

Waterstanden op locatie Den Haag Zuidwest rond 2750 BC en 250 BC



Waterstanden op locatie Den Haag Zuidwest rond 2750 BC en 250 BC

Auteur(s)

Ad van der Spek (A.J.F.)

Waterstanden op locatie Den Haag Zuidwest rond 2750 BC en 250 BC




Opdrachtgever	Gemeente Den Haag, Dienst Stadsbeheer, Afdeling Archeologie & Natuur- en Milieueducatie-
Contactpersoon	Christiaan Rieffe
Referenties	Referenties
Trefwoorden	paleoetij; waterstanden; Wateringse Veld; Laat-Neolithicum; IJzertijd

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	17-12-2021
Projectnummer	11207766-002
Document ID	11207766-002-ZKS-0001
Pagina's	21
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Ad van der Spek	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	Ad van der Spek 	Marc Hijma 	Bob Hoogendoorn 	

Samenvatting

Aanleiding

Bij de reconstructie van het landschap van het Wateringse Veld, locatie Den Haag Zuidwest, is het van belang te weten hoe hoog de hoogwaterstanden van het dagelijks getij waren en hoe de bewoonbaarheid van het landschap in de genoemde regio tussen het Neolithicum en de IJzertijd hierdoor beïnvloed kan zijn. In verband hiermee stelt de afdeling Archeologie & Natuur- en Milieueducatie, Dienst Stadsbeheer van de Gemeente Den Haag, de volgende vragen:

1. Hoe manifesteerde de getijgolf zich in de Haagse regio vóór menselijke ingrepen?
2. Wat waren hoog- en laagwaterstanden rond 2750 voor Chr. (Laat Neolithicum) en 250 voor Chr. (IJzertijd)?

Aanpak

De vragen zijn beantwoord door combinatie en interpretatie van gepubliceerde reconstructies van (1) het landschap, (2) paleo-getijdeniveaus aan de hand van sedimentaire structuren, en (3) de Holocene zeespiegelstijging, en (4) rapporten en publicaties over numerieke simulaties van de Holocene getijontwikkeling in de Noordzee.

Resultaten

In het Laat Neolithicum (situatie 2750 v. Chr.) ligt het gemiddelde zeeniveau in het interessegebied op -2,95 m NAP met een onzekerheid van $\pm 0,24$ m. De bijbehorende getijamplitude bedraagt 0,80 m, de standen van het gemiddeld hoogwater (GHW) en gemiddeld laagwater (GLW) liggen daarmee op -2,15 m en -3,75 m NAP. Rekening houdend met de $\pm 0,24$ m onzekerheid voor het gemiddelde zeeniveau komt de maximale bandbreedte voor het GHW-GLW bereik op -1,91 m tot -3,99 m NAP. De gehanteerde getijamplitude is die van het in de Noordzee dominerende M2-getij, de werkelijke amplitude voor het buitengaatse getij kan nog ca. 0,1 m hoger uitvallen als andere getijcomponenten toegevoegd worden.

Voor de IJzertijd (situatie 250 v. Chr.) zijn geen waarnemingen beschikbaar waarvan het gemiddeld zeeniveau afgeleid kan worden. Door extrapolatie van de curve voor Holocene zeespiegelstijging wordt een zeespiegelstand van ca. -1,0 m NAP gevonden. De getijamplitude bedraagt ca. 0,8 m, waardoor het GHW op ca. -0,2 m en het GLW op ca. -1,80 m NAP ligt. Ook hier geldt dat de buitengaatse getijamplitude ca. 0,1 m groter kan zijn omdat niet alle getijcomponenten verwerkt zijn.

Het berekende GHW voor 2750 v. Chr. ligt 0,3 m hoger dan de waarde zoals gereconstrueerd aan de hand van sedimentaire structuren in de strandwallen in Den Haag. Het berekende GLW ligt ca. 1,0 m hoger.

Het berekende GHW voor 250 v. Chr. ligt hoger dan op basis van archeologische vondsten verwacht kan worden. De berekende waarde voor GLW kan niet met veldgegevens vergeleken worden wegens het ontbreken hiervan.

Bodemdaling door grondwateronttrekking en mogelijke compactie van oudere Holocene afzettingen kunnen de hoogteverschillen wellicht verklaren. Hiervoor wordt aanvullend onderzoek aanbevolen.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	6
2	Beschikbaar materiaal	7
3	Uitwerking gegevens	9
3.1	Zeespiegelstijging	9
3.2	Ontwikkeling van het Noordzee getij	9
3.2.1	Generieke ontwikkeling	9
3.2.2	Ontwikkeling van het getij voor de kust van zuidelijk Zuid-Holland	10
3.3	Voortplanting van getij in zeegaten en getijgeulen	12
3.4	Paleogetijniveaus	12
4	Interpretatie	15
4.1	Situatie 2750 v. Chr. – Laat Neolithicum	15
4.2	Situatie 250 v. Chr. - IJzertijd	16
5	Aanbevelingen	18
	Referenties	19

1 Inleiding

Dit rapport is opgesteld voor de afdeling Archeologie & Natuur- en Milieueducatie, Dienst Stadsbeheer van de Gemeente Den Haag, naar aanleiding van een vraag over de getijdewerking in de Haagse regio in de periode tussen het Neolithicum en de Romeinse tijd (project Expert-beoordeling hydrodynamische condities archeologische opgraving; Deltares offerte kenmerk 11207766-001-ZKS-0001 van 20 oktober 2021).

Doel van het project is om de beschikbare kennis over de hydrodynamische omstandigheden ten zuiden van Den Haag te ontsluiten. De achterliggende vraag is hoe hoog de hoogwaterstanden van het dagelijks getij waren en hoe dat de bewoonbaarheid van het landschap in de genoemde regio tussen het Neolithicum en de IJzertijd beïnvloed kan hebben. Het gaat om een landschapsreconstructie voor Den Haag Zuidwest, specifiek de Noordweg aan de noordzijde van het Wateringse Veld. Naar aanleiding van een verkennend gesprek is de vraagstelling als volgt verder uitgewerkt:

1. Hoe manifesteerde de getijgolf zich in Haagse regio vóór menselijke ingrepen?
2. Wat waren hoog- en laagwaterstanden rond 2750 voor Chr.¹ (Laat Neolithicum) en 250 voor Chr. (IJzertijd)?

