

**Zeespiegel onderzoeksagenda**





## **Zeespiegel onderzoeksagenda**

Fedor Baart  
Henk Kooi

1230046-000



**Titel**  
Zeespiegel onderzoeksagenda

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving	1230046-000	1230046-000-ZKS-0001	19

**Trefwoorden**  
Zeespiegel, bodemdaling, kustonderhoud



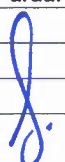
**Samenvatting**

De stand van de zeespiegel ten opzichte van de bodem (de relatieve zeespiegel) is een belangrijke indicator voor de Nederlandse veiligheid. Bij veel vraagstukken op het gebied van ontwerp, onderhoud, planvorming en toetsing speelt de zeespiegel een rol.

De zeespiegelmonitor rapporteert over de indicatoren en onderzoekt met welke methode deze het best bepaalt kunnen worden. In deze onderzoeksagenda wordt beschreven op welke gebieden de grootste uitdagingen liggen voor de periode 2016 tot en met 2018. Dit resulteert in de drie hoofdlijnen: begrip, integratie en vertrouwen.

**Referenties**

Dit rapport is onderdeel van het KPP kavel 2016 HV06

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.1	feb. 2016	Fedor Baart		Gerard van der Kolff		Frank Hoozemans	
		Henk Kooi		Ad van der Spek			
0.2	mei 2016	Fedor Baart		Ad van der Spek		Frank Hoozemans	

**Status**  
definitief



## Inhoud

<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1 Achtergrond	1
1.2 Relaties met ander zeespiegelonderzoek	1
1.3 De Zeespiegelmonitor	3
1.4 Leeswijzer	5
<b>2 Begrip</b>	<b>7</b>
2.1 Regionale verschillen	7
2.2 Kortetermijnvoorspellingen	8
<b>3 Integratie</b>	<b>11</b>
3.1 Bodemdaling en zeespiegelstijging	11
3.2 Eenduidige indicatoren	13
<b>4 Vertrouwen</b>	<b>15</b>
4.1 Reproduceerbaarheid	15
4.2 Voorspelkracht	15
<b>5 Voorgestelde werkzaamheden</b>	<b>17</b>
<b>6 Referenties</b>	<b>19</b>





# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Om het land te beschermen tegen overstromingen vanuit zee, en de functies van de kustzone te behouden, is het huidige beleid er op gericht om:

1. de waterkeringen op sterkte te houden. Deze taak is belegd in het Hoogwaterbeschermingsprogramma. De waterkeringen spelen een belangrijke rol bij het waarborgen van de veiligheid van vandaag.
2. de zandvoorraad van de kustzone (het zogeheten kustfundament) op peil te houden, door deze mee te laten groeien met de zeespiegelstijging. Deze taak is belegd in het programma Kustlijn­zorg (en is gekoppeld aan de doelstelling van het dynamisch handhaven van de kustlijn). Het op peil houden van het kustfundament speelt een belangrijke rol bij het anticiperen op de veiligheid in de toekomst.

Bij beide beleidsdoelen is kennis nodig over de grootte van de relatieve zeespiegelstijging. Bij het eerste doel speelt de zeespiegel een directe rol bij het bepalen van de belastingen op de kering, de hoogte van de kering en de veiligheidseisen waaraan de kering moet voldoen (nu en in de toekomst). Bij het tweede doel speelt de zeespiegel een rol bij het bepalen van de benodigde hoeveelheid zand die nodig is (nu en in de toekomst) om het kustfundament mee te laten meegroeien.

Deze vraagstukken spelen op verschillende tijd- en ruimteschalen. Het onderzoek naar zeespiegelstijging speelt zich daarom eveneens af op verschillende tijd- en ruimteschalen en is in verschillende onderzoeksprogramma's belegd (zie paragraaf 1.2). Eén van deze onderzoeklijnen betreft de 'zeespiegelmonitor'. Dit onderzoek maakt deel uit van het project "KPP Kustbeleid" van Rijkswaterstaat WVL en Deltares. De zeespiegelmonitor heeft als doel het vaststellen van indicatoren voor onderhoud en ontwerp van de kustverdediging, in de periode tot dertig jaar vooruit. Het vaststellen van de zeespiegelindicatoren voor toetsing maken onderdeel uit van het Wettelijk Beoordelings Instrumentarium (WBI) programma. De planning op de langere termijn (30-200 jaar) zijn onderdeel van het beleid van het Deltaprogramma de methode is belegd bij het KNMI, zie paragraaf 1.2).

Dit document geeft een overzicht van de onderzoeksagenda van de zeespiegelmonitor. In deze onderzoeksagenda staan de doelen geformuleerd die aansluiten bij de beleidsdoelen en beleidsperiode van het Nationaal Waterplan (2016-2021). De agenda sluit ook aan bij de adviezen uit de eerdere versies van de zeespiegelmonitor (Dillingh et al., 2010, de Ronde et al., 2014, Baart et al., 2015). Daarnaast wordt het ENW geconsulteerd bij het vaststellen van deze onderzoeksagenda.

## 1.2 Relaties met ander zeespiegelonderzoek

De volgende organisaties houden zich bezig met zeespiegelonderzoek en de gevolgen voor beleid. Hierbij is gekeken naar partijen die zich bezig houden met oorzaken, metingen en voorspellingen. Het onderzoek naar de impact en mitigatie van zeespiegelstijging is veel breder en buiten beschouwing gelaten.

## **Overheid:**

Ministerie van Infrastructuur en Milieu: Definieert klimaat en waterbeleid (Deltaplan, Nationaal Waterplan).

Rijkswaterstaat: Zeespiegelmetingen, zeespiegel voor ontwerp en onderhoud, zeespiegel voorspellingen (operationeel).

Ministerie van Economische Zaken: Bodemdaling in de context van winningen van delfstoffen.

Planbureau voor de Leefomgeving: strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte.

Deltacommissaris: plannen voor bescherming tegen hoogwater en voor voldoende zoetwater op de langere termijn.

KNMI: Zeespiegelvoorspellingen (operationeel en lange termijn).

## **Kennis instituten:**

Deltares: Zeespiegel monitoring en voorspellingen (operationeel en onderhoud), bodemdaling voorspellingen, toetsing.

TNO: Bodemdaling monitoring, toetsing.

## **Universiteiten:**

Technische Universiteit Delft: Bodemdaling, klimaat voorspellingen, monitoring.

