuppleties onderhouden om het veiligheidsduin in stand te houden. Voor het onderhoud van de Prins Hendrikzanddijk wordt uitgegaan van een onderhoudsinterval van minimaal 10 jaar. Een globale inschatting is gemaakt, dat de totale erosie van de Prins Hendrikzanddijk circa 20.000 m³ (bandbreedte: - 50 % tot + 100 %) per jaar bedraagt (zie [12]). De omvang van de uit te voeren zandsuppleties voor een periode van 10 jaar bedraagt dan circa 200.000 m³. Deze hoeveelheid is substantieel minder dan de hoeveelheid die gemoeid is met de initiële aanleg van de Prins Hendrikzanddijk. De periodieke zandsuppleties worden op dezelfde wijze uitgevoerd als bij de aanleg van de Prins Hendrikzanddijk. De hoeveelheid slib die hierdoor in het systeem van de Waddenzee vrijkomt is dus een fractie van de hoeveelheid slib bij aanleg. Een risico voor extra aanslibbing van de havens als gevolg van het periodieke onderhoud aan de Prins Hendrikzanddijk met zandsuppleties is dus niet aan de orde.



6 Stabiliteit geulwandbestorting

6.1 Bestaande situatie

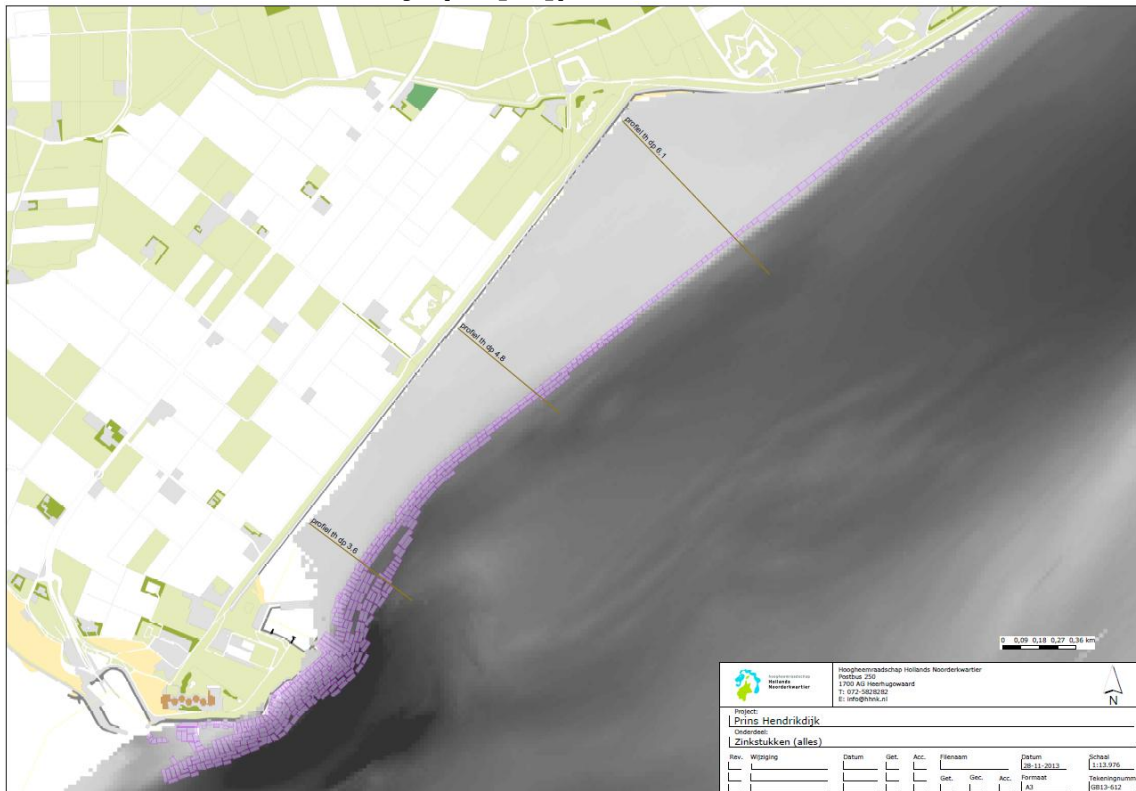
Door het in de loop der tijd landwaarts opdringen van de Texelstroom, heeft het 't Horntje steeds meer een vooruitgeschoven positie gekregen waardoor het als een soort bolwerk is gaan fungeren. De toegenomen snelheden tijdens eb hebben eveneens geleid tot een versterking van de wervelstraten. Dit bevorderde het ontstaan van een erosieput ter plaatse van het 't Horntje. Teneinde een verdere verdieping van deze put te voorkomen werd in de periode 1959-1965 een steenbestorting aangelegd. Verdere uitbreiding van de bestorting in de periode hierna heeft ervoor gezorgd dat de verdieping praktisch tot stilstand is gebracht. Hiermee kon echter niet worden voorkomen dat de erosiekuil zich uitbreidde in noordoostelijke richting. Dit heeft in het verleden op een aantal plaatsen geleid tot oevervallen. De bestorting is daarom verder uitgebreid naarmate nieuwe verdiepingen het noodzakelijk maakten om een verslechtering van de situatie te voorkomen. Momenteel is nagenoeg langs de gehele vooroever van de Prins Hendrikdijk een steenbestorting langs de geulwand aanwezig (afbeelding 6.1).

Oorspronkelijk was Rijkswaterstaat verantwoordelijk voor het beheer en onderhoud van deze bestorting. Conform de huidige overdrachtsovereenkomst is het beheer inmiddels van de geulwandbestorting overgedragen aan Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.⁷

⁷ Bron: Overeenkomst Staat der Nederlanden – Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier betreffende de overdracht van het onderhoud van de voorlanddijken en de waterstaatswerken ten behoeve van de kustlijn­zorg in de gemeente Texel. Besluit College van hoofdingel­anden Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier 15 maart 2006, nr. 06.921. Deze situatie wijzigt in de toekomst niet.