¹ De gehanteerde ouderdommen zijn gebaseerd op gecalibreerde dateringen (tenzij anders vermeld) en betreffen dus kalenderjaren.

2 Beschikbaar materiaal

De volgende informatie is beschikbaar:

- Regionale landschapsreconstructies (Vos et al. 2011; Vos, 2015; Vos et al. 2017)

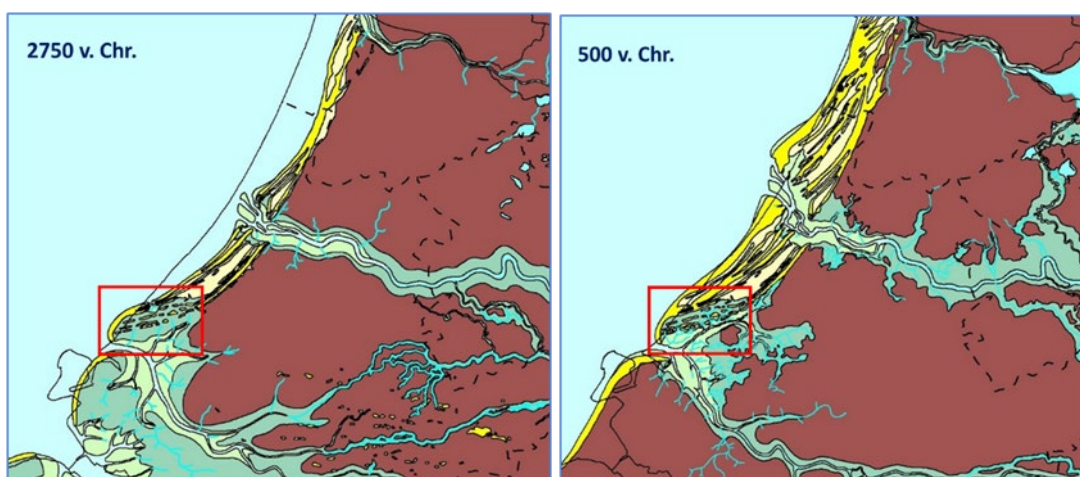
Deze reconstructies (Figuur 2-1) schetsen de situatie in de omgeving van het zuidelijk deel van de strandwal van Voorburg-Rijswijk-Wateringen: aan NW-zijde van de strandwal uitbouwende strandwallen en -vlaktes, aan ZO-zijde kwelders en intergetijdegebied onder invloed van getijgeulen (o.a. Gantel) die uitmonden in het Maasestuarium. De getijgolf zal vooral via getijgeulen / -kreeken vanuit Maasmonding het gebied bereiken. Via de strandvlakte aan de NW-zijde van de strandwal zal waarschijnlijk alleen bij stormvloed (eventueel hoge springtijden?) het zeewater het gebied bereiken.

- Reconstructies van paleo-getijdeniveaus aan de hand van sedimentaire structuren in ontsluitingen

Roep et al. (1983), Roep en Beets (1988) en Van der Valk (1996) beschrijven de interne opbouw van de strandwallen in de regio Rijswijk-Den Haag. Op basis van de criteria samengevat door Roep (1986) zijn daar niveaus van gemiddeld hoogwater (GHW) en gemiddeld laagwater (GLW) vastgesteld. GHW ligt tussen het laagste niveau van eolische afzettingen en de hoogste mariene structuren (door stroming verplaatste ribbeltjes, graafgangen van mariene bodemdieren) en kan met een nauwkeurigheid $\pm 0,5$ m worden bepaald. GLW wordt onder meer bepaald op basis van het niveau van dikke schelpenbanken en kleilagen, deze bepaling is nog wat onnauwkeuriger.

- Reconstructies van de Holocene zeespiegelstijging

Hijma en Cohen (2019a, 2019b) hebben een state-of-the-art reconstructie van de Holocene zeespiegelstijging in het Maasestuarium gepubliceerd. Zie de betreffende publicatie voor een uitleg van de reconstructie van zeespiegelniveaus en een beschrijving van de statistische bewerking van de gegevens.



Figuur 2-1; Paleogeografische reconstructies voor Zuid-Holland in 2750 v. Chr. en 500 v. Chr. Het interessegebied is aangegeven met een rode rechthoek. (Bron: Vos, 2015)

- Simulaties van de Holocene getijontwikkeling in de Noordzee

Diverse modelstudies naar de ontwikkeling van het Noordzeegetij tijdens het Holoceen zijn beschikbaar: Franken (1987), Hulsen (1994), Gerritsen en Berentsen (1998) en Van der Molen en De Swart (2001).

3 Uitwerking gegevens

3.1 Zeespiegelstijging

Rond 2750 v. Chr. / 4700 cal BP² is de snelle stijging van het zeeniveau in de regio Hoek van Holland - Rotterdam voorbij, de snelheid van stijging ligt dan op ca. 1 mm per jaar, zie Figuur 3-1, bovenste paneel. Het gemiddeld zeeniveau rond 2750 v. Chr. ligt op $-3,05 \pm 0,24$ m (1 sigma bandbreedte; Marc Hijma; persoonlijke mededeling), zie ook Figuur 3-1, onderste paneel. De gegeven dieptes zijn ten opzichte van gemiddeld zeeniveau dat voor Hoek van Holland +0,1 m NAP bedraagt. Het gemiddeld zeeniveau rond 2750 v. Chr. komt daarmee op $-2,95 \pm 0,24$ m NAP.

Deze waarden liggen iets boven die van Vos (2015).

3.2 Ontwikkeling van het Noordzee getij

3.2.1 Generieke ontwikkeling

De ontwikkeling van het Noordzeegetij onder invloed van de Holocene zeespiegelstijging kan gereconstrueerd worden met behulp van rekenmodellen die de waterbeweging in de Noordzee en aangrenzende gebieden simuleren. Uitgaand van de huidige Noordzeebodem, wordt de waterstand stelselmatig verlaagd en de resulterende getijbeweging gesimuleerd.