Universiteit Utrecht: (IMAU): Meteorologie, oceanografie, klimaatmodellering.

Wageningen (Alterra, Imares): Zeespiegel in combinatie met ecologie, rivier afvoer.

## **Ingenieursbureaus/consultants:**

HKV: Zeespiegel monitoring, toetsing

## **Commissies:**

Commissie voor bodemdaling en zeespiegelstijging van de Nederlands Geodetische Commissie.

Expertise Netwerk Waterveiligheid ENW.

Staatstoezicht op de Mijnen (SODM).

## **Overige initiatieven:**

Nationale Informatievoorziening Bodembeweging (NIB) is een informatievoorziening voor bodembeweging.

iStorm: een initiatief van de verschillende landen met grote waterkeringen waarin zeespiegelonderzoek gedeeld wordt (deelname van Deltares, KNMI en Rijkswaterstaat)

De onderlinge relaties zijn als volgt:

- Ministeries van EZ en IenM, Rijkswaterstaat en Hoogheemraadschappen (Waterschappen aan de kust) gebruiken de vastgestelde zeespiegelstijging voor bepaling van randvoorwaarden in beheer, ontwerp en planvorming.
- Universiteiten stellen hun eigen onderzoeksplannen op. De onderzoeksvoorstellen worden voornamelijk gefinancierd door NWO en ERC.
- Kennisinstituten stellen hun onderzoeksplannen op in opdracht van bedrijfsleven en overheid. Ze worden voornamelijk gefinancierd door overheid en bedrijfsleven (nationaal en internationaal). Binnen Nederland wordt het zeespiegelonderzoek van TNO voornamelijk door EZ en Shell gefinancierd en Deltares voornamelijk door Rijkswaterstaat en IenM.
- Ingenieursbureaus voeren een deel van het onderzoek van Deltares uit.

- De commissie Bodemdaling en Zeespiegelstijging heeft als doel om afstemming op onderzoek te coördineren tussen de verschillende universitaire vakgroepen en kennisinstututen.
- Het Expertise Netwerk Waterveiligheid levert gevraagd en ongevraagd advies op waterveiligheidsvraagstukken, waaronder de zeespiegelstijging.
- Het SODM bepaalt of de delfstoffenwinning gebeurt op een manier die veilig en gezond is voor mens en omgeving, hieronder valt het limiteren van de bodemdaling.
- Het NIB is een recent initiatief van diverse partijen waaronder RWS, TNO en Deltares.

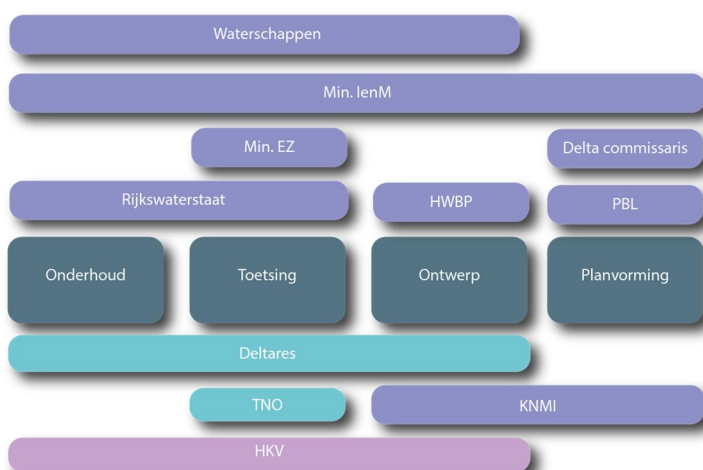


Figure 1 Verschillende partijen (lei blauw: overheid, aquamarijn: kennisinstituut, pruim: bedrijven) zijn betrokken bij zeespiegelonderzoek. De overlap met kolommen geeft de hoofdtak aan van de organisatie. Bijvoorbeeld Rijkswaterstaat houdt zich met name bezig met onderhoud en toetsing. PBL houdt zich vooral bezig met planvorming. De organisaties boven de rij met onderhoud, toetsing, ontwerp en planvorming houden zich vooral bezig met beleidsvorming. De organisaties onder de rij houden zich vooral bezig met onderzoek en advisering.

Een schematisch overzicht van de bij zeespiegelonderzoek betrokken organisaties (commissies en universiteiten buiten beschouwing gelaten) is te vinden in bovenstaande figuur.

### 1.3 De Zeespiegelmonitor

Het periodiek rapporteren over de huidige staat van de zeespiegel langs de Nederlandse kust wordt de "Zeespiegelmonitor" genoemd. Deze monitor bestaat uit periodieke rapportage (Dillingh et al., 2010, de Ronde et al., 2014, Baart et al., 2015) en de beschikbaarheid van de methode in de vorm van software (web applicatie).

Er zijn veel processen van invloed op de zeespiegel, zie het overzicht in Figuur 1.1. In de zeespiegelmonitor wordt vooral gekeken naar processen aan de kust. De processen die op mondiaal niveau spelen (smelten van ijskappen, opslag van water), op het niveau van de oceaan (dichtheidsvariaties, saliniteit) en de niet-autonome processen (gaswinning, grondwaterextractie) worden voornamelijk in andere onderzoeksprogramma's onderzocht.

