

# Memo



**Aan**  
Fedor Baart, Deltares

**Datum**  
25 oktober 2017  
**Van**  
Pieter van Gelder

**Kenmerk**  
Repr. statistische modellen  
**Doorkiesnummer**  
+31(0)15 2786544

**Aantal pagina's**  
7  
**E-mail**  
[p.h.a.j.m.vangelder@tudelft.nl](mailto:p.h.a.j.m.vangelder@tudelft.nl)

**Onderwerp**  
Reproduceerbaarheid van statistische modellen voor zeespiegelprojecties

---

## 1 Inleiding

Dit onderzoek vindt plaats in aansluiting op de onderzoeksagenda zeespiegelmonitor (Baart 2014). Veel beslissingen worden genomen op basis van de zeespiegelmetingen, berekeningen, scenario's, en de probabilistische inschattingen hiervan.

In dit deelonderzoek concentreren we ons op de reproduceerbaarheid van de statistische modellen zoals deze gebruikt worden in het zeespiegeldossier. Deze memo sluit aan bij de drie memo's over de reproduceerbaarheid van metingen, de reproduceerbaarheid van de fysica, en de bepaling van de huidige zeespiegel.

## 2 Vraagstelling

De vraag waarop in dit memo antwoord gegeven wordt, luidt: Hoe goed is de reproduceerbaarheid van de door Deltares bepaalde zeespiegelprojecties en onzekerheidsbanden voor de Noordzee tot aan het jaar 2100, en geef daarbij een oordeel op: i) Mate van documentatie, ii) Traceerbaarheid, iii) Overdraagbaarheid, iv) Herhaalbaarheid, v) Herleidbaarheid.

De "Zeespiegelmonitor" is de periodieke rapportage over de stand van de zeespiegel. Deze monitor bestaat uit rapportages en de beschikbaarheid van de methode in de vorm van interactieve rekendocumenten. Naast het periodiek rapporteren wordt ook gewerkt aan het uitbreiden van de kennis en kwaliteit van de zeespiegelmonitor. Voor de periode 2016 tot en met 2018 is een onderzoeksagenda opgesteld, waarin de onderwerpen begrip (Kunnen we de variaties in de zeespiegel goed verklaren?), integratie (sluiten de toepassingen op elkaar aan?) en vertrouwen (zijn metingen en voorspellingen valide en betrouwbaar?). Dit onderzoek maakt onderdeel uit van het onderdeel vertrouwen.

### 3 Onderzoeksmethode

Voor dit onderzoek zijn interviews uitgevoerd met de personen bij Deltares en HKV die betrokken zijn bij het opstellen van de zeespiegelprojecties, te weten:

- Fedor Baart, hoofdverantwoordelijk voor het opstellen van de zeespiegelmonitor (interview 19 juli 2017).
- Robin Nicolai, verbonden aan HKV Lijn in Water, verantwoordelijk voor de operationele statistische analyses van de zeespiegel en de gevolgen daarvan voor het kustbeleid (interview 18 juli 2017).

Reproduceerbaarheid wordt onderzocht door de volgende aspecten te onderzoeken: i) Mate van documentatie, ii) Traceerbaarheid, iii) Overdraagbaarheid, iv) Herhaalbaarheid, v) Herleidbaarheid.

### 4 Resultaten

Bij het opstellen van de statistische modellen voor jaargemiddelde zeewaterstanden en de projecties daarvan naar de toekomst wordt uitgegaan van waargenomen zeespiegelmetingen uit het verleden. Daarbij worden de volgende aspecten meegenomen:

- Invloed van de wind op de waargenomen zeewaterstanden, zoals geconstateerd door De Ronde et al. (2013);
- Inklinking van de bodem; de projecties geven hiermee een beeld van de kansverdelingen van de relatieve verandering van zeeniveau langs de Nederlandse kust, zoals beschreven in Dillingh et al. (2010);
- Niet-lineariteiten in de zeespiegelstijging, waaronder het sinusoidale getij (18,6 jarige cyclus) en de kwadratische invloed met de jaargemiddelde windsnelheid en jaargemiddelde windrichting;
- Een hogere weging aan recente data in vergelijking met oudere waarnemingen
- Een weging met de voorspellingen uit een fysisch gebaseerd klimaat model, waarin processen zijn meegenomen t.g.v. temperatuursverandering en de invloed daarvan op het oceaanniveau door uitzetting van water en smelting van ijskappen, veranderingen van de zeespiegel die samenhangen met aanpassingen in de grootschalige circulatie en verandering in de luchtdruk aan het oppervlak en tot slot elastische deformatie en aanpassingen van het zwaartekrachtsveld ten gevolge van het smelten van landijs. De combinatie van beide modellen leiden tot een meer betrouwbare en meer valide schatting van de toekomstige zeespiegelstijging.