Abbeelding 6.1 Overzicht bestorting geulwand Texelstroom ter hoogte van de Prins Hendrikzanddijk (uit [17])



6.2 Aanwezigheid Prins Hendrikzanddijk

Het grootschalige stromings- en zandtransportpatroon ter plaatse van de Prins Hendrikzanddijk blijft nagenoeg ongewijzigd. Er is geen verhoogd risico met betrekking tot de hydraulische stabiliteit van de geulwandbestorting als gevolg van de aanleg van Prins Hendrikzanddijk. Daarnaast is door Witteveen+Bos voor het ontwerp van de Prins Hendrikzanddijk uit de verkenningsfase een controle uitgevoerd naar de geotechnische stabiliteit en het risico op zettingsvloeiing [18]. Hieruit blijkt dat de zanddijk van de Prins Hendrikzanddijk een kleinere faalkans heeft dan de toelaatbare faalkans op basis van de wettelijke veiligheidsnorm van de dijkring. De strandhaak is nog wel een aandachtspunt bij het ontwerp van de Prins Hendrikzanddijk. Bij een afstand van ongeveer 50 m van de geulrand tot de teen van de strandhaak is er een kans op zettingsvloeiing van 1/800 p.j. met een inscharing tot voorbij de teen van de strandhaak. Uitgaande van een levensduur van 25 jaar is er dus een kans van circa 3% op afschuiving. Omdat de natuurzone geen rol speelt voor de vergelijkbaar is dit percentage aanvaardbaar. Door de afstand van het eiland tot de geulrand te vergroten kan de faalkans verder worden verkleind.

Het hoogheemraadschap geeft de aannemer als randvoorwaarde mee dat de aanwezigheid van de Prins Hendrikzanddijk geen negatief effect mag hebben op de stabiliteit van de geulwand en de aanwezige bestorting (dit betreft dan zowel de geotechnische als hydraulische stabiliteit).



6.3 Aanleg en instandhouding Prins Hendrikzanddijk

De aannemer dient daarnaast tijdens de aanleg en het onderhoud van de Prins Hendrikzanddijk zorg te dragen dat de Prins Hendrikzanddijk geen negatief effect heeft op de stabiliteit van de geulwandbestorting.



7 Afwatering gemalen

7.1 Bestaande situatie

Twee gemalen bevinden zich in het plangebied. Het Prins Hendrikgemaal is gelegen in sectie 9 en gemaal de Schans ligt in sectie 8. Gemaal Prins Hendrik bevindt zich in het midden van het plangebied (zie afbeelding 1.1). Gemaal De Schans ligt net ten noordoosten van de Prins Hendrikzanddijk, ter hoogte van sectie 8. Het Prins Hendrikgemaal wordt vervangen voordat de realisatie van de Prins Hendrikzanddijk plaatsvindt. Gemaal De Schans wordt in 2017, 2018 of 2019 vervangen.

7.2 Aanwezigheid, aanleg en instandhouding Prins Hendrikzanddijk

Beide gemalen wateren in de toekomstige situatie af op het gebied waar de Prins Hendrikzanddijk wordt gerealiseerd. De uitstroomconstructies van de gemalen (de gemalen die voor aanvang van de Prins Hendrikzanddijk worden vervangen) worden dusdanig aangepast dat ook na realisatie van de Prins Hendrikzanddijk de gemalen hun functie kunnen vervullen. Dit betekent dat de uitstroomleiding van het Prins Hendrikgemaal wordt verlengd, waarbij de verlengde uitstroomconstructie kruist met het veiligheidsduin en het voorliggende strand, zodat het gemaal haar water kan blijven uitslaan in de Waddenzee. Het gemaal De Schans mondt uit in de in de lagune van de Prins Hendrikzanddijk. De uitstroomconstructie van gemaal De Schans wordt aangepast om ervoor te zorgen dat ook dit gemaal haar water onveranderd kan blijven uitslaan in de Waddenzee.



8 Aanslibbing luwe zone

8.1 Inleiding

Afbeelding 1.1 geeft het ontwerp weer van de Prins Hendrikzanddijk. Onderdeel van dit ontwerp zijn de strandhaak en de luwe zone. Door de lage dynamiek aan de luwe zijde van de strandhaak is sprake van aanslibbing. Deze aanslibbing wordt veroorzaakt door de hoeveelheid water dat tijdens een getij wordt uitgewisseld tussen de luwe zone achter de strandhaak en de Waddenzee, en de concentratie aan gesuspendeerd materiaal in de waterkolom. Bij de uitwisseling spelen verschillende mechanismen een rol, namelijk:

- het kombergingsvolume;
- de valsnelheid van het gesuspendeerde materiaal en;
- dichtheidseffecten (zoet-zout verschillen).

Het uitgewisselde volume water is redelijk nauwkeurig te bepalen op basis van de vormgeving en hoogteligging van het gebied. De concentratie van het gesuspendeerd materiaal is echter een probleem, omdat die sterk afhankelijk is van de lokale omstandigheden (tijd en plaats). De hoeveelheid sediment die in het luwe gebied achterblijft hangt daarnaast nog af van de aard van het sediment (zand of slib) en de verblijftijd binnen het gebied (het sediment moet voldoende tijd hebben om uit te zakken). In dit hoofdstuk is middels een berekening een inschatting gemaakt van de aanslibbing die plaatsvindt in de luwe zone en de effecten daarvan.