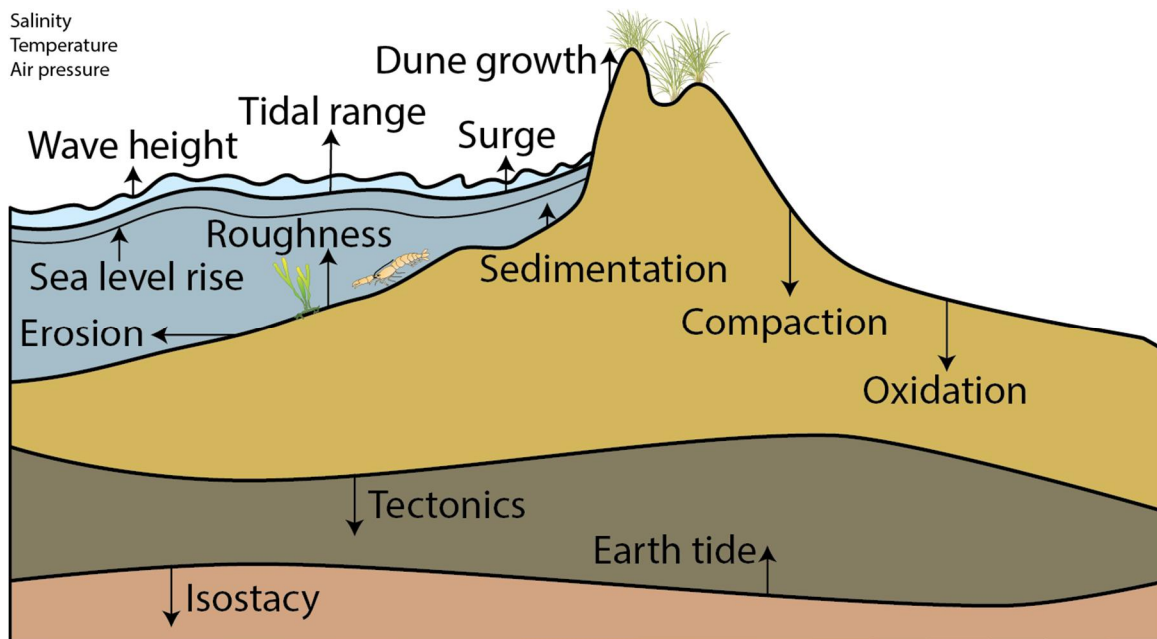
In de Zeespiegelmonitor worden de ruwe zeespiegelmetingen omgezet in meerdere zeespiegelindicatoren. Een voorbeeld van een indicator is "de huidige zeespiegelstijging". In deze indicator wordt rekening gehouden met de effecten van de wind op de zeespiegel en het effect van het 18.6 jarige cyclus van het getij. De huidige zeespiegel wordt bepaald door naar langjarige trends te kijken, waarbij recente jaren zwaarder wegen. De indicator wordt uitgerekend (sinds Dillingh et al., 2010) ten opzichte van de gereviseerde lokale

referentiehoogte en niet ten opzichte van het NAP, omdat het NAP is veranderd . De keuzes van wat er wel en niet meegenomen wordt hangen af van het doel waar de indicator voor wordt gebruikt.

Een indicator heeft doorgaans twee doelen. Het vormt een *communicatiemiddel* tussen beleidsmakers en wetenschappers. Het zorgt voor een gezamenlijk referentiekader. Indicatoren worden vaak ontwikkeld op basis van een framework. Voor de kust worden het CSI- (Coastal State Indicator) (van Koningsveld en Mulder, 2004) en ook wel het DPSIR- (Drivers, Pressures, State, Impact en Response) framework gebruikt (Borja 2006). Met beide frameworks komt men erop uit dat het raadzaam is om een gezamenlijke "toestand" of "staat" van het water vast te stellen. Het gebruik van een toestand helpt ook om de processen die de toestand beïnvloeden beter te beschrijven.

Naast de indicator als communicatiemiddel wordt deze ook gebruikt om *doelmatigheid* na te streven. Men kan beleid op de "drivers" en "pressures" ontwikkelen als die bekend zijn en daarmee de kosten van de "impact" en "response" reduceren. Daarnaast kan men doelmatiger werken als de indicator beter bekend is. Als we weten hoe hoog de zeespiegel wordt, hoeven we ook niet hoger te ontwerpen.

De rekenmethode en resultaten van de zeespiegelmonitor worden opgeslagen in de vorm van online reproduceerbare rekendocumenten (Shen, 2014). De reproduceerbare rekendocumenten zijn een hybride vorm van rapportage en software waarmee de toegepaste methode eenvoudig kan worden gedeeld, gecontroleerd en gereproduceerd. De documenten worden gedeeld via OpenEarth, het platform waar kustonderzoekers data, modellen en tools delen. Over de technische invulling van deze methode zal nog overleg plaatsvinden waarbij ook de Centrale Informatievoorziening van Rijkswaterstaat betrokken wordt.



Figuur 1.2 Autonome (niet menselijke) processen bij de kust die een rol spelen bij de relatieve zeespiegel.

#### 1.4 Leeswijzer

De onderzoeksagenda is ondergebracht in drie hoofdonderwerpen: a. Begrip, b. Integratie. c. Vertrouwen.

**Begrip (hoofdstuk 2):** Kunnen we de variaties in de zeespiegel goed verklaren? Weten we welke oorzaken verschillen tussen metingen veroorzaken en hebben we deze kennis goed geformaliseerd in onze methoden?

**Integratie (hoofdstuk 3):** Sluiten de verschillende toepassingen van de zeespiegel op elkaar aan en worden alle toepassingen afgedekt?

**Vertrouwen (hoofdstuk 4):** Kloppen de metingen en de voorspellingen, zijn ze valide en reproduceerbaar?

Elk van deze onderwerpen wordt in de volgende drie respectievelijke hoofdstukken uitgelegd (hoofdstuk 2 t/m 4). In hoofdstuk 5 staan de werkzaamheden voor het voorgestelde onderzoek benoemd, voorzien van een globale kosteninschatting.