Aan de hand van de curve voor zeespiegelstijging voor West-Nederland wordt een representatieve ouderdom aan een lagere zeespiegelstand gekoppeld. Op deze manier zijn de studies van Franken (1987) en Hulslen (1994) uitgevoerd.

In zijn algemeenheid neemt met afname van de waterdiepte het getijverschil ook af: een ondiepere Noordzee remt de getijgolf af, het getijverschil neemt af door de toename van wrijving aan de zeebodem.

Daarnaast is er in het late Weichsel en het vroege Holoceen ook een groot effect van verticale bewegingen van de aardkorst als gevolg van het verdwijnen van de ijskappen op Scandinavië en Schotland. Hierdoor komen de eerder met ijs bedekte gebieden omhoog, terwijl de aangrenzende gebieden omlaag zakken. Dit heeft aanzienlijke gevolgen voor de diepteverdeling in het Noordzeebekken en is meegenomen in een deel van de simulaties van Gerritsen en Berentsen (1998). Van der Molen en De Swart (2001) gebruiken de door Lambeck (1995) gereconstrueerde Noordzeebodems waarin deze bodembewegingen meegenomen zijn, als rechtstreekse invoer voor hun getijberekeningen.

De grootte en de vorm van een bekken bepalen hoe de getijgolf daar doorheen loopt, en daarmee ook de positie van amfidromen, dit zijn (imaginaire) punten waar de getijgolf als het ware omheen draait. In een amfidroom is het getijverschil minimaal, maar met afstand tot het amfidroom neemt het getijverschil toe. Dit houdt in dat als een amfidromisch punt verschuift, bijvoorbeeld door een toename van de waterdiepte, het getijverschil aan de kust toe of af kan nemen.

Het getij in de Noordzee ondergaat de grootste veranderingen in het vroege Holoceen door het verdwijnen van de landbrug tussen het Waddengebied en Engeland, waardoor de noordelijke en zuidelijke Noordzee met elkaar verbonden worden en de twee getijgolven met

² BP staat voor Before Present, cal staat voor gecalibreerd, wat wil zeggen dat de ouderdom is omgerekend van C¹⁴ jaren naar kalenderjaren voor heden (heden is bij conventie 1950 AD)

elkaar gaan interfereren. De simulaties door de verschillende onderzoekers laten zien dat getijslag langs NL kust vóór 7000 cal BP snel toeneemt met het stijgend zeeniveau. Dit is een gevolg van de toenemende waterdiepte, waardoor het getij uit het noorden steeds belangrijker wordt, de bodemwrijving afneemt en het feit dat het bekken door de veranderende configuratie dichter bij resonantie van de getijgolfbeweging komt (van der Molen & de Swart, 2001, p. 9350). Vanaf 7000 cal BP waren de veranderingen klein, het getijverschil op de meeste locaties langs de kust nam nog slechts in geringe mate toe met de verdere stijging van het gemiddeld zeeniveau.

Bovenstaande modellen nemen niet de morfologische veranderingen van de zeebodem gedurende het Holoceen mee. Tijdens het Holoceen is veel sediment verplaatst en zijn bijvoorbeeld grote zandbanken gevormd. Dit zal zeker invloed gehad hebben op de ontwikkeling van het getij in de Noordzee, met name in het vroeg en midden Holoceen. Voor de periodes waarnaar in dit rapport gekeken wordt, speelt dit aspect een kleinere rol omdat toen de grootste morfologische veranderingen in de Noordzee reeds plaats hadden gevonden.

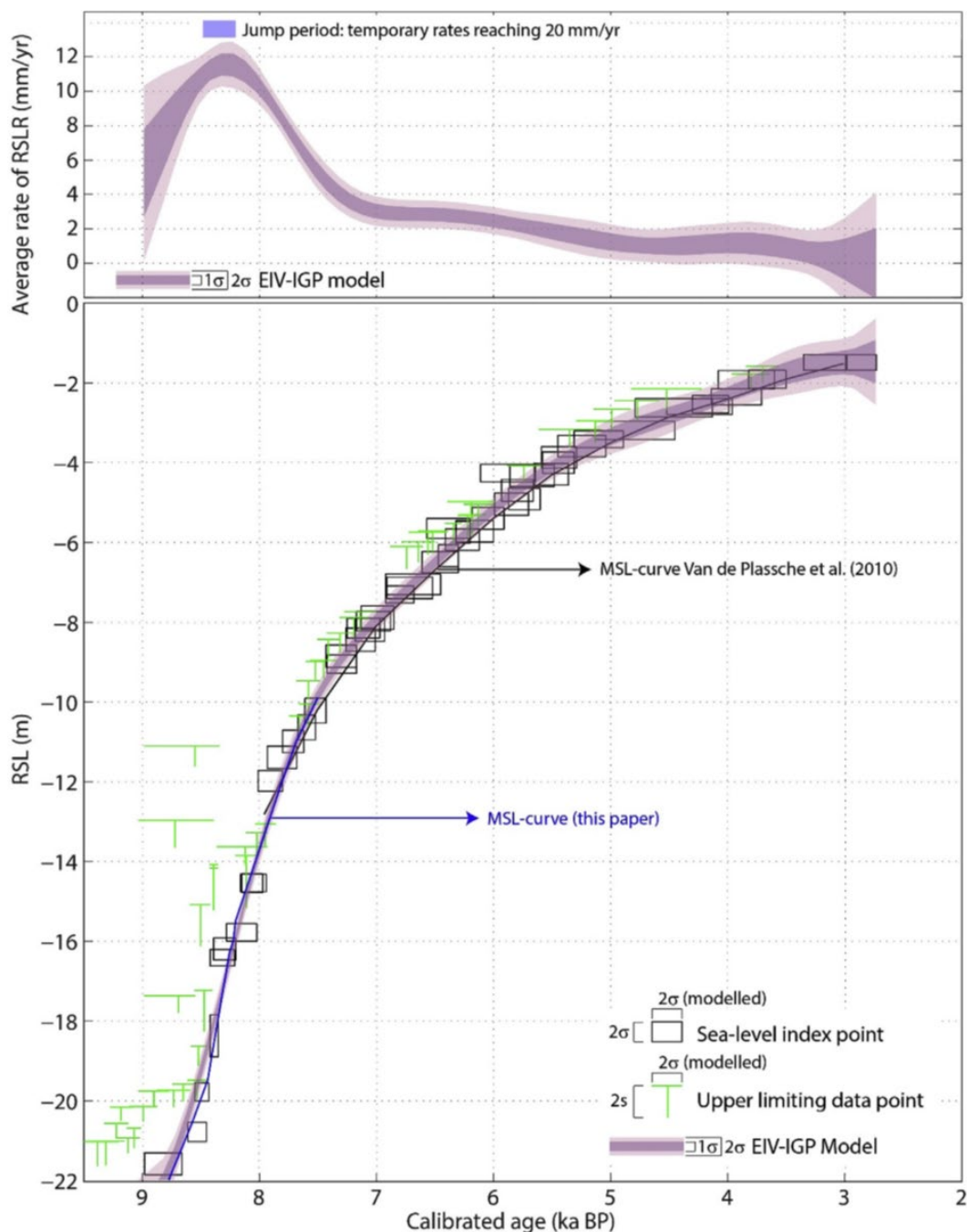
3.2.2 Ontwikkeling van het getij voor de kust van zuidelijk Zuid-Holland