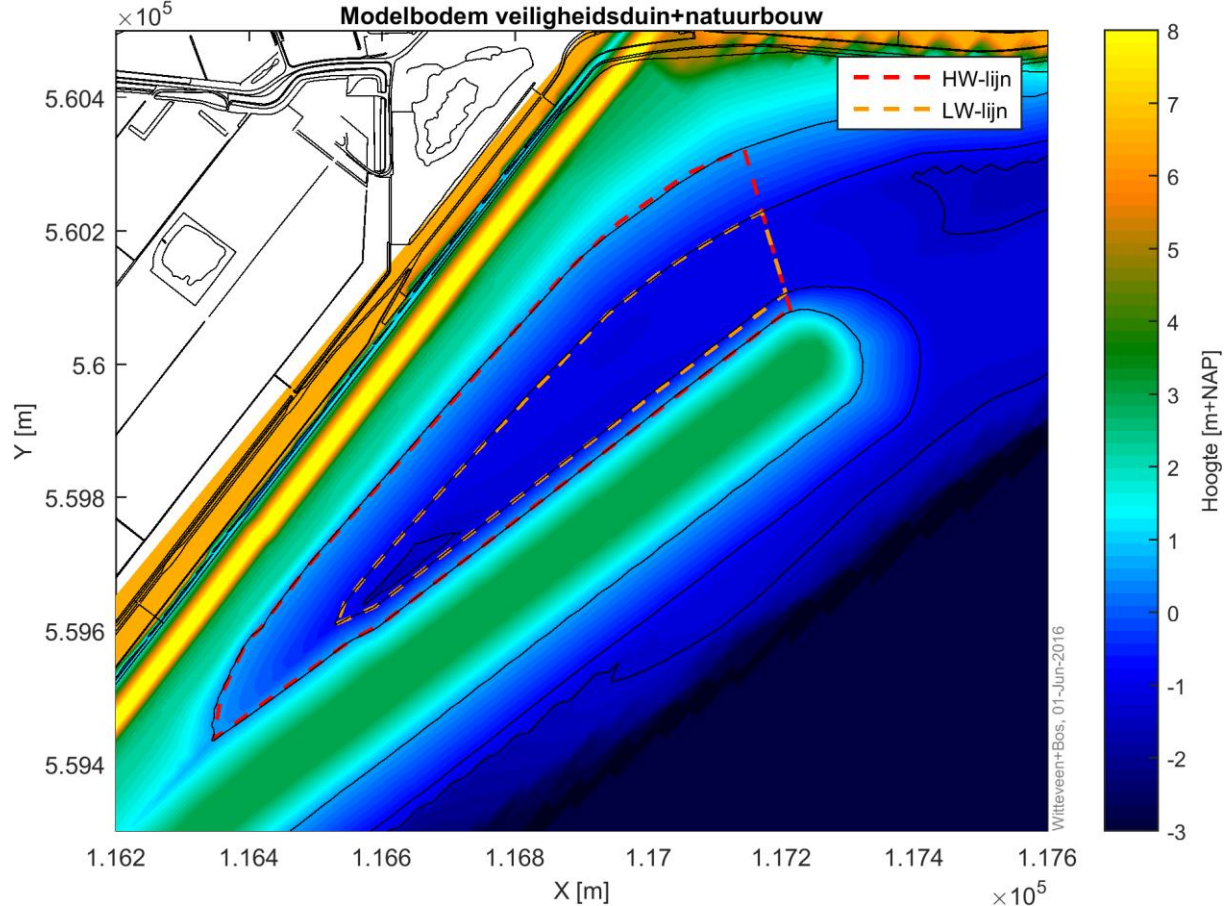
8.2 Uitgangspunten

Onderstaande uitgangspunten zijn gehanteerd voor het maken van de inschatting van de aanslibbing:

- Laag Water LW = -0,78 m+NAP [Ref: waternormalen Oudeschild];
- Hoog Water HW = 0,63 m+NAP [Ref: waternormalen Oudeschild];
- oppervlakte bij HW en LW, zie afbeelding 9.1;
- getijvolume = (oppervlak bij HW + oppervlak bij LW) / 2 * (HW-LW);
- korrelmateriaal: 2500 kg/m³;
- porositeit n=0,5;
- concentratie Waddenzee gemiddeld: 80 mg/l [ref. 20];
- 705 getijden/jaar;
- maximale waterdiepte <2 meter in gehele gebied;
- valsnelheid 0,3-2 mm/s is afhankelijk van de vloggrootte van het slib;
- wanneer materiaal is bezonken, erodeert het niet meer.



Afbeelding 8.1 Oppervlakte bij hoog water en laag water



8.3 Resultaten

De bezinkingsduur bij 2 meter waterdiepte (bovengrens) is als volgt afhankelijk van de valsnelheid:

- 1 mm/s : ca. 15-30 minuten (geval a);
- 0,3 mm/s : 1-2 uur (geval b).

Uitgaande van geval a is het een correcte aanname dat al het sediment dat instroomt met het getij bezinkt. Dat betekent dat de sliblaag aangroeit met ongeveer 5 cm/jaar. In geval b is het mogelijk dat niet al het slib bezinkt, zodat de aangroei iets minder sterk is ongeveer 2-3 cm/jaar. Op basis van deze berekening moet, met inachtneming van de onzekerheden, worden uitgegaan van een aanslibbing van ongeveer 2 - 5 cm/jaar.

8.4 Resumé en effect op habitattypen

De werkelijke aanslibbing is vermoedelijk iets kleiner, omdat een gedeelte van het fijnste materiaal het gebied uit transporteert en omdat het materiaal inklinkt. Desalniettemin zou de (middel)lange



termijn de aanslibbing enig effect kunnen hebben. Zo is de verwachte aanslibbing op basis van bovenstaande resultaten in een periode van 25 jaar tussen de 0,5 m en de 1,25 m ligt.

Deze aanslibbing vindt plaats in de luwe zone achter de strandhaak. Deze luwe zone bestaat (hoofdzakelijk) uit twee habitattypes: H1140A 'Slik- en zandplatengetijdengebied' naar H1330A 'Schorren en zilte graslanden buitendijks'. De aanslibbing vindt feitelijk alleen plaats in het habitatype H1140A 'Slik- en zandplatengetijdengebied'. Deze aanslibbing past echter goed binnen de volgende uitgangspunten die zijn gesteld aan dit habitatype [ref. 12]:

- sedimentsamenstelling: zandig (geen specifieke eisen aan korrelgrootte) met een slibgehalte tussen 2 en 20 %. Sedimentatiesnelheid (opslibbing) < 4 cm per jaar;
- dynamiek: geen grote 'dynamiek' door golven of getijstromen, zodat enig slib kan bezinken en vestiging van schelpdierbanken mogelijk is. Dat is op deze locatie niet kritisch;

Door de aanslibbing vindt mogelijk een beperkte areaalverschuiving plaats. De HW-contour zoals te zien in afbeelding 8.1 kan verschuiven, waardoor areaal van H1140A 'Slik- en zandplatengetijdengebied' naar H1330A 'Schorren en zilte graslanden buitendijks' verschuift. Dit is een verschuiving van het ene 'waardevolle' naar het andere waardevolle habitatype. Netto heeft dit een positief effect op de natuurwaarde, maar op de lange termijn kan wel het minimale areaal H1140A, zoals gedefinieerd in het ontwerp van de Prins Hendrikzanddijk, onder druk komen te staan.



9 Samenvatting en conclusies

Het voorliggende rapport geeft het resultaat van het onderzoek naar de invloed van de Prins Hendrikzanddijk op het watersysteem van de Westelijke Waddenzee en havens. Hierbij is zowel aandacht besteed aan de vormgeving en het ruimtebeslag van het plan, als de aanleg en de instandhouding. Het ontwerp dat in beschouwing is genomen is gebaseerd op het plan dat is opgesteld tijdens de verkenningsfase [1].