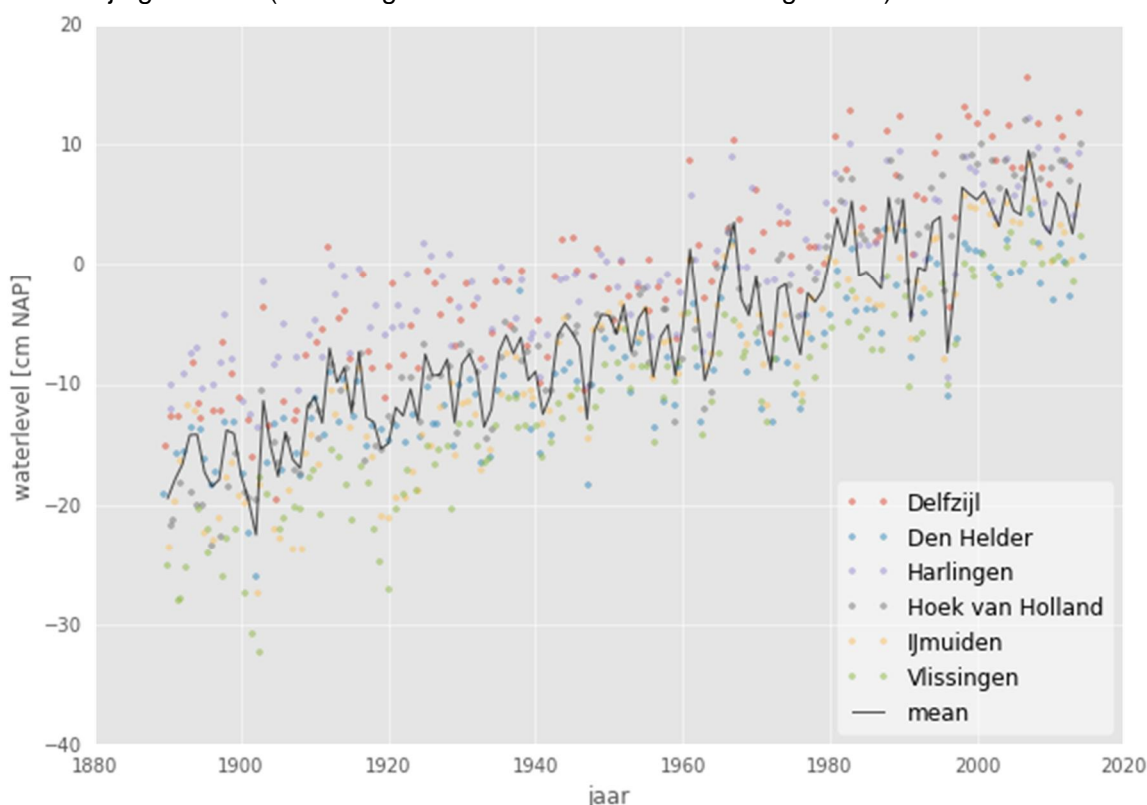


## 2 Begrip

De zeespiegel varieert, door verschillende oorzaken, op verschillende tijd en ruimte schalen. Kunnen we de variaties in de zeespiegel goed verklaren? Weten we welke oorzaken verschillen tussen metingen veroorzaken en hebben we deze kennis goed geformaliseerd in onze methoden?

### 2.1 Regionale verschillen

De getijstations langs de Nederlandse kust verschillen van elkaar. De zeespiegel ten opzichte van het Normaal Amsterdams Peil (NAP) is niet overal even hoog. De trends in zeespiegelstijging variëren tussen de stations van 11 cm/eeuw in Harlingen tot 23 cm/eeuw in Hoek van Holland. Een deel van deze verschillen is toe te schrijven aan menselijke ingrepen. Ook kan een deel van de verschillen samenhangen met de regionaal sterk variërende bodemdaling. Daarnaast is het niet uit te sluiten dat een deel van de verschillen uit historische onnauwkeurigheden bestaan, aangezien de verschillen over de jaren steeds kleiner zijn geworden (stations groeien iets naar elkaar toe in Figuur 2.1).



Figuur 2.1 Zeespiegel ten opzichte van NAP in de 6 hoofdstations

Het belangrijkste doel van het verder onderzoeken van deze verschillen is om meer begrip te krijgen van de onderliggende processen en meer vertrouwen te krijgen in de verklaringen en voorspellingen. Indien men zou vinden dat de regionale verschillen goed verklaard en voorspeld kunnen worden, dan zou men kunnen overwegen om voor ontwerpdoeleinden van regionale keringen de zeespiegel indicatoren regionaal te specificeren.

In dit deel van het onderzoek wordt gekeken welk deel van de verschillen tussen de getijstations verklaard kan worden.

- Uitsplitsing van gezamenlijke en individuele zeespiegel. Het leggen van relaties tussen de individuele afwijkingen met bekende interventies (veranderingen aan de kust, aanpassingen stations) en natuurlijke variaties (verschillen in bodemdaling, zie sectie 3.1, stormen)
- Controle gegevens. Doordat de gegevens vooral verschillend waren in het begin van de vorige eeuw, is het mogelijk dat de regionale verschillen vooral uit historische meetfouten bestaan. Deze controle hangt samen met 4.1.
- Er zijn nieuwe inzichten te verwachten uit onderzoek naar regionale verschillen in windcondities en luchtdrukverschillen op basis van recente regionale modelstudies. Deze kunnen mogelijk verwerkt worden in nieuwe correcties.
- Omdat de zeespiegel niet alleen qua trend varieert maar ook wat betreft absolute waarde, is het logisch om te kijken naar de regionale verschillen in zwaartekracht. Hierbij kunnen gegevens gebruikt worden van de laatste waterpassing en het Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) programma.
- Uitbreiding van de analyse met de niet-hoofdstations. Deze worden normaal gesproken buiten beschouwing gelaten voor de consistentie met eerdere rapportages. Door deze te analyseren kunnen we de ruimtelijke variatie beter beschouwen.

De oplev vorm van dit deelonderzoek zal bestaan uit een online reproduceerbaar reken document en een korte memo.

## 2.2 Kortetermijnvoorspellingen

In het zeespiegelbeleid wordt onderscheid gemaakt tussen drie tijdsperiodes. De huidige zeespiegeltrend wordt gebruikt voor onderhoud. De kortetermijnvoorspelling (kleiner dan 50 jaar vooruit) wordt gebruikt voor lokale ontwerpen en voor toetsing. Voor de langere termijn (groter gelijk aan 50 jaar vooruit) worden zeespiegelscenario's gebruikt voor het ontwerp van kunstwerken en planning (o.a. ruimtelijke ordening).

Sinds de jaren 1990 is er veel aandacht besteed aan het maken van scenario's voor de lange termijn. De voorspellingen op korte termijn zijn sinds 1900 tot 2010 vooral gebaseerd op de recente en huidige trends. Deltares, HKV en KNMI hebben een methode ontwikkeld om de zeespiegel in de aankomende decennia te voorspellen (Dillingh et al., 2010, de Ronde et al., 2014, Baart et al., 2015).

In 2015 heeft ENW advies (ENW 2015) uitgebracht om een deel van deze methode over te nemen. Hierin wordt op het gebied van de kortetermijnvoorspellingen de methode zoals voorgesteld in Baart 2015 over te nemen met aanpassingen:

- Gebruik van ordinare lineaire regressie (zonder acceleratie en niet-lineaire termen) voor gebruik voor onderhoud,
- Gebruik van ordinare lineaire regressie (zonder acceleratie en niet-lineaire termen) voor gebruik voor ontwerp tot 30 jaar vooruit,
- Gebruik van een van de klimaatscenario's voor perioden van 30 jaar en langer.

ENW stelt voor om de integratie tussen klimaatmodellen en statistische modellen niet toe te passen. Er wordt voorgesteld om de gebruikelijke statistische checks (normaliteit, heteroskedasticiteit, stationariteit) ook standaard onderdeel van de methoden te maken. Aanbevelingen over bodemdaling (3.1), onderzoek naar regionale verschillen (2.1), onderbrengen van methode in software met als doel de reproduceerbaarheid (4.1) te bevorderen komen elders terug in deze onderzoeksagenda.