Tabel: overzicht databronnen voor de zeespiegelprojecties.

Databron	Openbaar	Online beschikbaar	Opmerkingen
PSMSL zeewaterstanden van de 6 hoofdstations	ja	Ja via: <a href="http://www.psm.org/">http://www.psm.org/</a>	NAP correctie is toegepast. Verschillen met RWS data zijn geconstateerd.
Luchtdrukken uit de National Centers for Environmental Prediction NCEP/NCAR heranalyses	ja	Ja via: <a href="https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html">https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html</a>	Luchtdrukken voor 1948 niet beschikbaar.
Jaargemiddelde gekwadrateerde windsnelheid en –richting op basis van de NCEP/NCAR heranalyses	ja	Ja via: <a href="https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html">https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html</a>	Winddata voor 1948 niet beschikbaar.
Jaargemiddelde waterstanden station Amsterdam (vanaf 1700)	na te gaan	na te gaan	

### Mate van documentatie

De methode is goed gedocumenteerd in technische rapporten van Deltares. Rapporten (368707, 368722, 237918) zijn digitaal te downloaden via de Hydrotheek van <http://library.wur.nl/>

Er wordt uitgegaan van bovenstaande databronnen.

De modelkeuze en de keuze voor een niet-parametrische smoothing methode, bijbehorende span en wegingsfunctie voor recente waarnemingen zijn beargumenteerd. De schatting van de modelparameters en de smoothing gebeuren met het statistisch pakket R en Python.

De keuze tot het combineren van het fysisch model (De Vries et al., 2014) en het statistische model zoals beschreven in Baart, 2015, evenals de methoden om de modellen te combineren met een Bayesiaanse modelweging is goed gedocumenteerd.

### Traceerbaarheid

De zeespiegelprojecties komen tot stand door het uitvoeren van de beschreven methode op de aangegeven brondata, en staan eveneens (deels) beschreven incl. source code en commentaarvelden op:

<https://github.com/openearth/sealevel/blob/master/notebooks/dutch-monitor.ipynb>

In De Ronde et al. (2013) wordt verwezen naar Deltares (2010) dat de NAP-correctie (vanaf 2005) is doorgevoerd in de Nederlandse tijdreeksen met NAP als referentieniveau.

Tevens speelt er een mogelijke trendbreuk bij 1993 bij de overstap naar TOPEX/Poseidon metingen.

Om een homogene reeks te verkrijgen moet deze weer ongedaan gemaakt worden (Deltares, 2010), maar de aanpak hoe deze homogenisatie plaatsvindt kan in Deltares (2010) niet getraceerd worden. Naast een trendcorrectie dient er bij homogeniteit en stationariteit ook gelet te worden op heteroscedaciteit en mogelijke autocorrelaties in de data. Verdere details daarover zijn in de review niet teruggevonden. Homogeniteitsanalyses dienen zowel voor waterstanden als windsnelheden plaats te vinden.

Data over windsnelheden voor 1948 zijn niet beschikbaar. Deze worden in de modellering vervangen door een constante gemiddelde windsnelheid. De consequenties van een dergelijke aanname zijn verder niet onderzocht.

Het is traceerbaar hoe de kwaliteit van een statistisch model is beoordeeld. Dit is gebeurd aan de hand van AIC. Tevens is traceerbaar wat het resultaat was van de Durbin-Watson toets en de Jarque-Bera (JB) toets.

Het is traceerbaar hoe de weging van het fysische model met het statistische model heeft plaatsgevonden. Echter, de computer code is op de Github site niet achterhaald kunnen worden.

### **Overdraagbaarheid**

De overdraagbaarheid van de methode is goed. In de afgelopen jaren (sinds 2010) is de methode ontwikkeld en toegepast door:

ir. D. Dillingh (Deltares)  
dr. F. Baart (Deltares)  
ir. J.G. de Ronde (Deltares)  
dr.C.A.Katsman (KNMI & TUD)  
ir.V.Vuik (HKV)  
ir. R. Leander (Deltares),  
dr. H. de Vries (KNMI),  
dr. R. Nicolai (HKV)  
ir. M. van Hoek (HKV)  
ir. C. v.d. Vries (Deltares)  
dr. ir. H. v.d. Boogaerd (Deltares)  
ir. G. Rongen (HKV)

Meerdere personen zijn dus bekend met de methode. Opvallend is echter de afwezigheid van auteurs van het Ministerie van I&M / RWS. De publicaties over zeespiegelstijging zijn ook steeds met meerdere auteurs tot stand gekomen. De software code is verder open source en staat gedocumenteerd op de Github site, hoewel nadere toelichting, zoals bijv. een gedetailleerde handleiding, gewenst is. Zo kan de weging fysica vs. statistiek niet direct teruggevonden worden in de code.