Het onderzoek heeft zich gericht op de volgende (abiotische) effecten:

- grootschalige waterbeweging;
- grootschalige zandtransportpatroon en morfologie;
- grootschalig slibtransportpatroon;
- invloed op de aanslibbing van de havens op Texel;
- stabiliteit geulwandbestorting;
- afwatering gemalen;
- aanslibbing luwe zone.

Grootschalige waterbeweging en zandtransporten

Uit het onderzoek blijkt dat zowel de aanwezigheid als de aanleg en het onderhoud van de Prins Hendrikzanddijk geen gevolgen heeft voor de grootschalige waterbeweging en het grootschalig zandtransport-patroon. De grootschalige morfologische ontwikkeling van de westelijke Waddenzee wordt dien ten gevolge niet beïnvloed door de Prins Hendrikzanddijk. Dit wordt bevestigd door het morfologisch onderzoek dat najaar 2014 is uitgevoerd naar de Prins Hendrikzanddijk door Witteveen+Bos [6].

Grootschalig slibtransporten

De Prins Hendrikzanddijk heeft eveneens geen invloed op het grootschalig slibtransport. De hoeveelheid slib die zich in de loop der tijd afzet ter plaatse van de natuurbouw is verwaarloosbaar in vergelijking met de hoeveelheid slib die een rol speelt in de grootschalige slibhuishouding van de Waddenzee. Het zand dat voor de aanleg en het onderhoud van de Prins Hendrikzanddijk wordt gebruikt bevat weliswaar een zekere hoeveelheid slib. Dit slib komt in het systeem van de Waddenzee terecht tijdens de aanleg van de Prins Hendrikzanddijk. De hoeveelheden zijn echter gering ten opzichte van de hoeveelheid slib die van nature een rol speelt bij de grootschalige slibhuishouding van de Waddenzee. Een berekening toont aan dat de toename van de slibconcentratie tijdens de aanleg en het onderhoud in het niet valt ten opzichte van de natuurlijke achtergrond concentratie van het slib en de variatie die daarbij optreedt als gevolg van de natuurlijk dynamiek in de Waddenzee.

Aanslibbing havens

De aanleg van de Prins Hendrikzanddijk zorgt op lokale schaal wel voor een toename van het slibgehalte. Dit zou van invloed kunnen zijn op de aanslibbing van de havens in de omgeving van de Prins Hendrikzanddijk. Er is hiervoor een berekening uitgevoerd waarin de aanslibbing is berekend op basis van de langjarig gemiddelde slibconcentratie in de Waddenzee. De berekening toont aan dat er sprake is van een sterke verspreiding van het slib van de Prins Hendrikzanddijk in de Texelstroom. Het blijkt dat de hoeveelheid slib die vrijkomt bij de aanleg van de Prins



Hendrikzanddijk een marginaal effect heeft op de aanslibbing. De toename van de aanslibbing varieert tussen 1% en 5%. De grootste toename van 5% heeft betrekking op de NIOZ haven. Voor de overige havens ligt de toename substantieel lager. Zowel met als zonder Prins Hendrikzanddijk is de berekende aanslibbing in de orde van 0,1 m/j. Deze aanslibbing is betrekkelijk laag in vergelijking met de werkelijke baggercijfers.

Stabiliteit geulwand Texelstroom en functioneren gemalen

Dit betreft zowel de geotechnische als hydraulische stabiliteit van de geulwand van de Texelstroom. Uit een voorlopige analyse blijkt dat er geen risico bestaat dat de Prins Hendrikzanddijk een negatieve invloed heeft op de geotechnisch stabiliteit en de bestorting. Om alle risico's uit te sluiten wordt aan de aannemer de eis gesteld dat de Prins Hendrikzanddijk inclusief de uitstroomconstructie van de gemalen geen negatief effect mag hebben op de stabiliteit van de geulwandbestorting. Hetzelfde geldt voor het functioneren van de het Prins Hendrikgemaal en gemaal De Schans.

Aanslibbing luwe zone

Op basis van een berekening is ingeschat dat de aanslibbing van de luwe zone (habitat H1140A 'Slik- en zandplatengetijdengebied') achter de strandhaak ongeveer 2 - 5 cm/jaar bedraagt. Deze aanslibbing past goed bij de gestelde uitgangspunten die zijn gesteld aan dit habitatype.



10 Literatuur

1. Planstudie dijkversterking Waddenzeedijk Texel, zandige oplossing Prins Hendrikpolder, Witteveen+Bos, 22 september 2011.
2. Projectplan, Prins Hendrikzanddijk, Witteveen+Bos, 5 oktober 2016. EDM70-19-305-16-016.677, definitief 02.
3. Rijkswaterstaat, Studiedienst Hoorn, De onderzeese oeverbescherming van de zuidoostkust van Texel, Nota 72.6, december 1972.
4. Oost, A.P. en P.A.H. Kleine Punte, Autonome morfologie ontwikkeling westelijke Waddenzee; een doorkijk naar de toekomst, RIKZ rapport 2004.021, 2004.
5. Meegroeiervormen en Grootschalige morfologische ontwikkelingen westelijke Waddenzee gebruiksruimte in de getijddebekken Vlie en Marsdiep, Alkyon, A2062rR3r5, juli 2010.
6. Morfologische studie Prins Hendrikzanddijk, EDM70-19/15-000.203, Witteveen+Bos, januari 2015.
7. Sips, H. en Leeuw, de C., Natuurherstelplan Waddenzee, Bouwsteen 1: Wadbodem en waterkolom.
8. Effecten van storten baggerspecie in het Marsdiep, Imares, C084/06, 2006.
9. Luca van Duren en Bert van der Valk, Basisdocument werkconferentie Helder over Slib, 1203042-000, Deltares, 2010.
10. Bodemdalingstudie Waddenzee, Vragen en onzekerheden opnieuw beschouwd, Rapport RIKZ/2004.025, 14 juni 2004.
11. Morphodynamics of Texel Inlet, Edwin Elias, proefschrift Technische Universiteit Delft, oktober 2006.
12. Morfologische studie ontwerp Strandhaak Prins Hendrikzanddijk, EDM70-19-140/16-014.609, Witteveen+Bos, 1 september 2016.
13. Passende beoordeling voor het baggeren en verspreiden van baggerspecie in de Waddenzee, 12 mei 2011. Gedownload met link:
http://www.waddenzee.nl/fileadmin/content/Dossiers/Natuur_en_Landschap/pdf/PB_Baggerwerken_Waddenzee_12_mei_2011.pdf
14. Aanslibbing van de havens in de Waddenzee, project 865, december 1991, 865/91.12.20
15. Passende Beoordeling, baggeren in de Nieuwe Haven en de Mokbaai, en baggerstort in het Marsdiep, Rapport C204/13, IMARES Wageningen UR.