In het ENW advies wordt ook aangegeven dat het wenselijk zou zijn als getij en windopzet gescheiden worden voor de analyse. In de jaargemiddelden die normaal gebruikt worden voor analyse is alleen nodaal getij nog over, dat wordt apart behandeld. Een analyse van de dagelijkse data is eerder uitgevoerd voor de periode 1970-2012, waaruit bleek dat het geen toegevoegde waarde had boven de analyse van jaar gemiddelden (de Ronde et. al. 2012).

Er is op dit moment geen historische getijanalyse beschikbaar over de hele meetperiode. De huidige getijsoftware is niet zonder meer geschikt om over de hele periode (1890 – heden) astronomische getijreeksen te bepalen. De verschillende getij analyse software pakketten hebben beperkingen in het gebruik met data met ontbrekende waarden, niet constante frequentie, jaren voor 1970, wisselende constituenten en reeksen langer dan 1 of 19 jaar. Er loopt een apart project voor een opwaardering van de huidige getijanalyse software. De bedoeling is dat hiermee ook een historie van getijconstituenten kan worden bepaald, welke gebruikt kunnen worden om een historische uitsplitsing van scheve opzet door storm en astronomisch getij te bepalen.

In dit onderdeel zullen de verschillende aanbevelingen van ENW waarvoor extra onderzoek werd gesuggereerd worden doorgevoerd. Het is hierbij belangrijk dat er consensus is over de methodologische overwegingen en dat deze overwegingen aansluiten bij de laatste stand van de kennis. Samen met Rijkswaterstaat zal worden gewerkt aan een heldere richtlijn over welke schattingen voor welke type toepassing, op welke locatie en op welke tijdschaal relevant zijn. De bijdrage van Rijkswaterstat zal vooral bestaan uit het beleggen van workshops met relevante stakeholders.

De oplevervorm van dit deelonderzoek zal bestaan uit een online reproduceerbaar reken document met de methode en een memo met het communicatieplan.

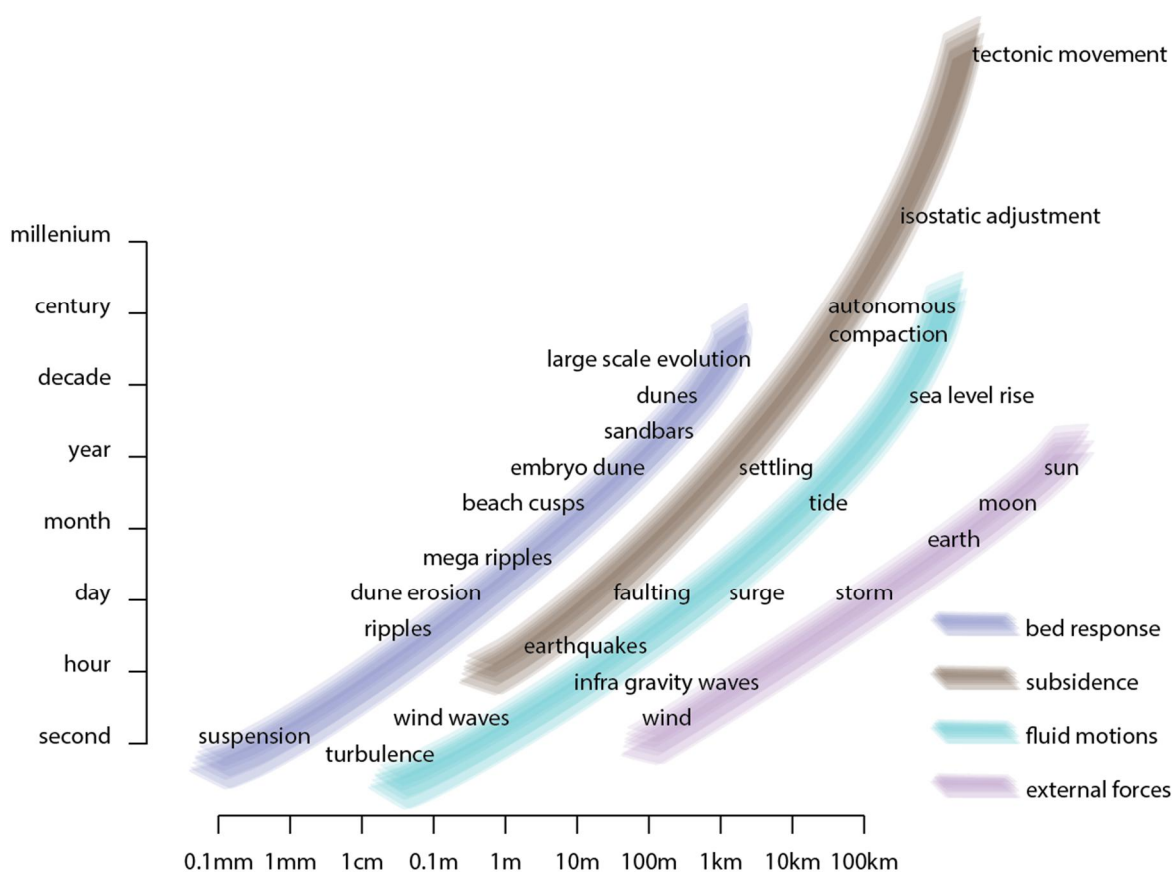


### 3 Integratie

De zeespiegel indicatoren worden door verschillende instituten bepaald en gebruikt voor verschillende doelen en toepassingen. Sluiten de toepassingen van de zeespiegel op elkaar aan en worden alle toepassingen afgedekt?

#### 3.1 Bodemdaling en zeespiegelstijging

De relatieve zeespiegelstijging bevat zowel een bodemdalingscomponent als een absolute zeespiegelstijgingscomponent. Deze twee processen worden doorgaans door aparte vakgebieden bestudeerd en gerapporteerd. Zelfs in het beleid wordt het vaak gescheiden gehouden, in het NWP wordt gesteld: "de relatie tussen bodemdaling en waterhuishouding komt in dit NWP niet aan de orde".