Overdraagbaarheid, middels het ontwikkelen van open source model code en - data, is ook gerelateerd aan de inbedding in het universitaire onderwijs. Aan de TU Delft wordt aan de technische faculteiten nog relatief weinig onderwijs gegeven over samenwerking middels open source model code ontwikkeling. Een uitzondering is het onderwijs bij de

faculteit Lucht- en Ruimtevaart, waar in het 1<sup>e</sup> jaar het vak Programming & Scientific Computing in Python wordt gedoceerd. Aanbevolen wordt om dit ook bij andere faculteiten onder de aandacht te brengen, met name bij een faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen.

Tot slot, overdraagbaarheid naar het publiek is ook van belang. Het publiek zou middels overzichtelijke informatie toegang moeten hebben tot het zeespiegeldossier. Een rol die vanuit de overheid vervuld moet worden.

### Herhaalbaarheid

Om herhaalbaarheid te onderzoeken, zou de programmatuur door verschillende onderzoeksgroepen moeten worden gerund en de resultaten met elkaar moeten worden vergeleken, op eenzelfde manier als beschreven in de studie van Mathiesen et al. (1994). Dat valt echter buiten de scope van de onderliggende review.

De methodiek voor de bepaling van de statistische fits is op abstractie niveau de afgelopen jaren, sinds 2010, hetzelfde gebleven en inmiddels door verschillende personen toegepast. Er wordt wel aanbevolen om meerdere gevoeligheidsexperimenten uit te voeren om de mate van stabiliteit te bepalen. In de documentatie is slechts 1 gevoeligheidsanalyse aangetroffen, betreffende de locatiekeuze.

Het artikel Baart et al. (2012) is inmiddels 52x geciteerd in de wetenschappelijke literatuur, dat daarmee aangeeft dat de statistische methode 'omarmd' wordt door de international sea-level rise community.

### Herleidbaarheid (software en data)

De resultaten in de zeespiegelmonitor van Baart et al. 2015 zijn gebaseerd op een implementatie van de statistische methoden in *R* / *Python*. Deze code is publiek beschikbaar en in versiebeheer op Github.

De herkomst van de brondata is gedocumenteerd en de data is openbaar beschikbaar. Echter, Mattijn van Hoek (HKV) heeft een paired difference analysis RWS and PSMSL data uitgevoerd en concludeerde dat: "Numeric Monthly PSMSL data cannot be reproduced exactly using the RWS data available through their webservices. Certain validation and processing methods have been applied on the raw values before RWS has submitted their resampled monthly data to PSMSL".

*Tabel: verschillen zoals geconstateerd door M. van Hoek*

	IJMDBTHVN	VLISSGN	HOEKVHLD	DENHDR	DELFLZL	HARLGN
<b>absolute mean difference (cm)</b>	0.394272	0.245511	0.532790	0.130802	0.606863	0.143925
<b>absolute max difference (cm)</b>	126.800000	17.378134	44.345186	15.859767	41.565789	17.009375

## 5 Adviezen

Het oordeel over de i) Mate van documentatie, ii) Traceerbaarheid, iii) Overdraagbaarheid, iv) Herhaalbaarheid, v) Herleidbaarheid van de statistische modellen in de analyse van zeespiegelstijging is overall positief. Deltares heeft hiertoe belangrijke stappen voorwaarts gezet en Nederland kan hiermee als voorloper in de wereld worden aangemerkt.

Enkele malen is in de analyse op basis van face-validiteit (“wat oogt goed”) gekozen voor een specifieke methode (bijv. de keuze voor een lineaire LOESS, of de keuze voor het meenemen van de Amsterdam term). Wellicht dat hier op basis van data op andere locaties (Denemarken, Verenigd Koninkrijk), hindcasting en expert judgment met experts uit de internationale sea-level rise community meer onderbouwing voor kan worden gegeven.

Naast de bepaling van kansverdelingen voor jaargemiddelde zeewaterstanden, zijn de bepaling van kansverdelingen voor daggemiddelde zeewaterstanden en de bepaling van kansverdelingen voor jaarmaximale zeewaterstanden van belang voor het Nederlandse kustbeleid. Bij zeewaterstanden kan het dan zowel gaan om de daadwerkelijk gemeten waterstanden als om de (scheve) windopzetten, gecorrigeerd voor getij. We bevelen aan om voor deze variabelen een soortgelijke review uit te voeren wat betreft de scoring van de deelaspecten i) Mate van documentatie, ii) Traceerbaarheid, iii) Overdraagbaarheid, iv) Herhaalbaarheid, v) Herleidbaarheid.