Om bruikbare informatie over het getij te krijgen moeten we een keuze maken uit de verschillende beschikbare studies. Franken (1987) rekent met een relatief grof rooster van 16x16 km en maximaal springtij. Hulsen (1994) rekent op een fijner rooster van 8x8 km en met gemiddeld getij. Gerritsen en Berentsen (1998) en Van der Molen en De Swart (2001) rekenen met hetzelfde 8x8 km rooster maar zijn hoofdzakelijk geïnteresseerd in sedimenttransporten en geven weinig (vdM&dS) of geen (G&B) informatie over waterstanden.

De resultaten van Van der Molen en De Swart (2001) geven de beste resultaten als het om de ontwikkeling van amfidromen gaat, omdat de door hen gebruikte geometrieën van het Noordzeebekken het meest realistisch zijn. Hun resultaten laten zien dat Hoek van Holland het enige station langs de Hollandse kust is dat een duidelijke afname in getijverschil laat zien sinds 7000 BP (~7800 cal BP / 5850 cal BC). Dit is een gevolg van een oostwaartse verschuiving van het amfidromisch punt in de zuidelijke Noordzee.

Tabel 3-1; De door Van der Molen en De Swart (2001) berekende amplitudes van het M2-getij en M4-getij voor Hoek van Holland voor 7000, 6000, 4500 en 3000 C14-jaren voor heden en de huidige situatie. Deze ouderdommen zijn omgerekend naar kalenderjaren (afgerond op veelvoud van 50). Het getijverschil bedraagt 2x de getijamplitude. De waarden laten zien dat het M2 getijverschil te Hoek van Holland na 7000 BP afnam tot 3000 BP, waarna het weer iets toenam. Zie verder de tekst.

Hoek van Holland	7000 BP	6000 BP	4500 BP	3000 BP	0 BP
Kalenderjaren cal BP	7800	6850	5150	3200	0
Kalenderjaren cal BC	5850	4900	3200	1250	-1950
Amplitude M2-getij	0,96	0,86	0,80	0,79	0,82
Getijverschil M2-getij	1,92	1,72	1,60	1,58	1,64
Amplitude M4-getij	0,18	0,22	0,24	0,24	0,24



Figuur 3-1; Plot van de curve van relatieve zeespiegelstijging tijdens het Holoceen voor de omgeving van Rotterdam. De donkerpaarse band geeft de onzekerheidsmarge ter grootte van één standaarddeviatie die de curve omgeeft weer. Uit Hijma en Cohen (2019a).

Uit Figuur 7 van Van der Molen en De Swart kunnen de waarden voor de amplitudes van het M2-getij en het M4-getij bij Hoek van Holland afgelezen worden, zie Tabel 3-1. NB de getijamplitude is de maximale uitwijking van de waterspiegel ten opzichte van het middenvlak, het getijverschil is dus tweemaal zo groot. Het M2-getij is de belangrijkste getijcomponent voor de Noordzee. De M4-component is eveneens een relevante getijcomponent die bij de M2-component opgeteld moet worden (zij het niet rechtstreeks vanwege faseverschillen tussen de componenten). Het werkelijke getijverschil zal 0,1 a 0,2 m groter zijn dan het in Tabel 3-1 gegeven M2-getijverschil. Het M2-getijverschil kunnen we beschouwen als een minimumwaarde.

Tabel 3-2; Slotgemiddelden 2011 voor hoog- en laagwater bij dood-, gemiddeld en springtij te Hoek van Holland en Scheveningen (data: Rijkswaterstaat). Waterstanden t.o.v. NAP.

Locatie	Hoogwater	Laagwater	Getijverschil
H. v. Holland doodtij	0,90	-0,55	1,45
H. v. Holland gem. tij	1,15	-0,60	1,75
H. v. Holland springtij	1,32	-0,63	1,95
Locatie	Hoogwater	Laagwater	Getijverschil
Scheveningen doodtij	0,82	-0,63	1,45
Scheveningen gem. tij	1,07	-0,69	1,76
Scheveningen springtij	1,24	-0,72	1,96

Ter vergelijking laat Tabel 3-2 de waargenomen waterstanden te Hoek van Holland en Scheveningen zien. De door Van der Molen en De Swart (2001) berekende waarden voor de recente situatie in Hoek van Holland komen goed overeen met de waarnemingen.

3.3 Voortplanting van getij in zeegaten en getijgeulen

Als een getijgolf een estuarium of getijgeul inloopt werken er twee elkaar tegenwerkende effecten op in. Door de in landwaartse richting afnemende dwarsdoorsnede van het estuarium of de geul, wordt de waterstand opgestuwd. Echter, door toenemende bodemwrijving wordt de getijgolf afgeremd en zakt de hoogwaterstand. De uitkomst van deze elkaar tegenwerkende effecten is niet op voorhand te voorspellen.