Figuur 3.1 Tijd- en ruimteschalen van natuurlijke processen die een rol spelen bij zeespiegel- en bodemveranderingen. Gebaseerd op (Stive 1995) en (Baart 2013)

De reden dat de bodemdaling soms buiten beschouwing blijft is niet dat deze minder belangrijk is. Op heel veel plekken op de wereld en ook op plekken langs de Nederlandse kust is de bodemdaling vele malen groter dan de absolute zeespiegelstijging als gevolg van klimaatverandering. Het onttrekken van gas en water uit de bodem draagt veel meer bij aan een lokale relatieve zeespiegelstijging dan het uitstoten van broeikasgassen, zeker op de korte termijn. De verschillen zitten vooral in de aansprekendheid en consistentie waarmee de cijfers uit het klimaatonderzoek worden gepresenteerd. De bodemdalingsonderzoekers

presenteren niet consistent dezelfde cijfers en voelen zich niet vrij om extrapolaties naar 2100 en 2200 te rapporteren.

In Figuur 3.1 is een overzicht gegeven van de processen die een rol spelen bij bodem- en zeespiegelveranderingen binnen de delta. Kenmerkend voor bodemdaling is dat het lastiger is om de verschillende componenten te onderscheiden. Het is lastiger om onder de grond te meten dan onder water. Er is wel, net als bij de processen die in het water afspelen, een relatie tussen ruimte en tijdschalen. Het vaststellen op welke tijd en ruimteschaal een proces speelt zegt dus iets over de mogelijke oorzaak.

De hoofdtak van dit deelonderzoek bestaat uit de integratie van bodem- en zeespiegel indicatoren inclusief een overzicht van welke componenten voor welke doelen relevant zijn. Deze integratie zal plaats vinden op basis van bestaande gegevensbronnen en afgeleide indicatoren. Dit onderdeel zal door een multidisciplinair team worden uitgevoerd. Het integreren bestaat voor een deel uit het uitwisselen van inzichten en het vaststellen van een gedeelde semantiek.

De geïntegreerde bodem- en zeespiegelindicator zal worden gedeeld in een workshop waarbij de in Sectie 1.2 genoemde partijen worden uitgenodigd. De workshop zal door WVL worden georganiseerd.

De meest recente uitgebreide studie naar bodemdaling langs de Nederlandse kust resulteerde in een mooi overzicht van wat we weten en kunnen meten (Barends et al., 2008). Sinds dit onderzoek zijn er nieuwe onderzoeken, metingen, analyse- en meettechnieken beschikbaar gekomen. Dit overzicht sluit voor een deel aan bij de eerdere aanbevelingen van de commissie Bodemdaling en Zeespiegelvariatie van het Nederlands Centrum voor Geodesie en Geo-Informatie (NCGEO). Naast het integreren is het ook noodzakelijk om te herzien op basis van welke bronnen we onze bodemdalingsschattingen baseren. Op volgorde van urgentie en mogelijke haalbaarheid kan een deel van de volgende activiteiten worden opgepakt. In de begroting gaan we er van uit dat drie van deze onderdelen worden uitgewerkt.

- Gebruik van recentere Interferometric synthetic aperture radar (InSAR) kan gebruikt worden om kleine en lokale bodemdaling te registreren. Afhankelijk van de ruimtelijke schaal waarop veranderingen plaatsvinden kunnen ze anders geduid worden.
- Nederland kantelt door de postglaciale opheffing. Omdat er geen ijs meer ligt op grote delen van Scandinavië komt het gebied nog steeds omhoog. Nieuwe isostatische modellen op mondiale schaal kunnen beter inschatten of het kantelpunt in Nederland of in Denemarken ligt.
- Analyse van gegevens in de Waddenzee. Het is te verwachten dat er op gebieden waar gas gewonnen wordt sterke bodemdaling plaatsvindt. We hadden verwacht dat terug te zien in de getijmetingen, maar dat is niet zo. Bronnen als de 32 GPS stations in de Waddenzee en de spijkerpuntmetingen zijn beschikbaar, maar worden in de zeespiegel kengetallen niet meegenomen.
- Documentatie/karakterisatie van de ondergrond van de individuele getijdestations (tevens voormalige locaties; sommige stations zijn verplaatst) gericht op compactiegevoeligheid en omgevingsinvloeden (bouwactiviteiten/onttrekkingen)
- Gedetailleerde kartering top Pleistoceen in kustfundament en analyse met oog op differentiële bodemdaling gedurende het Holoceen.
- Overzicht van gaswinningen en opslag en grondwater activiteiten. Deze kunnen lokaal grote effecten op de bodemdaling hebben. Sommige van deze activiteiten staan beschreven maar worden niet tegelijkertijd met de zeespiegelgetallen gepresenteerd.

De oplev vorm van dit deelonderzoek zal bestaan uit een digitale kaart voor de onderzochte deelcomponenten, beschikbaar gemaakt via een webservice. Daarnaast zal een memo met de beschrijving van de bronnen en methode worden opgesteld.

### 3.2 Eenduidige indicatoren

De zeespiegelindicatoren die in het Nederlandse beleid gebruikt worden zijn onderling niet consistent. De cijfers zijn gebaseerd op verschillende methoden, data, perioden, aannames en er worden correcties wel of niet toegepast. Zelfs in de belangrijkste beleidsdocumenten ontstaan hierdoor onduidelijkheden. Twee voorbeelden:

In het NWP waar dit onderzoeksprogramma op aansluit staan zowel de getallen "stijging zeespiegel 35-85 cm" als "25-80 cm zeespiegelstijging in 2085". Voor de (35-85 cm) verwachting is het onduidelijk wat de begin- en eindjaren zijn, voor de (25-80 cm) is het onduidelijk wat het beginjaar is. Waarom ze verschillen is onduidelijk en of het over relatieve of absolute zeespiegelstijging gaat, het staat er niet. Het NWP spreekt bij de cijfers van een verwachting, terwijl de KNMI woorden als "voorspellingen" en "verwachtingen" niet toepasbaar vindt en liever alleen over scenario's spreekt.

In het vierde IPCC rapport stond het percentage van Nederland dat onder zeeniveau ligt fout. Een fout waar de minister voor naar de Tweede Kamer moest komen. Ze antwoordde met de constatering "Van Nederland ligt 26% beneden zeeniveau" en de definiëring van zeeniveau "Zeeniveau is het gemiddelde hoogwaterpeil" (?!) (Cramer2010). Dit was gebaseerd op de correcties van het PBL dat stelt dat "26% van Nederland ligt onder zeeniveau" en in hetzelfde stuk dat "26% van het landoppervlak van Nederland beneden NAP ligt". Dat is weer niet consistent met de bevinding van de minister dat (als men uit gaat van) "genormaliseerd Amsterdams peil (NAP) dan geldt dat 22% van Nederland ligt onder dit NAP.". Zelfs als we op ons scherpst zijn, lukt het niet om de belangrijke indicatoren duidelijk en helder te krijgen.