De gevoeligheid van de variabelen  $t$ ,  $T_H$ ,  $N$ ,  $U^2 \cos$ ,  $U^2 \sin$ ,  $P$ ,  $NAO$  en  $Q$  volgen direct uit het regressiemodel, zoals gerapporteerd in De Ronde et al. (2014). De gevoeligheid van de locatiekeuze is onderzocht met een locatie dicht bij de Nederlandse kust: (lat,lon) = (54.2846°, 3.7500°). Deze wijziging leverde geen noemenswaardige verschillen op in berekende zeespiegelstijging en verklaarde variantie. Het wordt aanbevolen om meerdere gevoeligheidsanalyses uit te voeren en daarmee de robuustheid van de voorspellingen te onderzoeken, zoals de gevoeligheid van de grootte van het tijdsvenster, de keuze voor daggemiddelde of jaargemiddelde windsnelheden, etc.

De beschikbaarheid van alle source data, en de gedetailleerde commentaarregels op de code op <https://github.com/openearth/sealevel/tree/master/notebooks> wordt als zeer belangrijk ervaren. Dit stelt onderzoekers in staat om zorgvuldige (her)analyses uit te voeren, die zonder deze beschikbaarheid onmogelijk zouden zijn. Overweeg om alle model code, data en handleidingen beschikbaar te stellen via een site van Rijkswaterstaat. Bewaartermijnen van model code en data kunnen door de overheid worden vastgesteld.

Het zeespiegeldossier wordt naast zeespiegelstijging ook beheerst door bodeminklinking. Het vele modelleerwerk voor zeespiegelstijging staat in contrast met het weinige modelleerwerk voor bodemdaling. Aanbevolen wordt om statistische – en fysische modellen te ontwikkelen voor de projecties van bodeminklinking.

Universiteiten in Nederland en GTI's hanteren de Gedragscode Wetenschapsbeoefening met principes van goed wetenschappelijk onderwijs en onderzoek. De uitgangspunten zijn:

- eerlijkheid en zorgvuldigheid
- betrouwbaarheid
- controleerbaarheid

- onpartijdigheid
- onafhankelijkheid
- verantwoordelijkheid

De onderzoeksagenda zeespiegelmonitor (Baart 2014) geeft 'handen en voeten' aan deze gedragscode door met name de controleerbaarheid en betrouwbaarheid kritisch te bestuderen. De discussie hierover binnen de ingenieurswetenschappen loopt wellicht achter op de sociale wetenschappen. Binnen de ingenieurswetenschappen zijn ook verschillen te zien. De klimaatwereld loopt voor op de kustmorfologische wereld. De 'rivierenwereld' heeft ook nog een flinke slag te maken.

## 6 Referenties

Baart, Fedor, Robert Leander, John de Ronde, Hylke de Vries, Vincent Vuik, Robin Nicolai, (2015): Zeespiegelmonitor 2014. Deltares rapport 1209 426.202

Baart, F, PH Van Gelder, J De Ronde, M Van Koningsveld, B Wouters, 2012. The effect of the 18.6-year lunar nodal cycle on regional sea-level rise estimates, Journal of Coastal Research 28 (2), 511-516.

Deltares (2010). Definitie zeespiegelstijging voor bepaling suppletiebehoefte; Rekenmodel t.b.v. handhaven kustfundament. D. Dillingh, F. Baart en J.G. de Ronde. Deltares rapport 1201993-002.

De Ronde, J., F. Baart, C. Katsman and V. Vuik, 2013. Zeespiegelmonitor. Tech. Rep. 1208712-000, Deltares, HKV en KNMI.

Dillingh, D., B. Fedor and J. de Ronde, 2010. Definitie zeespiegelstijging voor bepaling suppletiebehoefte. Tech. Rep. 1201993-002, Deltares.

Mathiesen , Martin, Yoshimi Goda , Peter J. Hawkes , Etienne Mansard , María Jesús Martín , Eric Peltier , Edward F. Thompson & Gerbrant Van Vledder, Recommended practice for extreme wave Analysis, Journal of Hydraulic Research 32(6):803-814 · November 1994.

Vries, H. de, C. Katsman and S. Drijfhout, 2014. "Constructing scenarios of regional sea level change using global temperature pathways." Environmental Research Letters 9 (11): 115007. URL <http://stacks.iop.org/1748-9326/9/i=11/a=115007>.