Verder kan het vullen en legen van een aan getijwerking onderhevig gebied aanzienlijk vertraagd worden door een relatief kleine dwarsdoorsnede van de aanvoergeul. Hierdoor bereikt het hoogwater niet dezelfde waterstand als buiten. Hetzelfde geldt voor de laagwaterstand, die wordt minder laag. Het totale effect is een reductie van het getijverschil. Dit effect is bekend onder de naam *vloedkomeffect*, het gebied met de gereduceerde hoogwaterstand heet de *vloedkuil*. De waterstandsreductie door het vloedkomeffect kan tijdelijk teniet worden gedaan door stormvloed en extreme rivierafvoeren die de dagelijkse getijwerking overrulen.

Overigens kan uitschuring van de dwarsdoorsnede van de aanvoergeul tot een snelle toename van de hoog- en laagwaterstanden leiden, met alle gevolgen van dien voor eventuele bewoners.

Voor een uitgebreide discussie, zie Vis et al. (2015).

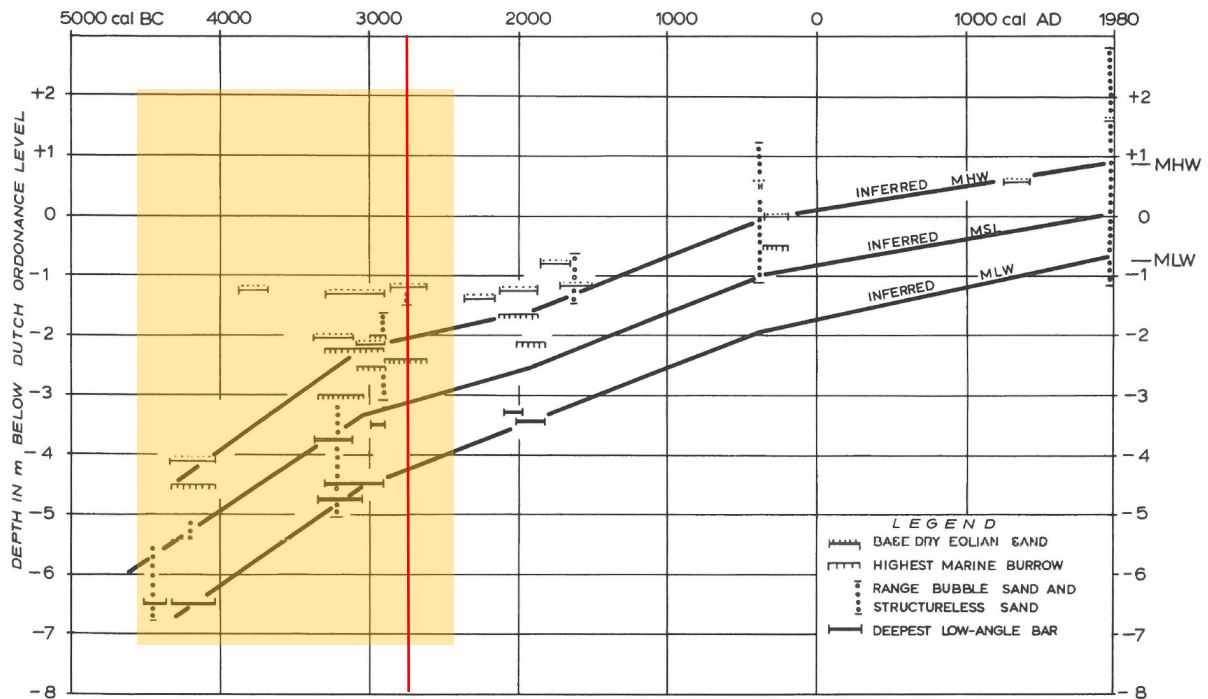
3.4 Paleogetijniveaus

Figuur 3-2 geeft de grafiek voor GHW- en GLW-standen uit Roep en Beets (1988) weer. De GHW en GLW standen zijn aan de hand van sedimentaire structuren in afzettingen bepaald. Het gemiddeld zeeniveau is aangenomen op halverwege het hoogteverschil tussen GHW en GLW. De relevante informatie uit de omgeving van Den Haag is met een oranje rechthoek aangegeven in de grafiek. De gegevens uit de latere periode zijn afkomstig uit de omgeving van IJmuiden en Alkmaar en niet bruikbaar aangezien het gemiddeld getijverschil langs de Noord-Hollandse kust kleiner is dan langs de Zuid-Hollandse kust.

De gegevens uit de omgeving van Den Haag zijn afkomstig uit de volgende ontsluitingen: Rijswijk Plaspoelpolder / A4, Rijswijk Haagweg en meerdere ontsluitingen met een vergelijkbare ouderdom van ongeveer 3000 cal BC, te weten Wassenaar en Den Haag Bezuidenhoutseweg, Schenkkade en Westeinde. De ontsluitingen in Den Haag en Rijswijk-Haagweg worden beschreven in Roep et al. (1983). De ontsluiting Rijswijk Plaspoelpolder / A4 wordt beschreven door Van der Valk (1996).

Op basis van de gegevens voor Rijswijk Plaspoelpolder / A4 (uit Van der Valk, 1996) wordt een getijverschil van 1,9 a 2,5 m berekend voor de periode kort voor de vorming van de strandwal van Wateringen-Rijswijk-Voorburg (~ 4500 cal BC). De door Van der Molen en De Swart (2001) berekende minimumwaarden voor het buitengaatse getijverschil in 4900 cal BC en 3200 cal BC, respectievelijk 1,72 m en 1,60 m (Tabel 3-1), liggen hier enkele decimeters onder. Gezien de verschillende aard van de gegevens kan de overeenkomst redelijk genoemd worden.

Ten aanzien van de gegevens van de ontsluiting Rijswijk Haagweg, welke midden op de strandwal van Wateringen-Rijswijk-Voorburg ligt, concluderen Roep en Beets (1988) dat deze te hoog liggen om in het regionale beeld te passen en dat de interpretatie niet betrouwbaar is.