De gevolgen van een vijf centimeter hogere absolute zeespiegel zijn door de adaptieve aanpak beperkt. De herdefinitie van "zeeniveau" naar gemiddeld hoogwater is nog niet breed doorgevoerd en de conclusies van het IPCC rapport zijn slechts in beperkte mate op de het % van Nederland dat onder water ligt gebaseerd. Het belangrijkste wat we verliezen is begrip en geloofwaardigheid. Door inconsistente gegevens te gebruiken ontstaan misverstanden en door fouten te maken in gevoelige rapporten en brieven verliezen we aan geloofwaardigheid. Zowel bij bodemdalingsonderzoek als zeespiegelonderzoek zijn mensen kritisch. En terecht, als we onze veiligheid baseren op deze schattingen moeten ze kloppen, ook de details.

Reflecterend stelt het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) het volgende (Leefomgeving2015):

*Belangrijker en interessanter dan de fouten waren de vaagheden die soms in de beoordeling optreden. Want geregeld was de redenering achteraf simpelweg niet te controleren, omdat hij te impliciet was gebleven.*

De vaagheid ontstaat doordat de zeespiegel in verschillende domeinen wordt gebruikt. Als we niet definiëren welke factoren wel en niet meegenomen worden, welke begin- en eindperiode wordt gebruikt, wat het referentieniveau is dan laten we ruimte voor misinterpretatie. Het zeeniveau is voor een kapitein laag water, voor een klimatoloog is het de gemiddelde waterstand over een lange periode en voor de kustbeheerder is zeeniveau de waterstand bij hoog water. Allemaal hebben ze vanuit hun vakgebied gelijk, de schipper wil niet vastlopen met zijn boot, klimaat gaat per definitie over langjarige gemiddelden en de kustbeheerder wil dat de dijk niet overstroomt. Een multidisciplinaire aanpak is dus belangrijk.

In dit deelonderzoek wordt een overzicht opgesteld van de verschillende zeespiegelgetallen die op dit moment in gebruik zijn in het kader van ontwerp, planvorming, toetsing en beleid. Er wordt nagegaan welke factoren er wel en niet inzitten, welke definities gehanteerd worden en hoe de cijfers zich tot elkaar verhouden.

De oplev vorm van dit deelonderzoek zal bestaan uit een memo en een wetenschappelijk artikel of congres bijdrage.

## 4 Vertrouwen

Veel beslissingen worden genomen op basis van de zeespiegelmetingen, berekeningen en voorspellingen. Het is belangrijk dat we ze kunnen vertrouwen. Zijn de metingen en de voorspellingen valide en reproduceerbaar?

### 4.1 Reproduceerbaarheid

Al sinds het begin van de metingen van de zeespiegel is er over de afgeleide getallen veel te doen geweest. Over het vaststellen van de precieze stijging was in de 19e eeuw al veel discussie. Van Diesen (1902) kwam uit op 7 cm zeespiegelstijging (over de periode 1700-1860) terwijl Van de Sande Bakhuizen (1908) er 0 cm in zag. Hudde dacht dat het verschil aan het omhoogkomen van het veen lag, maar Van Veen (1945) kon hem daar niet in volgen en daar zijn later de klimaatdiscussies nog bij gekomen.

Voor het vertrouwen in de indicatoren is het belangrijk dat ze, in statistische zin, betrouwbaar en valide zijn. Dit omvat vele aspecten (zie bijvoorbeeld de checklist in Baart (2013)). We concentreren ons hier met name op de traceerbaarheid, reproduceerbaarheid en controleerbaarheid van het proces van meting tot indicator.

De beperkte reproduceerbaarheid speelt regelmatig op. Van Veen (1945) vond de metingen uit Amsterdam onbruikbaar voor trendschattingen omdat op de gegevens oncontroleerbare correcties hadden plaatsgevonden. De Nederlandse gegevens zijn een tijd uitgesloten van de internationale database van de Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL) omdat niet vast stond hoe het proces van meting tot jaargemiddelde was verlopen. Na de invoering van de NAP correctie (Dillingh et al., 2010) worden de gegevens weer toegelaten, maar het advies om de gegevens ook ten opzichte van de peilbouts te rapporteren is, voor zover bekend, niet doorgevoerd. Ook in de voorspellingen speelt de reproduceerbaarheid een rol. De schematisaties en modellen die gebruikt worden voor regionale en globale voorspellingen zijn niet allemaal openbaar beschikbaar.

Het onderzoek naar de reproduceerbaarheid is actueel omdat de kennis van metingen, berekening van kengetallen en voorspellingen slechts bij een handvol mensen belegd is. Vanuit het oogpunt van kennismanagement is het van groot belang dat de reproduceerbaarheid geborgd is.

In dit deelonderzoek wordt het proces van metingen tot voorspellingen nagelopen en gecontroleerd welke stappen uit het proces gedocumenteerd, open beschikbaar en reproduceerbaar zijn. Dit wordt uitgevoerd voor metingen, fysische en statistische modellen.

De oplevervorm van dit deelonderzoek zal bestaan uit een memo en een congres bijdrage.

### 4.2 Voorspelkracht

Een ander belangrijk onderdeel van het vertrouwen in onze kennis van de zeespiegel is in hoeverre we deze kunnen voorspellen. In het enkele dagen vooruit voorspellen van de zeespiegel hebben we grote vooruitgang geboekt. Waar we vroeger de hoog- en laagwaterstanden (inclusief scheve opzet) slechts 3 dagen vooruit konden voorspellen,

kunnen we deze waterstanden tegenwoordig met voorspelkracht (beter dan een referentiemodel met alleen getij) zeven dagen vooruit voorspellen (Baart et al., 2015).

Hoeveel jaren vooruit kunnen we de zeespiegel voorspellen? We maken al zeespiegelvoorspellingen sinds Dantzig (1956) de berekeningen uitvoerde voor de eerste Deltacommissie, maar we weten niet hoe goed we de gemiddelde zeespiegel kunnen voorspellen. De schattingen worden wel van intervallen voorzien, maar we controleren niet of oude voorspellingen kloppen.