Pagina

38 van 51

Datum

5 oktober 2016

16. Jonker, S.I. en B.J.H. Koolstra, Nadere effectanalyse Natura 2000-gebieden Waddenzee en Noordzeekustzone, kader baggeren, ARCADIS rapport 07538575:B.
17. Besluit over dijk in duin Texel ZOP, interne memo Henk van Hemert, 7 januari 2014.
18. Zandige oplossing Prins Hendrikpolder, controle geotechnische stabiliteit, Witteveen+Bos, 22 september 2011.
19. Bodemkaart van Nederland, blad Texel, Stichting Bodemkartering, uitgave 1986.
20. Natuurherstelplan Waddenzee, Bouwsteen thema 1: Wadbodem en waterkolom.



Bijlage I Bespreking situatie per haven



In deze bijlage volgt een bespreking van de situatie van de havens van Oude Schild, NIOZ, de Veerhaven en de Mokbaai. Deze havens zijn in de directe nabijheid van de projectlocatie van de Prins Hendrikzanddijk gesitueerd, als gevolg waarvan de aanslibbing in deze havens kan toenemen door de aanleg van de Prins Hendrikzanddijk. De historische baggergegevens voor de periode 1960-1990 voor de bovengenoemde havens staan weergegeven in de onderstaande tabel.

Tabel I.1 Historische baggergegevens havens op Texel (1960-1990)

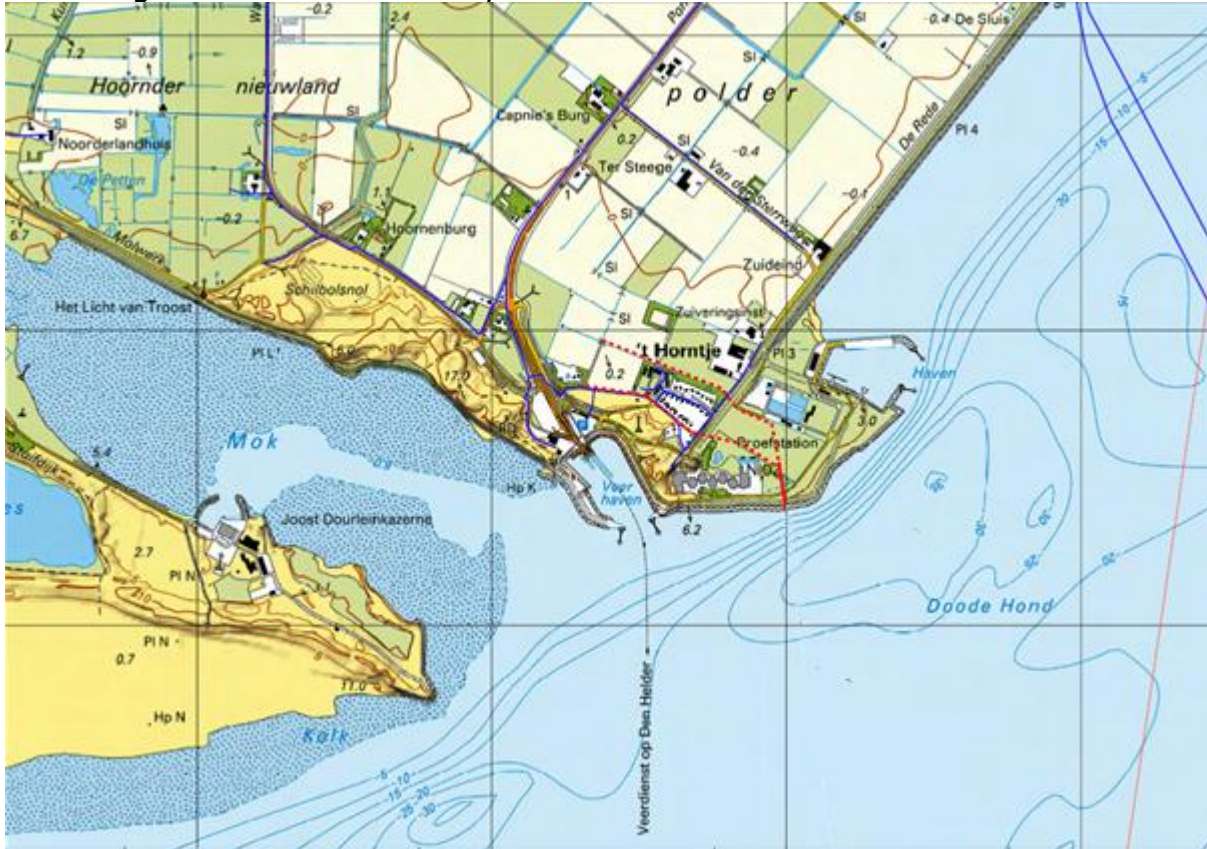
Jaar	Veerhaven (geul) in profiel [m3]	Veerhaven (haven) in profiel [m3]	Oude Schild (geul) in profiel [m3]	Oude Schild (haven) in profiel [m3]	NIOZ haven in profiel [m3]	Totaal (geul en havens) [m3]	Totaal (alleen havens) [m3]
1960	—	—	13000	2000	—	15000	2000
1961	—	—	17900	2000	—	19900	2000
1962	—	—	0	0	—	0	0
1963	0	0	24370	1290	—	25660	1290
1964	0	0	0	0	0	0	0
1965	0	0	12378	4192	0	16570	4192
1966	49680	13331	0	0	0	63011	13331
1967	0	0	28380	5690	0	34070	5690
1968	0	0	0	0	0	0	0
1969	0	0	29014	5648	0	34662	5648
1970	31657	42580	39954	4491	44010	162692	91081
1971	0	0	0	0	0	0	0
1972	0	0	21192	5101	0	26293	5101
1973	22254	32428	32574	5568	18217	111041	56213
1974	0	0	0	0	0	0	0
1975	0	0	43382	8980	0	52362	8980
1976	36459	28831	0	0	27362	92652	56193
1977	0	0	34400	26881	0	61281	26881
1978	0	0	0	0	0	0	0
1979	36735	24273	43886	18328	24181	147403	66782
1980	0	0	43487	0	0	43487	0
1981	0	0	0	0	0	0	0
1982	50000	14000	68800	0	30978	163778	44978
1983	0	0	60000	17500	0	77500	17500
1984	0	0	0	1900	0	1900	1900
1985	60000	21000	60000	26000	27000	194000	74000
1986	0	2500	0	0	0	2500	2500
1987	46000	9400	60000	23000	0	138400	32400
1988	0	0	62400	0	0	62400	0
1989	0	0	15000	31600	20000	66600	51600
1990	15000	29600	15000	6500	0	66100	36100
1991	46000	24000	50000	16000	nvt	136000	40000
Totaal	393785	241943	775117	212669	191748	1815262	646360
Gem. tot	12306	7561	24222	6646	5992	56727	20199
'63-'72	8134	5591	15529	2641	4401	36296	12633
'72-'81	9545	8553	21892	6486	6976	53452	22015
'81-'90	17100	7650	34120	10650	7798	77318	26098