Figuur 3-2; Plot van de door Roep en Beets (1988) bepaalde gemiddeld hoog- en laagwaterniveaus in ontsluitingen in de strandwallen in de regio Den Haag. Het gemiddeld hoogwater MHW bevindt zich tussen de laagste eolische afzetting en de hoogste graafgang van een marien bodemdier. Het gemiddeld laagwater MLW wordt bepaald aan de hand van de positie van de diepst liggende 'low-angle' bankstructuur. Het oranje gebied geeft de voor de omgeving van Den Haag relevante gegevens aan. De rode lijn geeft 2750 BC weer.

Op basis van de gegevens van de ontsluitingen Den Haag Bezuidenhoutseweg, Schenkkade en Westeinde, zoals afgelezen uit Figuur 3-2, wordt een getijverschil van 2,25 m berekend tijdens de vorming van de strandwal van Den Haag (Tabel 3-3). Dit getal is aanzienlijk groter dan de door Van der Molen en De Swart (2001) berekende minimumwaarde voor het getijverschil te Hoek van Holland in 3200 cal BC van 1,60 m. Dit berekende getijverschil is eveneens groter dan het huidige getijverschil in de haven van Scheveningen (1,76 m gemiddeld, 1,96 m bij springtij; Tabel 3-2).

Tabel 3-3; Aan de hand van sedimentaire structuren in strandwalafzettingen gereconstrueerde gemiddeld hoog- en laagwaterniveaus en de daaruit afgeleide getijverschillen voor een aantal locaties in de omgeving van Den Haag in het verleden. De gegevens voor Rijswijk Haagweg () worden als niet betrouwbaar beoordeeld. Zie de tekst voor verdere toelichting.*

Locatie	Ouderdom cal BC	Ouderdom cal BP	GHW (m NAP)	GLW (m NAP)	Getijverschil (m)
Rijswijk Plaspoel- polder / A4	4500	± 6500	-4,3	-6,2 a -6,8	1,9 a 2,5
Rijswijk Haagweg	3800	± 5800	*	*	
Den Haag Bezuiden- houtseweg, Schenkkade, Westeinde	3000	± 5000	-2,45	-4,7	2,25

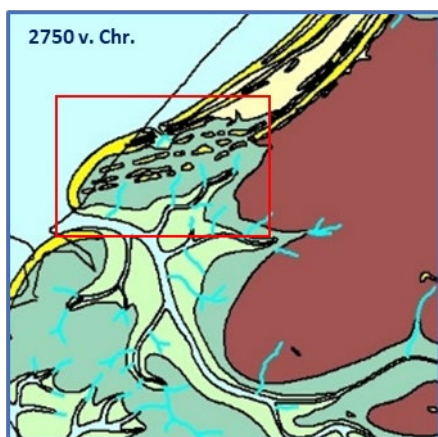
Overigens is het nodig een kanttekening bij de op basis van sedimentaire structuren bepaalde GHW en GLW waarden te plaatsen. Om te beginnen staat bij het bepalen van GHW niet vast welke waterstand geregistreerd wordt. Extreme waterstanden, bijvoorbeeld tijdens springtij of bij waterstandsverhoging als gevolg van harde wind, kunnen sporen achterlaten op een hoogte die normale hoogwaters niet of nauwelijks bereiken, ze hebben daardoor een aanzienlijk grotere kans om bewaard te blijven dan lager gelegen structuren die met grote regelmaat weer opgeruimd worden. Dat wil niet zeggen dat de sporen van minder extreme hoogwaterstanden niet bewaard kunnen blijven, maar het is erg lastig om vast te stellen waar we in een ontsluiting mee te maken hebben, temeer daar er in een ontsluiting vaak maar één opeenvolging bewaard is gebleven. Dit introduceert een onzekerheid, waardoor het vastgestelde hoogwaterniveau een aanzienlijke bandbreedte heeft. Roep en Beets (1988) noemen een onzekerheid van ca. 0,5 m. Bij het bepalen van GLW zijn de onzekerheden nog groter. De als criteria gebruikte bankstructuren komen niet exclusief in een bepaalde dieptezone voor, waardoor aanvullende criteria nodig zijn om een schatting van GLW te verkrijgen. Kleilagen van enige dikte (het criterium is minimaal 1 cm dikte) en het voorkomen van graafgangen van mariene organismen worden hiervoor gebruikt. Maar het voorkomen van kleilaag duidt vooral op een positie onder water zonder verdere specificatie van de diepte (klei moet bezinken om afgezet te worden), en het dieptebereik waarover bodemdieren voorkomen is soortafhankelijk. Sommige soorten zijn goed in staat om een laagwaterperiode te doorstaan.

4 Interpretatie

Wat betekent de verzamelde informatie voor het onderzoeksgebied?

4.1 Situatie 2750 v. Chr. – Laat Neolithicum

Het interessegebied ligt op de noordoever van het Maasestuarium dat zijn monding ten noorden van Hoek van Holland heeft (Figuur 4-1). Rond 2750 v. Chr. bestaat het gebied uit kwelders die de hoogste delen van de zuidelijke voortzetting van de strandwal van Wateringen-Rijswijk-Voorburg omgeven. Naar het zuidoosten gaan de kwelders over in intergetijdegebied dat begrensd wordt door een naar het noordoosten lopende getijgeul. Naar het noorden wordt het gebied afgeschermd van de open Noordzee door de strandwal van Den Haag die dan reeds gevormd is. Wel is er nog een opening in deze strandwal, waardoor bij NW storm zeewater opgestuwd kan worden richting het interessegebied. De strandwal van Den Haag zet zich naar het zuidwesten voort en sluit het gebied aan de westzijde af.