In dit deelonderzoek wordt een evaluatie uitgevoerd van de waarde van oude voorspellingen ten opzichte van eenvoudige referentiemodellen. Door vast te stellen hoe goed onze oude voorspellingen zijn en hoe ze verbeterd zijn over de tijd kunnen we hopelijk laten zien dat ook onze voorspellingen een aantal jaar vooruit in de loop van de tijd steeds beter worden.

Hiervoor is een methode om de voorspelkracht vast te stellen. Dit bestaat uit het verzamelen van oude voorspellingen en het kiezen van een eenvoudig referentiemodel.

De oplev vorm van dit deelonderzoek zal bestaan uit een online reproduceerbaar reken document en een congres bijdrage.



## 5 Voorgestelde werkzaamheden

Voor elk onderwerp van de drie hoofdonderwerpen (Begrip, Integratie en Vertrouwen) is een aantal deelonderwerpen geformuleerd. De verwachte producten van de onderdelen en de bijbehorende voorlopige begroting staat in onderstaande tabel. Bij de begroting wordt er van uit gegaan dat de benodigde gegevens open en bruikbaar beschikbaar zijn.

De resultaten zullen gecombineerd worden in een update van de zeespiegelmonitor, die toegankelijk, begrijpelijk en traceerbaar is. De kwaliteitsborging vindt plaats door middel van de procedures die daarvoor afgesproken zijn binnen het KPP programma en het kwaliteitsmanagementsysteem van Deltares.

	Begroting (dagen)	Begroting <sup>1</sup> (kEUR)
<b>2.1 Regionale verschillen</b>	<b>40</b>	<b>52.8</b>
Relaties individuele afwijkingen met bekende interventies en natuurlijke variaties	15	
Onnauwkeurigheden in het meetproces als oorzaak voor de verschillen	10	
Incorporatie van de regionale model studies	5	
Analyse van regionale verschillen in gravitatie	10	
<b>2.2 Korte termijn voorspellingen</b>	<b>30</b>	<b>39.6</b>
Methode verbeteringen	30	
<b>3.1 Bodemdaling en zeespiegelstijging</b>	<b>55</b>	<b>72.6</b>
Voorstel geïntegreerde indicatoren	20	
Deelname en voorbereiding workshop	5	
Updaten van drie componenten	30	
<b>3.2 Eenduidige indicatoren</b>	<b>30</b>	<b>39.6</b>
Overzicht indicatoren in gebruik	10	
Workshop indicatoren	10	
Voorstel uitbreiding / inkrimping indicatoren	10	
<b>4.1 Reproduceerbaarheid</b>	<b>40</b>	<b>52.8</b>
Reproductie metingen	10	
Reproductie fysische modellen	15	
Reproductie statistische modellen	10	
Overzicht en aanbevelingen	5	
<b>4.2 Voorspelkracht</b>	<b>30</b>	<b>39.6</b>
Overzicht oude voorspellingen	10	
Definieren van referentie voorspelling voor voorspellingen vooruit	10	
Analyse van de voorspelkracht en rapportage	10	
<b>5.1 Rapportage en ontsluiting</b>	<b>20</b>	<b>26.4</b>
Gecombineerde rapportage en ontsluiting van resultaten	20	26.4

<sup>1</sup> Op basis van 2016 tarief.

We stellen voor de volgende posterioritering aan te houden bij het uitvoeren van de verschillende taken. De integratie van de verschillende toepassingen van zeespiegelkengetallen verschaft overzicht en is noodzakelijk voor de toepassing van vernieuwde kennis op het gebied van bodemdaling en regionale verschillen. Hiermee wordt gestart. Onderzoek naar de reproduceerbaarheid (van de metingen) en de bodemdaling kan een deel van de regionale verschillen verklaren, daarom stellen we voor die eerst uit te voeren, gevolgd door onderzoek naar regionale verschillen. Daarna is het zinvol om de kortetermijnvoorspellingen verder in te vullen en met de laatste gegevens de voorspelkracht te analyseren.

	2016	2017	2018
2.1 Regionale verschillen			
2.2 Korte termijn voorspellingen			
3.1 Bodemdaling	(in kustgenese 2 o.v.b.)		
3.2 Eenduidige indicatoren			
4.1 Reproduceerbaarheid			
4.2 Voorspelkracht			

## 6 Referenties

- Cramer (2010). *Beantwoording vragen over een nieuwe blunder van het IPCC – antwoorden op vragen*.
- Baart, F. (2013). *Confidence in Coastal Forecasts*. PhD thesis, Delft University of Technology.
- Baart, F., Leander, R., de Ronde, J., de Vries, H., Vuik, V., and Nicolai, R. (2015). *Zeespiegelmonitor 2014*. Technical Report 1209426.202, Deltares, HKV en KNMI.
- Barends, F., Dillingh, D., Hanssen, R., and Van Onselen, K. (2008). *Bodemdaling langs de Nederlandse kust*. IOS Press.
- Borja, A., et. Al.. The European Water Framework Directive and the DPSIR, a methodological approach to assess the risk of failing to achieve good ecological status. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66(1–2):84 – 96, 2006.
- de Ronde, J., Baart, F., Katsman, C., and Vuik, V. (2014). *Zeespiegelmonitor*. Technisch rapport 1208712–000, Deltares, HKV en KNMI.
- van Dantzig. Economic decision problems for flood prevention. *Econometrica*, 24 (3):276–287, 1956.
- Dillingh, D., Baart, F., and de Ronde, J. (2010). *Definitie zeespiegelstijging voor bepaling suppletiebehoefte*. Technisch rapport 1201993–002, Deltares.
- Planbureau voor de Leefomgeving (2015). *Wetenschap en beleid verbinden*. Technisch rapport, PBL.
- Shen, H. (2014). Interactive notebooks: Sharing the code. *Nature*, 515(7525): 151–152.
- Stive, M. and De Vriend, H. (1995). *Modelling shoreface profile evolution*. *Marine Geology*, 126 (1-4): 235–248.
- van Koningsveld, M. and Mulder, J.P.M. (2004). *Sustainable coastal policy developments in the Netherlands. A systematic approach revealed*. *Journal of Coastal Research*, 20 (2): 375–385.
- van Veen, J. (1945). *Bestaat er een geologische bodemdaling te Amsterdam sedert 1700?* Tijdschrift Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap, 2 (62): 2–36.
- ENW (2015). Advies rapporten zeespiegelmonitor, Nummer: ENW-15-23