Opmerkingen:

- Alle baggerwerkzaamheden in de havens van Texel vallen onder beheer van RWS Directie Noord-Holland: de hoeveelheden zijn alle in profiel
- De veerhaven 't Horntje: Deze haven is in 1963 aangelegd.
- De haven Oude Schild: Deze haven dateert uit het einde van de 18e eeuw (Zuiderhaven) In de 19e eeuw is de Noorderhaven aangelegd; de Werkhaven dateert uit 1973 (Het kombergend oppervlak was dus voor 1973 veel kleiner: ca 22100 m3) In de 1985 is de jachthaven aangelegd en heeft de komberging zijn huidige niveau
- De NIOZ haven: In 1964 is deze haven aangelegd in een open vorm (twee open ingangen naar zee: van komberging is hier dus geen sprake) In 1991 is de open achterzijde dicht gemaakt en is de vorm veranderd (vanaf dit tijdstip dus wel komberging)
- De Mokbaai is in dit overzicht buiten beschouwing gebleven omdat het gebaggerde materiaal voornamelijk uit zand bestaat



Abbeelding I.1. Situatie NIOZ haven, Veerhaven en Mokbaai



NIOZ haven

De NIOZ haven is gelegen aan de Texelstroom direct ten noordoosten van het 't Horntje. De haven grenst direct aan het gebied waar de Prins Hendrikzanddijk wordt gerealiseerd. De haven is sinds kort eigendom van de gemeente Texel, die het voor 50 jaar in erfpacht aan het NIOZ verhuurt.

In een studie door Rijkswaterstaat uit 1979 [6] staat vermeld dat *"de haven met slib sedimenteert behoudens net onder de noordoostelijke havendamkop waar aanzanding plaatsvindt. De aanslibbing wordt veroorzaakt door slibhoudend water. De zandige sedimentatie in de havenmond wordt waarschijnlijk veroorzaakt door zandtransport langs de havenmond."* Opgemerkt wordt dat de situatie zoals beschreven betrekking heeft op de oude configuratie van de NIOZ haven, waarbij de haven nog in open verbinding stond met het achterliggende slikgebied.

Mokbaai

De Mokbaai is een inham tussen de Hors en de zuidelijke polders van Texel. Een groot deel van de baai valt droog bij laag water. Er liggen kwelders aan de westkant en aan de oostkant, achter het militaire oefenkamp van de Joost Dourleinkazerne.

Het onderhoudsbaggeren van de Mokbaai te Texel vindt al vele decennia lang plaats (betreft de Mokhaven, behorende bij de Joost Dourleinkazerne, inclusief de vaargeul vanuit het Marsdiep naar de Mokhaven, de zwaikom en het haventje Joost Dourleinkazerne).



In het verleden is in de Mokbaai intensief gebaggerd om de kom voor de haven van de Joost Dourleinkazerne op diepte te houden maar kwantitatieve gegevens hierover zijn niet meer beschikbaar. In de jaren na de Tweede Wereldoorlog hebben de baggerwerkzaamheden zich beperkt tot het op diepte houden van de vaargeul naar de haven van de huidige Joost Dourleinkazerne. Als gevolg van deze verminderde baggeractiviteit is de voormalige kom geleidelijk aan dichtgeslibd, een ontwikkeling die met name goed merkbaar werd in de jaren '80 en '90. In 1995 is er voor het laatst kapitaalbaggerwerk (baggerwerk dat wordt uitgevoerd voor de verruiming, voor het aanleggen, verdiepen en verbreden van havens en vaargeulen) uitgevoerd en zijn de havenkom en de vaargeul op diepte gebracht. Sinds die tijd is er sprake van onderhoudsbaggerwerk.

In de periode 2007 t/m 2012 is er jaarlijks gemiddeld 37.000 m³ uit de vaargeul en havenkom verwijderd. De werkzaamheden worden uitgevoerd met traditionele middelen (met name een sleephopperzuiger en een ploegboot). De baggerspecie wordt gestort vanuit het baggerschip op de stortlocaties in de Texelstroom.

De volgende tabellen geven een overzicht van de baggerhoeveelheden zoals in het verleden zijn uitgevoerd.

Tabel I.2 Bekende (gemiddelde) baggerhoeveelheden in de periode 1995-2012 (gegevens DGW&T Utrecht)

Jaar	Baggerhoeveelheid (m ³)	Gem. baggerhoeveelheid (m ³ /jaar)
1995	262.665	
1996	7.852	
1997	42.280	
1998	41.676	
2001 t/m 2012		40.282
2007 t/m 2012		31.739

Tabel I.3 Gebaggerde hoeveelheden (m³) uit de Mokbaai over de periode 2007 t/m 2012

2007	2008	2009	2010	2011	2012	Gemiddeld (2007-2012)
60.318	24.570	0	65.076	35.032	5.436	31.709

Een eenvoudige berekening van de sedimentbalans van de Mokbaai maakt duidelijk dat de baggerinspanning aanzienlijk is. Ieder tij gaat er een hoeveelheid water de Mokbaai in en weer uit, het zogenaamde getijprisma. Het getijprisma bedraagt met springtij ongeveer 1,8 miljoen m³ en met doortij 1,3 miljoen m³. Gemiddeld is het getijprisma van de Mokbaai zo'n 1,6 miljoen m³.

In de winter zijn er in het algemeen gemiddeld hogere concentraties zwevend slib dan in de zomer en tijdens stormen kunnen er piekconcentraties optreden. Verder is het zo dat de concentratie aan de bodem hoger is dan aan het wateroppervlak. Uit gegevens van Rijkswaterstaat gemeten 1 m onder het wateroppervlak blijkt dat de jaargemiddelde concentratie van sediment in het water van



Pagina
43 van 51

Datum
5 oktober 2016

het Marsdiep zo'n 40 g/m^3 is over de periode 2007-2012. Ieder tij bevat dus maximaal 1,6 miljoen $\text{m}^3 \times 40 \text{ g/m}^3 = 64.000 \text{ kg}$ sediment. Jaarlijks zijn er circa 706 tijen dus gaat er jaarlijks maximaal 45 miljoen kg sediment de Mokbaai in en uit, wat in potentie kan bezinken in het gebied.

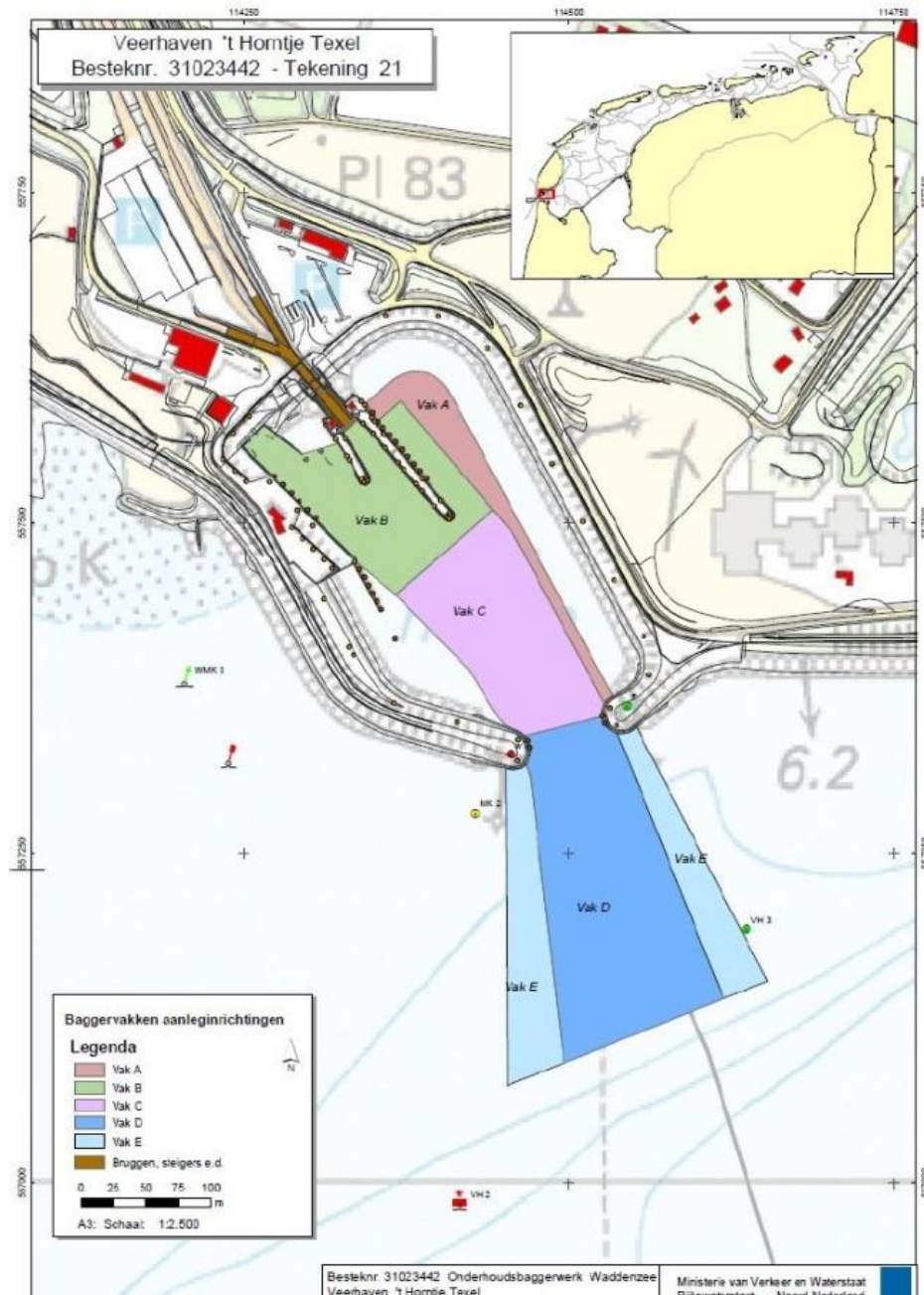
Het gebaggerde sediment bestaat uit een mengsel van zand, slib en water. Het percentage droge stof is 48% en de dichtheid van droge stof is 2.500 kg/m^3 . Uitgaande van een jaarlijks gemiddeld hoeveelheid van 37.000 m^3 komt dat overeen met 44 miljoen kg sediment ($=37.000 \text{ m}^3 \times 0,48 \times 2.500 \text{ kg/m}^3$).

Veerhaven Texel (Notitie Lisa Gordeau, RWS Noord Nederland, 5.11.2014)

Rijkswaterstaat Noord-Nederland is verantwoordelijk voor de baggerwerkzaamheden in de toegangseul naar en de veerhaven van Texel. De veerhaven van Texel en de toegangseul worden gepeild in opdracht van RWS.



Afbeelding I.2. Veerhaven 't Horntje



De baggerhoeveelheden van de laatste 5 tot 6 jaar worden voldoende representatief en geschikt geacht voor de bepaling van een gemiddelde jaarlijkse baggerhoeveelheid voor de veerhaven en toegangsgeul van Texel 't Horntje. De gegevens zijn weliswaar te beperkt om een duidelijke trend te kunnen vaststellen, maar er is ook geen aanleiding om een trend te hanteren. Uit cijfers van de nabijgelegen waddenhavens (Afsluitdijk) blijkt dat het 5-jarig gemiddelde redelijk stabiel is. Voor deze havens wordt het gemiddelde van de laatste 5 jaar door RWS gebruikt als prognose. Er is geen reden om dit voor Texel 't Horntje anders te doen.



Tabel I.4 Baggerhoeveelheden Veerhaven Texel (toegangsgeul en veerhaven) 2003-2013

jaar	hoeveelheid m ³
2008	8.850
2009	Alleen geploegd
2010	11.787
2011	7.750
2012	7.950
2013	6.500
gemiddeld	circa 7500

Tabel I.5 Eisen in het prestatiebestek baggerwerkzaamheden voor de veerhaven Texel, dieptes in meters t.o.v. NAP

vak	deel	min. diepte	max diepte
A*2	Veerhaven	-4,00 m	-7,00 m
B	Veerhaven	-6,00 m	-6,30 m
C	Veerhaven	-6,50 m	-7,00 m
D	Veerhaven	-7,00 m	-8,00 m
E	Veerhaven	0,00 m	-7,50 m

Voor de indeling van de vakken zie tekening onderaan.

De veerhaven van Texel (inclusief toegangsgeul) worden gepeild in opdracht van RWS. Deze lodingsdata zijn vrij beschikbaar voor het hoogheemraadschap.

Haven Oudeschild

De haven van Oudeschild is de thuisbasis van de Texelse vissersvloot. In de weekends liggen deze in de vissershaven afgemeerd. Daarnaast is er Waddenhaven Texel, een kwalitatief uitstekende jachthaven voor de pleziervaart. De haven heeft een verenigings- en passantenhaven (o.a. in het PEN-bassin). De economische betekenis van de haven strekt verder. De vele toeristen die op het eiland verblijven, komen er graag een kijkje nemen en zorgen voor extra bestedingen.

De haven van Oudeschild is gesitueerd op een afstand van circa 2,5 km vanaf de projectlocatie van de Prins Hendrikzanddijk. De haven is door een toegangsgeul met de Texelstroom verbonden. De haven is een thuisbasis voor o.a. de Texelse vissersvloot en

Scheepvaart: zeevaart, beroepsvisserij, binnenvaart, zeilvaart en recreatievaart

Bevaarbaarheid: CEMT-klasse IV

Maximaal toegestane afmetingen scheepvaart :

Lengte = 90 m, breedte = 12,5 m en diepgang = 4,5 m

(Binnenvaart Politie Reglement (BPR) – bijlage 13)

De toegang wordt jaarlijks gebaggerd. De haven zelf wordt om de paar jaar (2 à 3) gebaggerd (het meest recent heeft dat plaatsgevonden in het najaar van 2014).



Afbeelding I.3. Bovenaanzicht haven van Oudeschild





Bijlage II Formules grootschalig slibtransport



Referentie:

Bodemdalingstudie Waddenzee 2004, Vragen en onzekerheden opnieuw beschouwd
Bijlage 1.5: Effecten van het slib in suppletiezand, H. Mulder, juni 2004, RIKZ/2004.025

Berekeningsmethode

Kwantitatief kan een antwoord gegeven worden op de vraag in welke mate het slibgehalte toeneemt. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een eenvoudige grootschalige benadering voor de slibbalans van een bepaald gebied. In formule:

$$V \cdot dc/dt = Q \cdot c_i - Q \cdot c + E - S$$

waarin: c = concentratie (kg/m³)
 t = tijd (jr)
 V = volume (m³)
 Q = uitwisselingsdebiet (m³/jr)
 c_i = concentratie inkomend water
 E = slibbron (kg/jr)
 $S = w_s \cdot A \cdot c$ = sedimentatie (kg/jr)
 w_s = valsnelheid (m/jr)
 $A = V/h$ = oppervlakte (m²)
 h = diepte (m)

De oplossing van de vergelijking is:

$$c = (c_0 - p/q) \cdot \exp(-p \cdot t) + q/p$$

waarin: $c_0 = c$ op $t = 0$
 $p = Q/V + w_s/h$ en $q = Q/V \cdot c_i + E/V$

De nieuwe evenwichtsconcentratie wordt bereikt op $t = \text{oneindig}$: $c = c_e = q/p$

N.B. de verhouding V/Q is de tijd waarin het gehele volume wordt ververst.



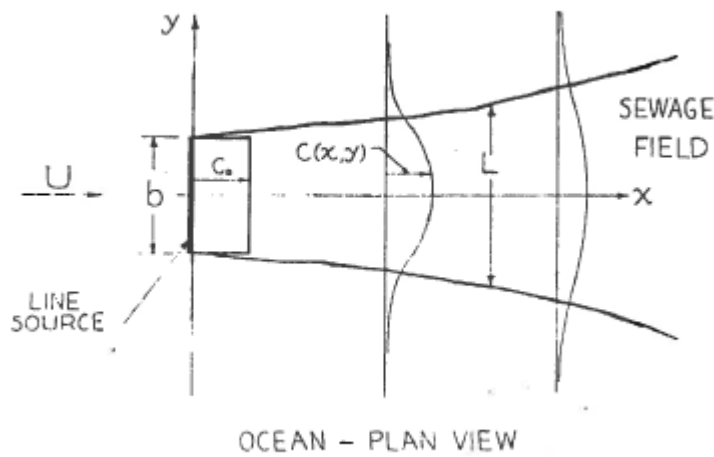
Bijlage III Formules verspreiding opgeloste stof



Referentie:

Brooks, N. H., 1959, "Diffusion of Sewage Effluent in an Ocean Current," in "Waste Disposal in the Marine Environment", edited by E.A. Pearson, pp, 246-267, Pergamon Press, New York, NY.)

Afbeelding III.1 Schematische weergave slibverspreiding



Verloop maximale concentratie langs x-as:

$$c(x, 0) = c_{\max}(x)$$

and setting $y = 0$ in equation 11, the results are as follows:

Case I: $\frac{t}{\epsilon_0} = \frac{x}{U}$,

$$c_{\max}(x) = c_0 e^{-kt} \operatorname{erf} \sqrt{\frac{3}{4\beta x/b}} \tag{25}$$

Case II: $\frac{t}{\epsilon_0} = \frac{L}{U}$,

$$c_{\max}(x) = c_0 e^{-kt} \operatorname{erf} \sqrt{\frac{3/2}{(1 + \beta \frac{x}{b})^2} - 1}} \tag{26}$$

Case III: $\frac{t}{\epsilon_0} = (\frac{L}{U})^{4/3}$,

$$c_{\max}(x) = c_0 e^{-kt} \operatorname{erf} \sqrt{\frac{3/2}{(1 + \frac{2}{3} \beta \frac{x}{b})^3} - 1}} \tag{27}$$

In all cases $t = \text{travel time} = x/U$. The symbol erf denotes the standard error function defined as

$$\operatorname{erf} X = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^X e^{-v^2} dv.$$

Met k : afbreek van concentratie c (voor slib: $k = w_s/h$, met $w_s = \text{valsnelheid}$ en $h = \text{waterdiepte}$)



Voor de berekening van de slibverspreiding voor de Prins Hendrikzanddijk is uitgegaan van de vergelijking zoals vermeld bij Case III.

Afbeelding III.2 Diffusie coëfficiënt (ϵ) als functie van de lengteschaal (L)