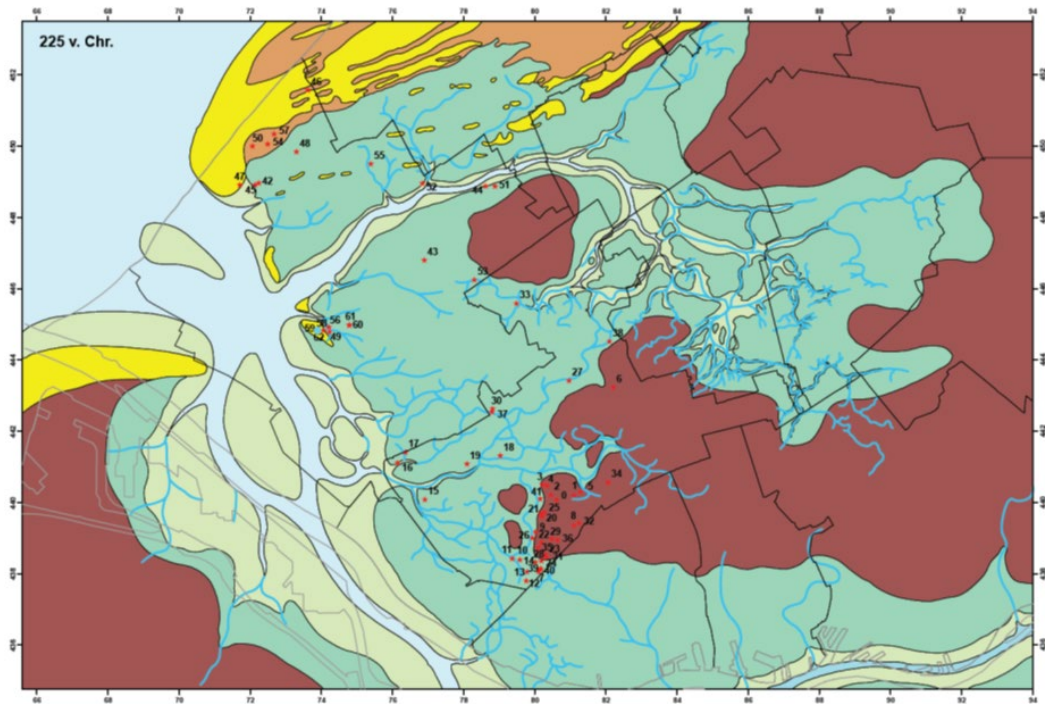


Figuur 4-1; De Maasmonding in 2750 v. Chr. Het interessegebied is met een rode rechthoek aangegeven. Ter oriëntatie is ook de huidige kustlijn weergegeven. (Bron: Vos, 2015)

Op basis van de verzamelde gegevens kunnen we het volgende stellen. De zeespiegelstijgingscurve van Hijma en Cohen (2019a) voor het Maasestuarium (Figuur 3-1) geeft een gemiddeld zeeniveau voor 2750 v. Chr. van $-2,95 \pm 0,24$ m NAP. Als we vervolgens de door Van der Molen en De Swart (2001) gevonden getijamplitude van 0,80 m op de middenwaarde projecteren dan komen GHW en GLW op respectievelijk op -2,15 m en -3,75 m NAP te liggen. Tellen we de getijamplitude bij de hoogste en laagste waarden van de bandbreedte van de onzekerheid op dan ligt het GHW op -1,91 m en het GLW op -3,99 m NAP. Zoals in paragraaf 3.2 opgemerkt is de gehanteerde getijamplitude die van het M2-getij, de werkelijke amplitude kan nog ca. 0,1 m hoger uitvallen als andere getijcomponenten toegevoegd worden. Het interessegebied ligt zo dicht bij de monding van het estuarium dat er geen grote veranderingen in de waterstanden als gevolg van de voortplanting van de getijgolf te verwachten valt. Ook een vloedkomeffect is gezien de positie en de configuratie van het interessegebied niet waarschijnlijk.

Vergelijken we de hierboven gevonden waarden met de waarden voor GHW en GLW rond 3000 v. Chr. zoals bepaald voor de strandwal van Den Haag (Tabel 3-3; GHW -2,45 m, GLW -4,7 m), dan blijken de GHW-waarden redelijk goed overeen te komen, de GLW-waarde afgeleid uit de ontsluiting ligt aanzienlijk lager dan de berekende waarden. Gezien de onnauwkeurigheid in de gehanteerde criteria voor GLW is dat geen verrassing.

4.2 Situatie 250 v. Chr. - IJzertijd



Figuur 4-2; De monding van het Maasestuarium in 225 v. Chr. Ter oriëntatie is ook de huidige kustlijn weergegeven. (Bron: Vos et al., 2017)

Rond 250 v. Chr. heeft de monding van het Maasestuarium zich verbreed en enigszins naar het noorden verlegd. De strandwallengordel heeft zich verder zeewaarts uitgebreid (al valt dat buiten het interessegebied) en de kwelder ten zuidoosten van de strandwallen heeft zich opgehoogd (te zien aan de afgenomen omtrek van de duinkopjes) en uitgebreid, zie Figuur 4-2. De aangrenzende getijgeul, nu Gantel genaamd, heeft zich verder landinwaarts uitgebreid, aanvankelijk parallel aan de strekking van de oudste strandwal en iets ten oosten van het Wateringse Veld afbuigend naar het zuiden, richting Delft.

De situatie rond 250 v. Chr. valt in de tijd samen met de verlegging van de hoofdafvoer van de Rijn naar het zuidwesten, naar het Maasestuarium. De toename in rivierafvoer zal tot uitruiming van het estuarium geleid hebben, waardoor het Noordzeegetij verder landinwaarts kon doordringen. Gezien de positie van het interessegebied dicht bij de monding van het estuarium zal dit weinig verschil maken voor de waterstanden hier. Vos et al. (2017, p. 43) wijzen naar aanleiding van onderzoek op de site Vergulde Hand West in Vlaardingen op de rol van hoge rivierafvoeren in het ontstaan van extreme waterstanden in het estuarium en de aanliggende gebieden. Deze auteurs noemen de toename van extreem hoogwater als oorzaak van het inbreken van de Gantel in het achterland.

Voor dit moment in het verleden zijn geen waarnemingen beschikbaar waaruit het gemiddeld zeeniveau vastgesteld kan worden. Bij extrapolatie komen de meeste curves voor de Holocene zeespiegelstijging uit op een zeespiegelstand van ca. -1,0 m NAP voor 2000 BP, vergelijk de Figuren 2 en 3. Op basis van de berekeningen van Van der Molen en de Swart (Tabel 3-1) mogen we aannemen dat de getijamplitude rond 2500 cal BC een waarde heeft van 0,8 m, en dan ligt GHW op ca. -0,2 m en GLW op ca. -1,8 m NAP. Uiteraard geldt ook hier weer dat de buitengaats getijamplitude 0,1 a 0,2 m groter kan zijn omdat we slechts de M2-getijcomponent beschouwen. Ook nu geldt dat het interessegebied zo dicht bij de monding ligt dat er geen significant effect van bodemwrijving of getijversterking op de

waterstanden te verwachten valt. Wel is er door de sterke landinwaartse uitbreiding van de Gantel kans op het ontstaan van een vloedkuil, met name daar waar deze geul zich sterk vertakt in zuidelijke richting. Een reductie van het getijverschil is daarvan het gevolg. Hoe groot die reductie is valt niet te zeggen zonder modelberekening.

Bij bespreking van de resultaten kwam naar voren dat de gevonden hoogwaterstand voor de situatie rond 250 v. Chr. niet direct in overeenstemming is met de informatie uit de opgravingen. Aangetroffen sporen uit de Romeinse tijd komen voor in een vlak op ca. -0,8 m NAP, wat betekent dat ze iets boven gemiddeld zeeniveau liggen. Het is niet waarschijnlijk dat bewoning beneden GHW plaatsvond. Voor de gevonden positie van GLW is geen referentie beschikbaar.

5 Aanbevelingen

Nader onderzoek, onder andere naar bodemdaling door grondwateronttrekking en de eventuele rol van compactie van het meer dan 5 m dikke pakket klei en veen onder de strandwalzanden, wordt aanbevolen om meer inzicht te verwerven in mogelijke oorzaken van de discrepantie tussen het niveau van de bewoningssporen uit de Romeinse tijd en de gevonden hoogwaterstand. Inzicht in deze factoren kan wellicht ook de verschillen tussen de berekende en gereconstrueerde resultaten voor 2750 v. Chr. (deels) verklaren.

Het optreden van gereduceerde waterstanden in het achterland van de Gantel als gevolg van het voorkomen van een vloedkuil, kan met een eenvoudige modellering van de waterbeweging worden onderzocht. Dit verschaft een beter inzicht in eventuele lokale afwijkingen van hoog- en laagwaterstanden.

Referenties

- Franken, A.F., 1987. Rekonstruktie van het paleo-getijklimaat in de Noordzee. Rapport X 0029-00, Waterloopkundig Laboratorium, Delft, 74 pp.
- Gerritsen, H., Berentsen, C.J.W., 1998. A modelling study of tidally induced equilibrium sand balances in the North Sea during the Holocene. *Continental Shelf Research* 18, 151-200.
- Hijma, M.H., Cohen, K.M., 2019a. Holocene sea-level database for the Rhine-Meuse Delta, The Netherlands: Implications for the pre-8.2 ka sea-level jump. *Quaternary Science Reviews* 214, 68-86. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.05.001>
- Hijma, M.H., Cohen, K.M., 2019b. Corrigendum to "Holocene sea-level database for the Rhine-Meuse Delta, The Netherlands: Implications for the pre-8.2 ka sea-level jump" [*Quat. Sci. Rev.* 214 (2019) 68-86]. *Quaternary Science Reviews* 224, 105941. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.105941>
- Hulsen, L., 1994. Modelling paleo-getij in de Noordzee. Werkdocument Z812, Waterloopkundig Laboratorium, Delft.
- Lambeck, K., 1995. Late Devensian and Holocene shorelines of the British Isles and North Sea from models of glacio-hydro-isostatic rebound. *Journal of the Geological Society* 152, 437-448.
- Roep, Th.B., 1986. Sea-level markers in coastal barrier sands: examples from the North Sea coast, *in* Van de Plassche, O. (red.), *Sea-level Research: a manual for the collection and evaluation of data*. Geobooks, Norwich, p. 97-128.
- Roep, Th.B., Beets, D.J., 1988. Sea level rise and paleotidal levels from sedimentary structures in the coastal barriers in the western Netherlands since 5600 BP. *Geologie en Mijnbouw* 67, 53-60.
- Roep, Th.B., van de Plassche, O., van der Valk, L., Ruegg, G.H.J., 1983. Sedimentologie van de strandwalafzettingen onder 's-Gravenhage en Rijswijk, *in* De Mulder, E.F.J. (red.), *De bodem van 's-Gravenhage*, Mededelingen Rijks Geologische Dienst 37-1, p. 63-95.
- van der Molen, J., de Swart, H.E., 2001. Holocene tidal conditions and tide induced sand transport in the southern North Sea. *Journal of Geophysical Research* 106, No. C5, 9339-9362.
- van der Valk, L., 1996. Geology and sedimentology of Late Atlantic sandy, wave-dominated deposits near The Hague (South-Holland, the Netherlands): a reconstruction of an early prograding coastal sequence, *in* Beets, D.J., Fischer, M.M., de Gans, W. (red.), *Coastal studies on the Holocene of the Netherlands*, Mededelingen Rijks Geologische Dienst 57, p. 201-227.
- Vis, G.J., Cohen, K.M., Westerhoff, W.E., ten Veen, J., Hijma, M.P., van der Spek, A.J.F., Vos, P.C., 2015. Paleogeography, chapter 33, *in* Shennan, I., Long, A.J., Horton, B.P. (red.), *Handbook of Sea-Level Research*, First Edition, John Wiley & Sons, p. 514-535.
- Vos, P.C. 2015. Origin of the Dutch coastal landscape. Long-term landscape evolution of the Netherlands during the Holocene, described and visualized in national, regional and local palaeogeographical map series. Proefschrift Universiteit Utrecht (samenvatting van de handelseditie, met kaartserie).
- Vos, P.C., Bazelmans, J., Weerts, H.J.T., van der Meulen, M.J. (red.), 2011. *Atlas van Nederland in het Holoceen*. Uitg. Bert Bakker, Amsterdam.

Vos, P., IJsselstein, M., Jongma, S., de Vries, S., 2017. Het ontstaan van Westland-Delfland, gebaseerd op paleolandschappelijk onderzoek en getijsysteemkennis. Toelichting op de regionale paleolandschappelijke kartering, uitgevoerd in het kader van het uitbrengen van de Atlas van het Westland. Delftse Archeologische Rapporten 130, 53 pp.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl