

## Actualisatie seichestatistiek Rotterdam

Verkenning invloed inzet nieuwe meetdata 2007-2023



**Actualisatie seichestatistiek Rotterdam**  
Verkenning invloed inzet nieuwe meetdata 2007-2023

**Auteur(s)**

M.P.C. de Jong

M.A.J.P. van Dam

Bron kaftafbeelding: AI-gegenereerde afbeelding (Artificial Intelligence – Microsoft Copilot) op basis van de omschrijving 'A frontpage picture for a report on an actualization of the seiche statistics in the Rotterdam harbor'

## Actualisatie seichestatistiek Rotterdam

Verkenning invloed inzet nieuwe meetdata 2007-2023

<b>Opdrachtgever</b>	SITO-PS
<b>Contactpersoon</b>	P. Oosterlo (RWS-WVL)
<b>Referenties</b>	Plan van Aanpak opdracht BOI januari tot juli 2024 (versie 0.6 d.d. 21 maart 2024). Email met beschrijving inhoud en aanpak huidige verkenning, J. Groeneweg, 3 april 2024. Email met opdrachtbevestiging, P. Oosterlo, 4 april 2024.
<b>Trefwoorden</b>	Seiches, havenresonanties, statistiek, opzet, BOI

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	16-12-2024
<b>Projectnummer</b>	11210372-001
<b>Document ID</b>	11210372-001-GEO-0002
<b>Pagina's</b>	28
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

	M.P.C. de Jong M.A.J.P. van Dam	

# Samenvatting

Deze rapportage beschrijft een studie naar de statistiek van seiches in het Rotterdamse havengebied. Seiches zijn lange staande golven in (half-)afgesloten waterdelen, zoals in havens. Ook in Rotterdam treden zij op, vooral in het westelijke deel van de haven, met slingerperiodes in de orde van een uur. Seiches hebben in dat gebied onder andere een invloed op de hydrodynamische belastingen die relevant zijn voor het Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium (BOI) voor de lokale primaire waterkeringen.

In eerdere studierondes voor BOI (2010, 2014) is door Deltares statistiek van de invloed van seiches in het Rotterdamse havengebied afgeleid. Daarvoor was toen circa 15 jaar aan waterstandsmetingen beschikbaar. Inmiddels is er 16 jaar aan aanvullende meetgegevens beschikbaar. In een parallelle studie onder SITO-PS (11210307) zijn in 2024 die meetgegevens ingezet om nieuwe statistiek van seiche-amplituden af te leiden. Die statistiek is relevant voor evaluatie van het ontwerp en de operationele inzet van de Maeslantkering.

Voor BOI is een andere seicheparameter relevant: het netto seiche-effect (NSE). Dat is het netto waterstandsverhogende effect van een seiche op een hoogwater. In de huidige studie zijn de nieuwe meetgegevens door Deltares ingezet om na te gaan of het toevoegen van meer meetdata zou leiden tot andere statistiek van het NSE in Rotterdam. In deze verkennende studiefase zijn voor een efficiënte check tussenuitkomsten voor meetlocatie Rozenburgse Sluis geanalyseerd, effectief de bronstatistiek van het NSE in Rotterdam, nog voorafgaand aan doorvertaling van die waarden naar de verschillende specifieke BOI-uitvoerlocaties.

Als startpunt van deze verkennende studiefase is een beknopt overzicht gemaakt van de vier hoofdstappen die doorlopen worden om van waterstandsmetingen in de haven te komen tot de relevante statistiek van het NSE op de BOI-uitvoerlocaties in het gebied. Dit overzicht illustreert dat het proces bestaat uit meerdere processtappen en instellingen, die opnieuw geëvalueerd zouden kunnen worden. In deze studiefase zijn de eerste drie van die stappen doorlopen, uitgaande van de oorspronkelijke aanpak. Merk op dat dit slechts een beperkt deel van de werkzaamheden beslaat; de vierde stap in het proces vergt veruit het meeste werk.

Bestaande rekencodes – voor het laatst toegepast op meetdata, door Deltares, in 2010 – zijn voor de huidige studie uit het Deltares-projectarchief opgehaald en succesvol opnieuw ingezet. Met die rekencode kon de voorgaande statistiek van het NSE (2010) worden gereproduceerd, met beperkte, verklaarbare verschillen. Vervolgens is ten bate van toekomstbestendigheid de rekencode vanuit Matlab omgezet naar Python. Die codeversie is vervolgens, na enkele verbeteringen, door Deltares ingezet om de invloed van de nieuwe meetdata te analyseren.

De nieuwe uitkomsten op basis van de vergrote dataset blijken slechts beperkt anders dan de eerdere resultaten uit 2010/2014; de nieuwe statistiek van het NSE is vergelijkbaar in grootte en doorgaans net iets lager, tot maximaal 7 cm bij een herhalingstijd van 300.000 jaar.

Toch zijn er meerdere redenen om een vervolgstudie op dit onderwerp te starten, enerzijds om de nieuwste statistiek op basis van de huidige havengeometrie over te zetten naar de BOI-uitvoerlocaties, anderzijds omdat de NSE-statistiek inmiddels anders ingezet zou kunnen worden. In 2010/2014 werd het NSE nog simpelweg opgeteld bij de andere bijdragen aan een maatgevend hoogwater; inmiddels zou er rekening gehouden kunnen worden met onder andere het tijdsverloop van een seicheslingering (vanuit 'het verhaal van de kering'). Op die manier zou ook de toepassingswijze van het NSE vernieuwd kunnen worden en zo meer in lijn worden gebracht met de huidige inzichten en werkwijzen binnen het BOI.

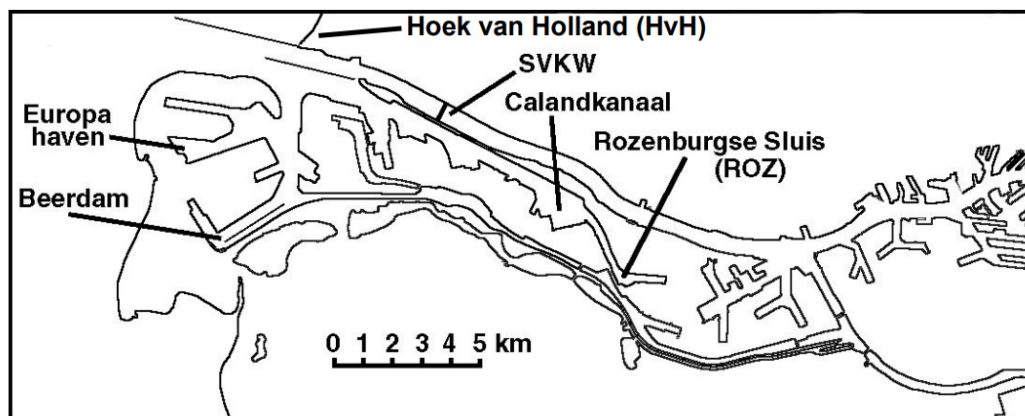
# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>6</b>
1.1	Aanleiding en achtergrond	6
1.2	Vraagstelling	7
1.3	Aanpak	8
1.4	Leeswijzer	8
<b>2</b>	<b>Processtappen seiches Rotterdam in BOI</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Vernieuwing seichestatistiek</b>	<b>11</b>
3.1	Beschikbare data en deeldatasets	11
3.2	Reproductie originele studie	11
3.2.1	Context	11
3.2.2	Reproductie van uitkomsten 2010/2014 op basis van ongewijzigde aanpak	12
3.2.3	Aangepaste herberekening eerdere NSE-statistiek	14
3.3	Invloed nieuwe meetdata op statistiek NSE	16
3.4	Seichestatistiek voor en na aansluiting MV2	18
<b>4</b>	<b>Conclusies en vooruitblik</b>	<b>21</b>
4.1	Conclusies	21
4.2	Vooruitblik naar mogelijk vervolgstudies	22
	<b>Referenties</b>	<b>24</b>
<b>A</b>	<b>Werkplan seiches BOI V1.0</b>	<b>25</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en achtergrond

Voor het afleiden van de hydraulische belastingen (HB) binnen het Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium (BOI) in de regio van de Rotterdamse haven is het effect van seiches relevant. Seiches zijn lange golven in (gedeeltelijk) afgesloten waterlichamen, zoals meren, baaien en havens, die door resonantie lokaal opslingeren en zo versterkt worden. Ze komen ook voor in de bekkens in het westelijke deel van de Rotterdamse haven (zie Figuur 1-1). In Rotterdam worden seiches tijdens overtrekkende stormen over de Noordzee opgewekt door periodieke meteorologische verschijnselen en/of (kou-)frontpassages. De eigenperiodes waarmee een bekken reageert op die inkomende golven, hangen af van de lengte en diepte van dat bekken. In het westelijke deel van de Rotterdamse haven komen seiches voor bij eigenperiodes van orde 1 uur. Het meest uitgesproken effect wordt gemeten op de locatie Rozenburgse Sluis (ROZ, Figuur 1-1). Om die reden, en simpelweg omdat de langste tijdreeks beschikbaar is voor ROZ, wordt deze locatie in voorgaande studies gebruikt als de bron van referentiemeetgegevens van seiches in dit gebied, en zo ook in de huidige studie.



Figuur 1-1: Schets van Rotterdamse havengebied met de posities van voor de huidige studie relevante locaties.

Voor de weergave van seiches in BOI wordt gewerkt met het Netto Seiche-Effect (NSE), dat het netto waterstandsverhogende effect van seiches beschrijft (Deltares, 2010, 2014)<sup>1</sup>. Getallen voor het NSE in de havens zijn voor het laatst afgeleid in een studie uit 2014 in het kader van WBI2017, gebaseerd op data tot augustus 2007. Inmiddels is circa 16 jaar aan nieuwe meetdata van waterstanden bij ROZ beschikbaar (2007-2023). De impact van seiches, ten opzichte van sommige andere aspecten binnen de HB, is relatief beperkt (in aantal kilometers kering en in grootte). Echter, juist de extreme condities zijn relevant voor BOI en daardoor zal het toevoegen van meer meetgegevens (grofweg een verdubbeling) aan de berekening van seichestatistiek voor zeer lange herhaaltijden juist ook voor BOI relevant zijn.

In 2024 is onder SITO-PS parallel aan de hier beschreven verkenning een studie uitgevoerd naar de invloed van seiches op de Maeslantkering (MLK) (Deltares, 2024). Er zijn grote links tussen die studie en de hier beschreven werkzaamheden, maar er zijn ook verschillen. Desalniettemin is het daarom juist op dit moment nuttig om ook voor BOI de stand van zaken

<sup>1</sup> In 2009 heeft Deltares een rapportage aangemaakt met een eerste vernieuwing van eerdere berekeningen voor de seiches in het Rotterdamse havengebied. Echter, in de hier geciteerde rapportage uit 2010 zijn die berekeningen verder uitgewerkt en geanalyseerd. Daarmee kwamen de resultaten en voorlopige interpretaties uit de studie van 2009 te vervallen. Om die reden is de rapportage uit 2009 ook niet opgenomen in de referentielijst.



voor seiches op te frissen en zo het momentum dat opgestart is vanuit de andere SITO-PS-studie naar de seiches in Rotterdam te benutten. Op die manier zorgen we via meerdere studies voor kennisborging bij een bredere groep experts binnen Deltares en binnen RWS en maken we kennisdeling mogelijk met organisaties anders dan RWS en Deltares.

Seichestudies voor de MLK (meest recent in Deltares, 2024) zijn veelal gericht op seicheamplituden. De reden daarvoor is dat de kritieke belasting voor de MLK wordt gevormd door negatief verval en de grootte van het negatief verval wordt vooral beïnvloed door de seicheamplitude. Die invloed is vooral kritiek rond het begin of eind van de storm als er niet veel positieve opzetbuffer is. Zoals hierboven reeds vermeld, gaat het voor BOI juist over de hoogwaterwaarden en welke netto-invloed de seiches daarop hebben. Dat betekent dat dezelfde veldmeetgegevens toepasbaar zijn voor een update van seiches Rotterdam binnen BOI, maar dat er daarbij nog wel een andere statistische analyse benodigd is dan recent voor de kritieke belasting op MLK (Deltares, 2024) is uitgevoerd. Effectief is dat een gedeeltelijke update van de analyses beschreven in Deltares (2010, 2014). De werkzaamheden en uitkomsten van die verkennende studie staan in de huidige rapportage beschreven.

## 1.2 Vraagstelling

Eerder in 2024 is tussen RWS en Deltares besproken welke openstaande vragen er bestaan rondom seiches in Rotterdam en hun impact op de berekeningen binnen BOI. Directe aanleiding daarvoor was de eerder genoemde parallel lopende studie naar de statistiek van seicheamplituden voor de MLK (Deltares, 2024). In een korte notitie zijn in overleg meerdere potentiële onderzoeksonderwerpen voor seiches verzameld vanuit de context van het BOI en is ook een selectie 'no-regret'-taken geïdentificeerd. Ter vastlegging is die notitie hier opgenomen als Bijlage A.

Uitgaande van de nummering zoals oorspronkelijk toegepast in de notitie in Bijlage A is in de huidige verkennende fase gewerkt aan de volgende taken:

### 0. Samenvatten en oprissen:

De aanpakken, uitgangspunten, (statistische en model) onzekerheden en uitkomsten van de eerdere studies en MLK-studie samenvatten en weer oprissen naar het hier en nu (veel van het werk is 10-15 jaar geleden gedaan). Daarna kunnen de vervolgwerkzaamheden uitgevoerd gaan worden.

### 1. Update statistiek NSE ROZ:

Voor BOI is het relevant om de invloed van het toevoegen van nieuwe meetdata op de NSE-statistiek te checken, bijvoorbeeld om na te gaan of hier wijzigingen in het NSE of eventuele trendbreuken uit voortkomen. Het meenemen van nieuwe meetdata en updaten van de statistiek kan mogelijk de onzekerheidsbanden verkleinen. Bij een geringe wijziging in de bronstatistiek van het NSE bij ROZ zal de invloed daarvan op de waarden in het gehele havengebied (en dus de BOI uitvoerpunten) ook gering zijn.

Het resultaat van Taak 0 is een overzicht van de oorspronkelijke aanpak gevolgd voor de seichestatistiek voor Rotterdam binnen BOI. Dat vormt daarmee het uitgangspunt voor verdere taken. Dat overzicht laat onder andere zien waar aanknopingspunten zijn voor verbeteringen en optimalisaties in mogelijke vervolgstudies. De uitkomsten van Taak 1 laten voor locatie ROZ zien wat de impact is van de inzet van extra nieuwe meetdata op de referentie/bronstatistiek op die locatie, dus voorafgaand aan vertaling van die waarden naar alle BOI-uitvoerpunten. Hiervoor wordt in deze verkennende fase vooralsnog dezelfde oorspronkelijke aanpak en methodes ingezet als in voorgaande studies. Als de invloed bij ROZ groot zou blijken te zijn, kan mogelijk besloten worden verdere onderzoekstaken uit te voeren in vervolgjaren onder SITO-PS. Indien de verschillen beperkt blijken, zal een verdere update van de seichestatistiek niet om die reden benodigd zijn, maar mogelijk nog steeds wel voor andere redenen (Paragraaf 4.2).

## 1.3 Aanpak

Zoals hierboven genoemd wordt Taak 0 gezien als het uitgangspunt/startpunt voor de verdere mogelijke taken, indien gewenst door RWS. Voor die taak is informatie uit voorgaande studies, en specifiek Deltares (2010, 2014), verzameld en opgenomen in een tabel (Tabel 2-1). Het gaat daarbij om een analyseproces bestaande uit vier hoofdstappen. In de aangemaakte tabel staan per stap de belangrijkste onderdelen, aanpakken en aannames vermeld. De destijds gekozen aanpak en de onderliggende aannames zouden in een vervolg heroverwogen kunnen worden. Onder Taak 1 is in deze verkennende studiefase eerst Stap 1–3 van het analyseproces her-berekend, inclusief nieuw beschikbaar gekomen meetgegevens en uitgaande van de oorspronkelijk ingezette statistische methode en rekencodes.

Voor Taak 1 zijn de rekencodes in Matlab zoals ingezet in Deltares (2010, 2014) uit het projectarchief van Deltares gehaald en opnieuw inzetbaar gemaakt. Met de oorspronkelijke code, gecombineerd met de destijds ingezette jaren aan meetdata en ongewijzigde data-analyse, konden de oorspronkelijke uitkomsten uit 2010 succesvol worden gereproduceerd. Dat wil zeggen: met acceptabele en verklaarbare (kleine) verschillen.

Met het oog op inzetbaarheid in de toekomst is de code als onderdeel van de huidige verkenning vervolgens omgezet naar Python. Daarnaast zijn enkele (kleine) verbeteringen doorgevoerd (in latere hoofdstukken beschreven). Die aangepaste aanpak is vervolgens ingezet op de in voorgaande studies oorspronkelijk voor het BOI ingezette meetdata (1989–2005, Deltares, 2010), voor de nieuwe meetdata (2006–2023) en voor de combinatie van die twee. Op die manier is bepaald hoe de statistiek voor het NSE op basis van de nieuwe dataset zich verhoudt ten opzichte van die statistiek verkregen op basis van de oorspronkelijke dataset. Daarnaast is een opsplitsing gemaakt in meetgegevens tot de aansluiting van Maasvlakte 2 (MV2) aan de rest van de havengeometrie (25 november 2012) en daarna. Dat is naar verwachting voor de seiche-respons van de haven de meest impactvolle geometrie-aanpassing die tijdens het totaal beschikbare data-interval doorgevoerd is<sup>2</sup>. Op die manier is ook de statistiek van het NSE voor en na die aanpassing vergeleken, mede naar aanleiding van resultaten in Deltares (2024). In die studie is een betrekkelijk grote trendbreuk geïdentificeerd, die wordt toegeschreven aan die grote geometrieaanpassing.

## 1.4 Leeswijzer

De huidige rapportage is opgezet als een compact document met focus op de in 2024 uitgevoerde werkzaamheden en nieuwe uitkomsten. Voor details en achtergrondinformatie over de oorspronkelijk gevolgde aanpak voor het NSE en de bijbehorende voorgaande statistiek verwijzen wij naar Deltares (2010, 2014).

Hoofdstuk 2 beschrijft het aangemaakte overzicht met de vier hoofdstappen binnen het analyseproces van de seiches in Rotterdam, van waterstandsmetingen op een vast meetpunt in de haven naar uiteindelijk de waarden van het NSE op de BOI-uitvoerlocaties voor verschillende herhaaltijden. Dit jaar is gewerkt aan de eerste drie stappen uit dat proces, voor nu nog uitgaande van de bestaande aanpak. Die werkzaamheden en uitkomsten staan beschreven in Hoofdstuk 3. De conclusies van de hier beschreven werkzaamheden staan samengevat in Hoofdstuk 4, samen met een voortuitblik naar een mogelijke vervolgstudie, indien door RWS gewenst.

Bijlage A bevat het document aangemaakt op 28 maart 2024 met verzamelde kennisvragen en -taken voor seiches in relatie tot het BOI, eerder afgestemd tussen RWS en Deltares.

---

<sup>2</sup> Eerder is onder andere de Beerdam (Figuur 1-1) gedeeltelijk verwijderd en zijn op die manier extra verbindingen in de havengeometrie gecreëerd. De impact van die verandering op de seiche-karakteristieken in de Rotterdamse haven schatten wij kleiner in dan de invloed van de aansluiting van MV2 op die karakteristieken.



## 2 Processtappen seiches Rotterdam in BOI

Tabel 2-1, op de volgende pagina, geeft een overzicht van de vier hoofdstappen binnen BOI van waterstandsmetingen in de Rotterdamse haven tot aan de waarden van de toeslagen voor seiches op de BOI-locaties rondom het Rotterdamse havengebied. De verdere hoofdstukken van deze rapportage beschrijven de werkzaamheden uitgevoerd in deze studie voor een update van Stap 1-3. Merk op dat het daarmee lijkt alsof nu een groot deel van het proces opnieuw al is doorlopen, maar die drie stappen zijn primair voorbereidend en juist in Stap 4 zit veruit het meeste (reken-)werk om tot de seichetoeslagen op de BOI-locaties te komen.

De aanpak voor seiches binnen het BOI is over lange tijd ontwikkeld en aangepast. Onder andere in Deltares (2010) is een samenvatting gegeven van de historische ontwikkeling van de aanpak. In Deltares (2014) zijn de laatste aanpassingen aan de methode gedaan, met als grootste verandering een aanpassing in de formulering die ingezet wordt voor weergave in PHAROS van de invloed van demping door onderlopende kades (Bijlage A in Deltares, 2014). PHAROS is het numerieke golfdoordringings- en havenresonantiemodel van Deltares. Dat model wordt ingezet om de versterkingsspectra op verschillende locaties in de haven te berekenen (Stap 4 in Tabel 2-1). Een gewogen verhouding van die spectra wordt ingezet om statistiek afgeleid bij ROZ ('bronstatistiek') te vertalen naar alle BOI-locaties. De belangrijkste andere aspecten en onderdelen uit Tabel 2-1 worden hieronder beknopt toegelicht. Nadere informatie over Stap 1-3 staat ook in volgende hoofdstukken beschreven, waarin die stappen opnieuw zijn doorlopen, nu mede op basis van extra jaren met waterstandsmetingen bij ROZ.

In Stap 1 wordt op basis van de gemeten tijdreeks van waterstanden (op locatie ROZ) een gefilterde tijdreeks aangemaakt met daarin alleen getij en opzet. Het verschil met de oorspronkelijke tijdreeks is daarmee de netto invloed van de seiches, het NSE (Stap 2). Er is geen duidelijk gescheiden overgang tussen het getij en het seichefrequentiebereik, dus de grens voor het toe te passen filter is een relevante instelparameter. Om onafhankelijke events te beschouwen worden, net als in eerdere seichestudies, events binnen 48 uur van elkaar samengevoegd. Vervolgens wordt een drempelwaarde ingezet voor de waterstand om alleen de situaties met de hoogste waterstanden te selecteren. De resulterende puntenwolk van waterstanden en bijbehorend NSE wordt in Stap 3 gebruikt om een (least-squares) trendlijn doorheen te fitten. Het NSE wordt aangenomen statistisch verdeeld te zijn rondom die trendlijn volgens een gammafunctie. Ten tijde van de oorspronkelijke ontwikkeling van de statistische aanpak zijn ook andere verdelingen beschouwd, maar die leverden een vergelijkbare prestatie op (zie Deltares, 2010, 2014 en referenties daarin genoemd). De marginale verdeling van de waterstanden is gebaseerd op lange-termijn waterstandsmetingen bij Hoek van Holland (HvH). Die beide verdelingen gecombineerd vormen een 2D-kansdichtheidsfunctie (kdf). Door die te integreren wordt de verdeling van de bronstatistiek van het NSE gevonden (Stap 3). Binnen Stap 4 wordt die bronstatistiek vertaald naar andere locaties op basis van een verhouding tussen de versterkingsspectra bij ROZ en voor elke doellocatie. In die stap wordt ook de dempende invloed van ondergelopen kades meegenomen. In Paragraaf 4.2 wordt nader ingegaan op concrete aanknopingspunten voor herzien of optimaliseren van onderdelen uit dit overzicht.

Tabel 2-1: Overzicht processtappen seiches, van waterstandsmetingen naar de seichestatistiek op BOI uitvoerlocaties, inclusief bijzonderheden, aannames en instelparameters.

Processtap	1	2	3	4
Aspect/ bijzonderheid	Filteren tijdreeks – tijdreeks met en zonder seiches	Vaststellen NSE per hoogwater	Afleiden referentiestatistiek seiches ROZ	Vertaling seichestatistiek ROZ → BOI locaties
<b>Algemene beschrijving</b>	Filteren meetsignaal om het signaal zonder seiche-invloed te verkrijgen	Het verschil tussen totale tijdreeks en tijdreeks zonder seiches rondom een hoogwater	Opstellen van een 2D-kdf als functie van waterstand en NSE	Vertaling seichestatistiek op basis van verhouding versterkingsspectra
<b>Bijzonderheden</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Er wordt een low-pass filter ingezet om de seiches uit het signaal te filteren en alleen het getij- en opzetsignaal over te houden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bij elk hoogwater kan een NSE worden vastgesteld, ook als er een zwak (of geen) seiche is opgetreden (eventueel NSE=0).</li> <li>Er wordt een drempelwaarde (+1.76 m NAP, Deltares, 2010) voor de waterstand toegepast om alleen hoge events (en bijbehorende NSE) te selecteren voor verdere inzet.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Events bestaan uit maximale NSE en maximale waterstand rondom een hoogwater.</li> <li>Trendlijn door data is basis voor opstellen 2D-kdf. Gammafunctie voor NSE rondom trend in combinatie met marginale verdeling van waterstandstatistiek op basis van HvH.</li> <li>Kansverdeling NSE via integratie 2D-kdf op basis van combinaties van hoogwaters en NSE-waarden.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vertaling van ROZ naar BOI-locaties via gewogen verhouding van versterkingsspectra.</li> <li>Energie-aanbod aan ingang haven (vorm aanbodspectrum) veelal onbekend.</li> <li>Spectrum ROZ voor gemeten condities zonder hoge waterstand (en geen onderlopende kades)</li> <li>Spectrum BOI-locaties voor hogere waterstanden inclusief demping</li> <li>Aanpak gevalideerd op basis van één andere meetlocatie (De Jong, 2004)</li> </ul>
<b>Specifieke aannames</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Als afbreekfrequentie (cut-off) wordt 0.1 mHz toegepast.</li> <li>Het seiche-frequentiebereik (0.1–2.0 mHz) wordt zo weggefilterd.</li> <li>Relevante informatie bij frequenties hoger dan 2.0 mHz niet verwacht in het meetsignaal, onder andere vanwege lokale seiche-periodes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>De drempel wordt ingezet op de gefilterde tijdreeks, dus enkel het getij en opzet (doorgaans ligt dan ook de ongefilterde waarde boven de drempel).</li> <li>Selectie NSE in een bereik van 3 uur voor en na het moment van hoogwater;</li> <li>Hoogwaters binnen 48 uur van elkaar worden als één event gezien op basis van maximale waterstand en NSE-waarde.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Drempelwaarde voor selectie van events op basis van minimale waterstand (+1.76 m NAP).</li> <li>Waterstandstatistiek HvH verschoven met 0,2 m om ROZ weer te geven (Deltares, 2010).</li> <li>Trendlijn in 2D-kdf wordt geschaald met waterstandsafhankelijke waarde van de vertaalfactor (Stap 4).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Versterkingsspectra berekend in PHAROS inclusief invloed bodemwrijving en intreeverliezen.</li> <li>Benaderde beschrijving van demping als gevolg van ondergelopen kades in geval van hogere waterstanden.</li> <li>Vorm energie-aanbod aan haveningang volgens <math>f^x</math> met <math>x</math> tussen 1 en 2 (De Jong, 2004).</li> </ul>
<b>Instelparameters/ (model)keuzes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>De afbreekfrequentie van 0.1 mHz. Een gevoeligheidsanalyse beschreven in Deltares (2010) voor het bereik 0.05–0.15 mHz toonde aan dat 0.1 mHz een praktische, passende waarde is.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Drempelwaarde is een keuze. In Deltares (2010) is hiervoor een verkennende gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Aandachtspunt: de drempelkeuze kan een grote invloed hebben op de uitkomsten (gevonden trendlijn), voornamelijk voor zeer hoge drempelwaarden en daardoor een betrekkelijk klein aantal geselecteerde seiche-events.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verskil in waterstand tussen HvH en ROZ. Representatieve waarde (0,2 m) gekozen op basis van observaties. Invloed van een specifieke waarde (binnen het bereik 0–0,5 m) op de uitkomsten is in Deltares (2010) in een gevoeligheidsanalyse verkend. Impact bleek beperkt binnen realistisch waarde-bereik.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Keuze voor specifieke condities voor in te zetten versterkingsspectra.</li> <li>Frequentiebereik waarover de vertaalfactor wordt bepaald: 0.1-2.0 mHz, gelijk aan filterbereik tijdsignaal seiches (De Jong, 2004)</li> <li>Weergave demping op kades in PHAROS via reflectiefactor &lt;1 op randen van bassins en in combinatie met fase-verschuiving (Bijlage A in Deltares, 2014).</li> </ul>

## 3 Vernieuwing seichestatistiek

### 3.1 Beschikbare data en deeldatasets

De voorgaande studies naar seiches voor BOI, Deltares (2010, 2014), maakten gebruik van waterstandmetingen bij ROZ in de vorm van één waarde per minuut, van 1 februari 1989 tot 1 augustus 2007 (in de huidige rapportage de 'oorspronkelijke dataset' genoemd<sup>3</sup>).

In de hier beschreven analyse is de oorspronkelijke dataset aangevuld met ruim 16 jaar aan nieuwe meetgegevens<sup>4</sup>, tot en met 31 december 2023. Dit resulteerde in een complete dataset van ruim 30 jaar. De oude dataset bevatte echter wel enkele grotere gaten en foutieve data, 11,5% van de gehele duur, die in de originele studie uit 2010 handmatig verwijderd zijn (Deltares, 2010). De nieuwe dataset, met gegevens sinds 2007, is van hogere kwaliteit, en had slechts 1,7% uitval (Deltares, 2024).

Om een gevoeligheidsanalyse te kunnen doen is de beschikbare dataset opgesplitst in diverse deeldatasets die aangegeven worden met hun start- en eindjaartal. Naast de complete dataset wordt de statistische analyse ook uitgevoerd voor:

1. 1989-2007: data van 1 februari 1989 tot 1 augustus 2007. Dit is hetzelfde als de data in (Deltares, 2010) en (Deltares, 2014);
2. 2007-2023: data van 1 augustus 2007 tot en met 31 december 2023. Dit betreft alle nieuwe data;
3. 1989-2012: data van 1 februari 1989 tot 25 november 2012. Dit is de data van voor de opening van de doorgang naar MV2;
4. 2012-2023: data van 25 november 2012 tot en met 31 december 2023. Dit is de data van na de opening van de doorgang naar MV2.

Het doel van deze deeldatasets is 1) ter reproductie van de originele studie, 2) om de invloed van enkel de nieuwe dataset te analyseren, en 3+4) om de invloed van de opening van MV2 op de seichestatistiek te analyseren.

### 3.2 Reproductie originele studie

#### 3.2.1 Context

In deze paragraaf staat beschreven hoe wij de resultaten uit Deltares (2010, 2014) in de huidige studie succesvol hebben gereproduceerd, uitgaande van dezelfde data, dataverwerkingswijze en rekenscripts. Er zijn beperkte verschillen gevonden, maar die zijn verklaarbaar. Er zijn in aanvulling daarop twee punten die op basis van voortschrijdend inzicht naar voren zijn gekomen die een correctie/optimalisatie gevraagd hebben ten opzichte van die eerdere studies. Het gaat daarbij om (nader toegelicht in Paragraaf 3.2.3):

- Correctie in het volledig/juist weergeven van de 0-waarde in het signaal met de seichebijdrage er uit gefilterd;
- Correctie in het maximale bereik van de assen van de 2D-kdf om zo ook voor extreem lange herhaaltijden voldoende kans-massa te beschrijven.

---

<sup>3</sup> Ook tijdens het ontwerp van de MLK is gebruik gemaakt van velddata. Die zijn in de studies voor BOI niet ingezet omdat die oudere informatie deels afkomstig was van analoge bronnen, zoals penplots. De datasets die nu ingezet worden zijn geheel digitaal, al is de kwaliteit in de oudste datadelen (<1995) minder hoog dan in latere jaren.

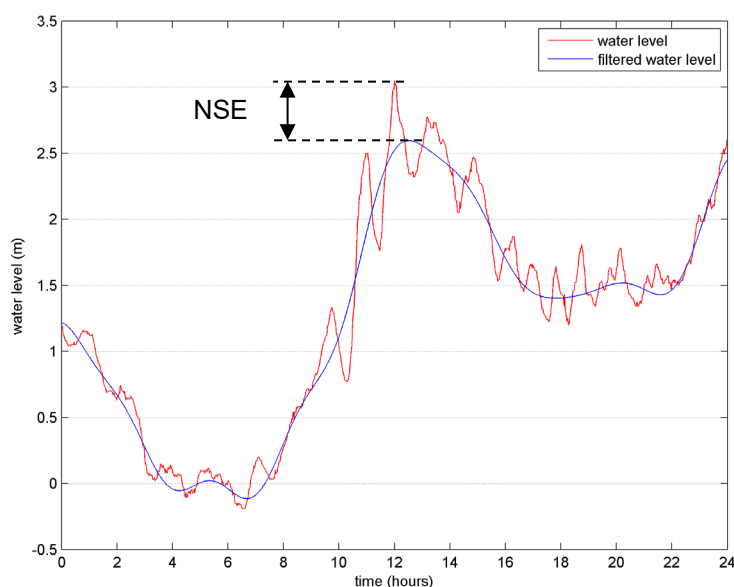
<sup>4</sup> Merk op dat de toevoeging die hier gedaan wordt, van circa 16 jaar aan meetdata, kleiner is dan in Deltares (2024). De reden hiervoor is dat voor de seichestatistiek voor de MLK er gebruik wordt gemaakt van de seichemeting *en* van de scheve opzet. In de voorgaande studies naar de seiches voor de MLK, voor het laatst in 2007, was de scheve opzet enkel beschikbaar tot eind 2005. Daarom kon in Deltares (2024) 18 jaar data worden toegevoegd (2006-2023).

Verderop staat uitgewerkt dat de invloed van het eerste punt betekent dat in de aangepaste berekening de nieuwe statistiek voor het NSE beperkt lager wordt (orde enkele cm). De invloed van het tweede punt is dat voor langere herhaaltijden het NSE beperkt hoger wordt ten opzichte van de eerdere afleiding. Beide aanpassingen gecombineerd betekent voor kortere herhaaltijden dat de nieuw-berekende waarden op basis van de oorspronkelijke data net iets lager uitkomen en voor langere herhaaltijden ongeveer gelijk, aangezien voor die herhaaltijden de invloed van beide correcties elkaar grotendeels opheffen. Dit wordt in de loop van deze paragraaf nader toegelicht. In een mogelijke vervolgstudie zou enkel de laatste versie van de aanpak, inclusief de genoemde correcties, ingezet moeten worden. Die versie van de rekencode is dan ook opgenomen in het projectarchief van Deltares.

### 3.2.2 Reproductie van uitkomsten 2010/2014 op basis van ongewijzigde aanpak

Voor de reproductie van de uitkomsten uit Deltares (2010,2014), als verificatie van de aanpak, is allereerst de analyse uitgevoerd met dezelfde data en dataverwerkingswijzen als in die originele studies. Dit is Deel-dataset 1, hierna genoemd '1989-2007'. De stappen gevolgd in de originele studie zijn zo exact mogelijk doorlopen, met soms ook hetzelfde script die destijds werden gebruikt, met slechts minimale aanpassingen. Daarom verwijzen we voor meer details op relevante punten in deze rapportage ook zoveel mogelijk naar de gevolgde methodologie beschreven in (Deltares, 2010). Effectief bestaat deze methode uit de drie eerste stappen opgenomen in Tabel 2-1. Indien de trendlijn door de gemeten events die daarin centraal staat gereproduceerd kan worden, dan is daarmee ook bevestigd dat het eindantwoord hetzelfde zal zijn. De nu opnieuw afgeleide trendlijn wordt daarom hier vergeleken met de eerder afgeleide trendlijn (Deltares, 2010). Bij de volledige herberekening van de statistiek van het NSE staat wel het hele rekenproces van Stap 1-3 beschreven (in Paragraaf 3.2.3 toegelicht).

De gemeten tijdreeksen zijn gefilterd voor frequenties onder 0,1 mHz om zo het lokale frequentiebereik van de seiches (0,1 – 2,0 mHz, ofwel 500 – 10.000 s) weg te filteren. Het effect van dit filter is te zien in het voorbeeld van een situatie tijdens een seiche-event opgenomen in Figuur 3-1. De seiche-invloed is het verschil tussen het originele signaal en het gefilterde signaal ( $h$ ), en heeft vanwege de seicheslingering afwisselend een positieve of een negatieve bijdrage.

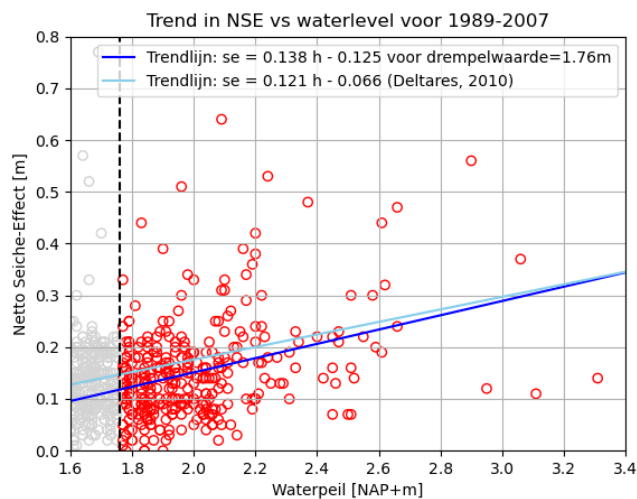


Figuur 3-1: Definitie van het netto seiche-effect op basis van tijdreeksen van gemeten (rood) en gefilterde (blauw) waterstanden tijdens een seiche-event (uit (Deltares, 2014)).

Voor BOI zijn de hoogwaters relevant en daarom wordt gekeken naar het NSE (Paragraaf 1.1). Daarom is vervolgens de POT-methode (peak-over-threshold) toegepast op zowel het originele

als gefilterde signaal om de pieken (hoogwaters) in beide signalen te bepalen. Hierbij zijn dezelfde instellingen gebruikt als in de analyses uitgevoerd in 2010 en 2014 (zie de hierboven geciteerde oorspronkelijke rapportages voor achtergrondinformatie): een drempelwaarde van 1,76 m en een minimaal interval tussen de pieken van 48 uur. Dat laatste wordt gedaan, net als in veel voorgaande seichestudies voor Rotterdam en de MLK, om zo onafhankelijke events te identificeren (Deltares, 2024).

Het NSE is gedefinieerd als het verschil tussen de piek van het totale gemeten signaal – dus inclusief seiches – en de piek van het signaal exclusief seiches ( $h$ ). Deze twee pieken komen (meestal) niet op exact hetzelfde moment voor. Door het NSE in te zetten, en niet de seiche-amplitude, wordt de timing tussen beide aspecten indirect meegenomen. Dit voorkomt onnodig conservatisme in het optellen van beide maxima. Net als in Deltares (2010, 2014) wordt er voor deze analyse gebruik gemaakt van een speling van drie uur voor en drie uur na de piek in het gefilterde signaal om de bijbehorende piek van het ongefilterde signaal op te zoeken (het maximum binnen dat bereik wordt vastgesteld). Die duur is iets ruimer gekozen dan de typische slingerperiode van de seiches om er zo zeker van te zijn dat er in dat bereik sowieso een seiche-top zal optreden. Figuur 3-2 toont een scatterplot van het NSE als functie van het waterpeil, met een drempelwaarde van 1,76 m (dezelfde als Deltares, 2010). Door deze data heen is binnen de huidige studie een trendlijn gefit in blauw. Ter vergelijking is ook de oorspronkelijk afgeleide trendlijn uit Deltares (2010) geplot, in turkoois.



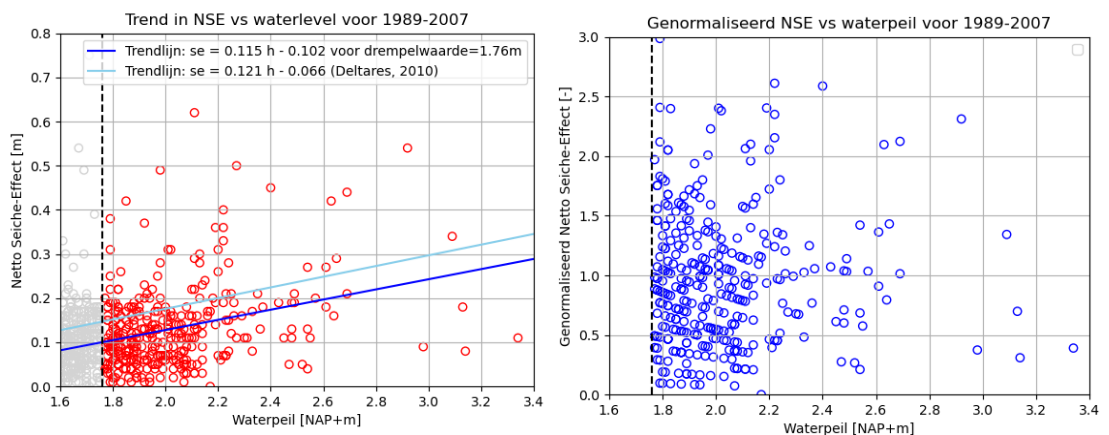
Figuur 3-2: Trendlijn geplot door de scatterplot van NSE en waterpeil, met dezelfde data als Deltares (2010).

Ondanks dat in deze eerste her-evaluatie precies dezelfde dataverwerking is toegepast, en gebruik gemaakt wordt van dezelfde dataset, liggen de twee trendlijnen in Figuur 3-2 bij elkaar in de buurt, maar niet exact op elkaar. Een aantal stappen in het proces is opnieuw geprogrammeerd in Python en dat kan een verklaring zijn voor de gevonden verschillen<sup>5</sup>. Wanneer de impact van de verschillen in de trendlijnen op de einduitkomsten wordt beschouwd, hier niet in detail gepresenteerd aangezien we inmiddels enkele verbeteringen meenemen in de analyse (zie Paragraaf 3.2.3), blijkt die alsnog zeer klein en waarschijnlijk ruim binnen de (statistische) onzekerheden die inherent in de methode zitten. Hieruit concluderen wij dat de resultaten uit Deltares (2010) afdoende zijn gereproduceerd; resterende verschillen zijn goed verklaarbaar en (voldoende) klein.

<sup>5</sup> Hierbij zijn nu onder andere enkele *scipy* standaard-functies in Python ingezet, zoals bijvoorbeeld *scipy.signal.find\_peaks()* voor de POT-methode.

### 3.2.3 Aangepaste herberekening eerdere NSE-statistiek

Bij de werkzaamheden voor het reproduceren van de oorspronkelijke uitkomst, hierboven beschreven, is gebleken dat het gefilterde signaal in Deltares (2010) destijds niet volledig is gecorrigeerd voor de juiste weergave van het gemiddelde in de tijdreeks. Nu is dat wel gedaan en ligt het gefilterde signaal in zijn geheel 4,3 cm hoger. Hierdoor zijn de nu afgeleide waarden van het NSE alle met diezelfde verschuivingswaarde lager. Daarnaast vallen sommige pieken hierdoor net onder de drempelwaarde, waardoor er nu iets minder events bij gegeven drempelwaarde geselecteerd worden. Het resultaat na het toepassen van deze gemiddeldecorrectie is weergegeven in Figuur 3-3. De helling van de trendlijn is bijna hetzelfde als die in de originele studie, echter deze ligt door de nu toegepaste correctie in zijn geheel een paar centimeter lager. In de rest van dit rapport wordt er alleen van deze gecorrigeerde werkwijze gebruik gemaakt. In de rechter afbeelding van Figuur 3-3 staat het NSE genormaliseerd met de trendlijn. Verderop wordt beschreven hoe op basis van die verschaalde weergave een gammaverdeling van het NSE rondom de trendlijn wordt gefit. Merk op dat de aanwezigheid van spreiding rond de trendlijn geen beperking of fout in de data is; die spreiding is te verwachten en is juist ook wat binnen de 2D-kdf wordt beschreven (zie hieronder).



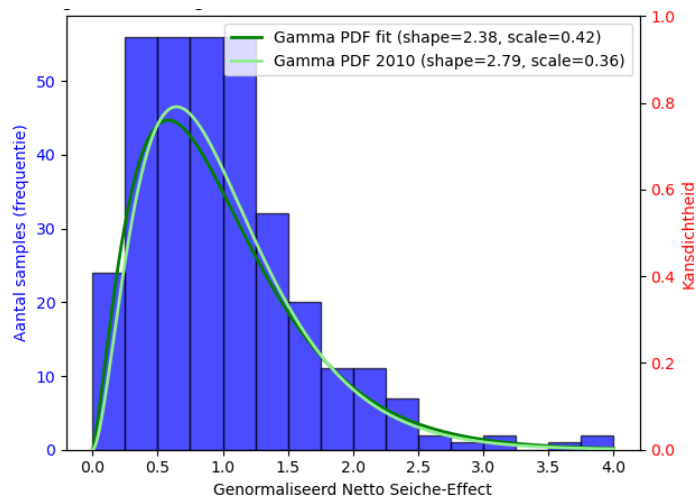
Figuur 3-3: Links: scatterplot van NSE tegenover waterpeil, op basis van aangepaste dataverwerking; rechts: scatterplot van het NSE uit de linker plot genormaliseerd met de trendlijn.

Na afleiden van de trendlijn is er conform de oorspronkelijke aanpak een gammadistributie door de genormaliseerde data heen gefit (donkergroen in Figuur 3-4). De nieuw fit verschilt van de verdeling uit 2010 (lichtgroen in Figuur 3-4). Ook dit schrijven wij toe aan de eerder genoemde aspecten: 1) de gemiddeldecorrectie, en 2) het herschrijven van de methode in Python, die (mogelijk) op details anders gecodeerde fittingfuncties heeft voor het afregelen van statistische verdelingen. Naar verwachting zal voor de fit van de gammafunctie vooral het eerste aspect een rol spelen.

De bekende waterstandstatistiek bij HvH – zonder sterke lokale seiche-invloed – is omgezet naar ROZ door die te verhogen met +0.2 m (ongewijzigde aanpak, oorspronkelijk toegepast in Deltares, 2010). Die statistiek samen met de gefitte gammadistributie definiëren de gezochte 2D-kansverdeling (waterstand versus NSE). Die 2D-kansverdeling wordt in de aanpak voor het BOI (Deltares, 2010) geïntegreerd door de kans op een resulterende totale waterstand te sommeren. Voor de juiste integratie van de 2D-kdf voor zeer lange herhaaltijden hebben wij het bereik van de assen van die beschrijving in de huidige her-evaluatie vergroot ten opzicht van Deltares (2010)<sup>6</sup>. Op die manier beschrijft de 2D-kdf ook voor de langste te beschouwen herhaaltijden voldoende kans-massa.

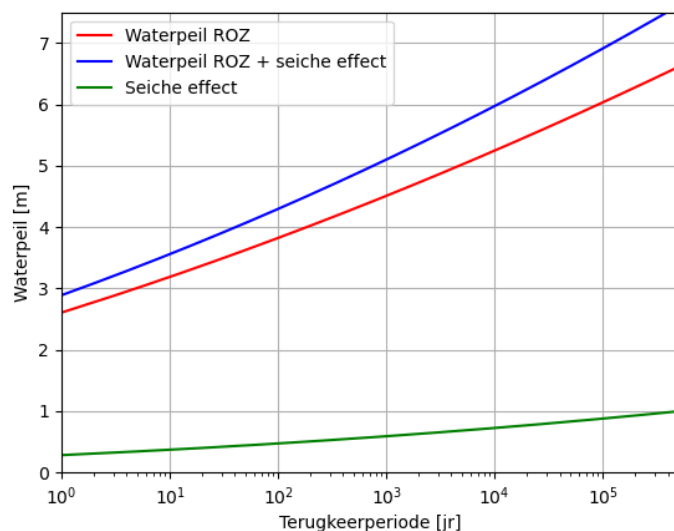
<sup>6</sup> Nu zeer ruim gedefinieerd tot aan +15 m NAP.





Figuur 3-4: Histogram van genormaliseerde NSE met een gefitte gammadistributie (dataselectie 1989-2007).

Bij de integratie van de 2D-kdf worden alle combinaties van waterstand zonder seiches ( $h$ ) + waarde voor het NSE die leiden tot een bepaalde totale waterstand meegeteld. Door dit voor het gehele relevante bereik aan totale waterstanden ( $h + NSE$ ) te doen wordt de statistiek voor die parameter gevonden. Het verschil van die statistiek met de oorspronkelijk al bekende statistiek van  $h$  afzonderlijk is de gezochte statistiek van het NSE. Die laatste stap wordt geïllustreerd in Figuur 3-5 voor verschillende terugkeertijden, hier tot aan 300.000 jaar<sup>7</sup>.



Figuur 3-5: Statistiek van de waterstand bij ROZ met en zonder seiches (via het NSE) en van de het NSE op basis van de oorspronkelijke dataset (1989-2007). Bronstatistiek bij ROZ, nog zonder 1) vertaling naar de BOI-uitvoerlocaties en 2) dempingsinvloeden in het havengebied tijdens extreme condities (onderlopende kades).

Merk op dat op deze manier voorwaardelijke/gecombineerde statistiek voor het NSE wordt afgeleid. Met andere woorden: wat is de kans op een combinatie van een (grote) bijdrage van een seiche en een (extreem) hoogwater. Door die gecombineerde distributie is de hiermee afgeleide statistiek van het NSE mogelijk lager dan een individueel seiche-event tijdens een

<sup>7</sup> Het is belangrijk de kanttekening te plaatsen dat deze extrapolatie tot aan herhaaltijden van honderdduizenden jaren gebaseerd is op slechts enkele decennia aan meetdata. Vanwege de beperkte dataset kan het toevoegen van gemeten events, via de gefitte trendlijn, in potentie grote verschillen in de waarden van het NSE bij lange herhaaltijden opleveren. Bovendien is bij een relatief korte tijdreeks de kans op een over- of onder-representatie van extremen relatief groot. Ook dat kan een grote invloed op de hier uitgevoerde extrapolatie hebben.

gemeten, meer gemiddelde hoogwatersituatie. Figuur 3-3 laat zien dat er binnen de gemeten dataset al enkele zeer hoge seiches zijn opgetreden (overeenkomstig  $NSE > 0,50$  m), maar dus niet noodzakelijkerwijs bij extreem hoge waterstand.

In Tabel 3-1 wordt de hier opnieuw berekende statistiek van het NSE op basis van de oorspronkelijke dataset, gebruikmakend van de aangepaste dataverwerking, vergeleken met de waarden uit de Deltares (2010, 2014). De getallen zijn vergelijkbaar, en voor de hier beschouwde herhaaltijden tot aan een paar centimeter lager.

Tabel 3-1: Vergelijking tussen statistiek voor het NSE berekend in voorgaande studies en de huidige studie.

Dataselectie \ Herhaaltijd [jaar]	Herhaaltijd [jaar]						
	1	1.500	4.000	10.000	30.000	100.000	300.000
1989-2007 (Deltares, 2010, 2014)	0,30	0,64	0,70	0,75	0,81	0,88	-
1989-2007 (huidige studie)	0,28	0,61	0,67	0,73	0,80	0,88	0,96

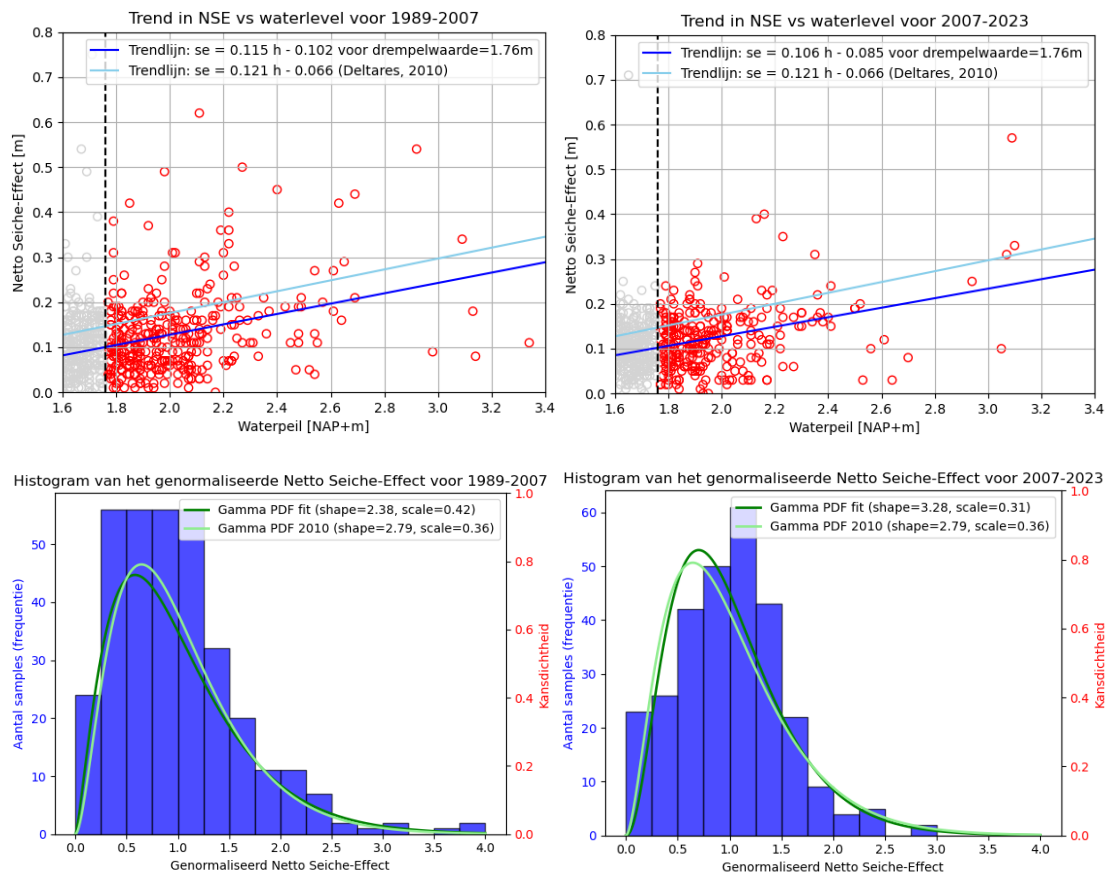
Het verschil tussen de twee methodes wordt kleiner voor langere terugkeertijden. De lagere waarden gevonden voor de kortere herhaaltijden worden ook hier veroorzaakt door de correctie in het 0-niveau van de gefilterde tijdreeks. Het kleiner worden van dat verschil voor langere herhaaltijden is het gevolg van het hierboven reeds geïntroduceerde vergroten van het bereik van de assen van de 2D-kdf. Voor 100.000 jaar heffen beide correcties elkaar op en wordt effectief dezelfde waarde voor het NSE gevonden.

Door inzet van het NSE in de hierboven beschreven uitwerking, en niet de hoogste seiche-amplitude van een event, wordt indirect ook het sterkteverloop van het seiche-event ten opzichte van het hoogwater meegenomen (Deltares, 2010). Maar het tijdsverloop van een seiche-event is complexer dan alleen dat. Bijvoorbeeld: de bijdrage van seiches aan het hoogwater is van relatief korte duur vanwege hun slingerperiode. Dat is in de huidige verkennende studie niet uitgewerkt, maar is geïdentificeerd als een belangrijk aanknopingspunt voor een mogelijk door RWS gewenste vervolgstudie (Paragraaf 4.2).

### 3.3 Invloed nieuwe meetdata op statistiek NSE

De vraag is of het toevoegen van de nu beschikbaar gekomen nieuwe meetdata een significant effect heeft op de statistiek van het NSE berekend voor dit gebied. Om het effect in detail te beschouwen is zowel de gehele dataset (1989-2023) als de nieuwe dataset (2007-2023) los van elkaar geanalyseerd. In beide gevallen is dit gedaan met de gecorrigeerde/aangevulde methode vanuit de huidige studie (zie Paragraaf 3.2). Figuur 3-6 toont de resulterende scatterplots en histogrammen.

In de nieuwe dataset zijn de waarden van het NSE doorgaans iets lager dan in de oude (vergelijking van donkerblauwe lijnen). Dit is vergelijkbaar met de conclusie over de seicheamplituden in die dataset, vermeld in Deltares (2024). De gefitte trendlijn door de scatterplot (paneel rechtsboven ten opzichte van linksboven in Figuur 3-6) is hierdoor lager en ook flauwer. Dit zien we terug in de gammadistributiefit (onderste panelen).



Figuur 3-6: NSE scatterplot (boven) en histogram (onder) voor de oude (links) en de nieuwe (rechts) dataset.

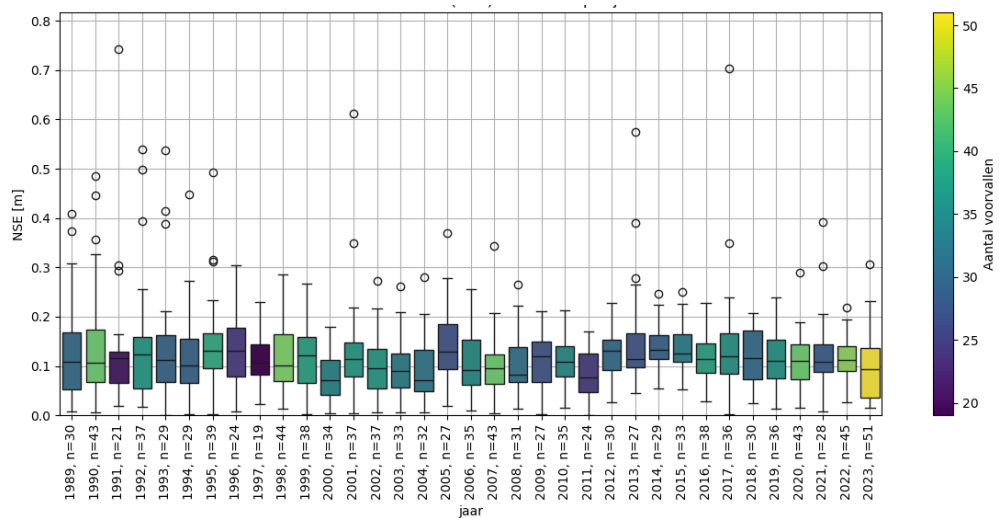
Wanneer dit omgezet wordt naar statistiek van het NSE resulteert dit voor langere herhaaltijden in steeds meer uit elkaar lopende waarden voor het NSE, tot 0,15 m lagere waarden bij een terugkeertijd van 300.000 jaar op basis van alleen de nieuwe dataset (Tabel 3-2). Enerzijds is dit is een opvallend verschil, omdat de twee datasets hetzelfde (type) proces op dezelfde locatie beschrijven. Aan de andere kant kan er sprake zijn van natuurlijke variatie. Echter, de meest waarschijnlijke verklaring voor de gevonden verschillen wordt gevormd door de geometrieaanpassingen aangebracht in de haven gedurende de beschouwde tijdsintervallen.

Tabel 3-2: Statistiek van het NSE op basis van de originele, nieuwe en samengevoegde datasets.

		Herhaaltijd [jaar]							
		1	1.500	4.000	10.000	30.000	100.000	300.000	
Dataselectie									
Oorspronkelijke dataset (huidige berekening)	1989 – 2007	0,28	0,61	0,67	0,73	0,80	0,88	0,96	
	2007 – 2023	0,27	0,54	0,59	0,63	0,69	0,75	0,81	
Volledige dataset		1989 – 2023	0,28	0,58	0,63	0,68	0,75	0,82	0,89

Inzet van de oorspronkelijke en nieuwe dataset gecombineerd bevestigt dat dit statistiek oplevert tussen die van de afzonderlijke datasets in, met iets lagere waarden voor het NSE dan de waardes berekend in Deltares (2010). Uiteindelijk zorgt de toevoeging van de nieuwe dataset dus voor een licht gereduceerd NSE, tot aan een reductie van 7 cm bij 300.000 jaar.

Om het verschil tussen de oorspronkelijke en nieuwe dataset nader te analyseren toont Figuur 3-7 boxplots<sup>8</sup> van de NSE-waarden voor waterstanden >1,76 m NAP, afzonderlijk voor elk kalenderjaar in de dataset. Dit toont de aanwezigheid van uitschieters in de data per jaar. Een natuurlijke variatie van jaar tot jaar valt te verwachten, maar wat opvalt in Figuur 3-7 is het betrekkelijk grote aantal uitschieters in de eerste paar jaar van de dataset. Een mogelijke reden hiervoor is het feit dat de kwaliteit van de gemeten waterstanden juist in die eerste jaren van de dataset (<1995) een stuk lager is dan in latere jaren. In WL | Delft Hydraulics (2005) is dat oorspronkelijk geconstateerd. In de analyse van destijds is om de slechte data-delen heen gewerkt. Maar mogelijk dat er toch sprake is van een resterende invloed. Dit kan relevant zijn voor aangepaste data-selecties die in mogelijke vervolgstudies gedaan zullen worden; misschien dat de inmiddels uitgebreide dataset aanleiding is om de jaren in de dataset tot aan 1995 niet verder meer in te gaan zetten (in deze verkennende studie niet beschouwd).

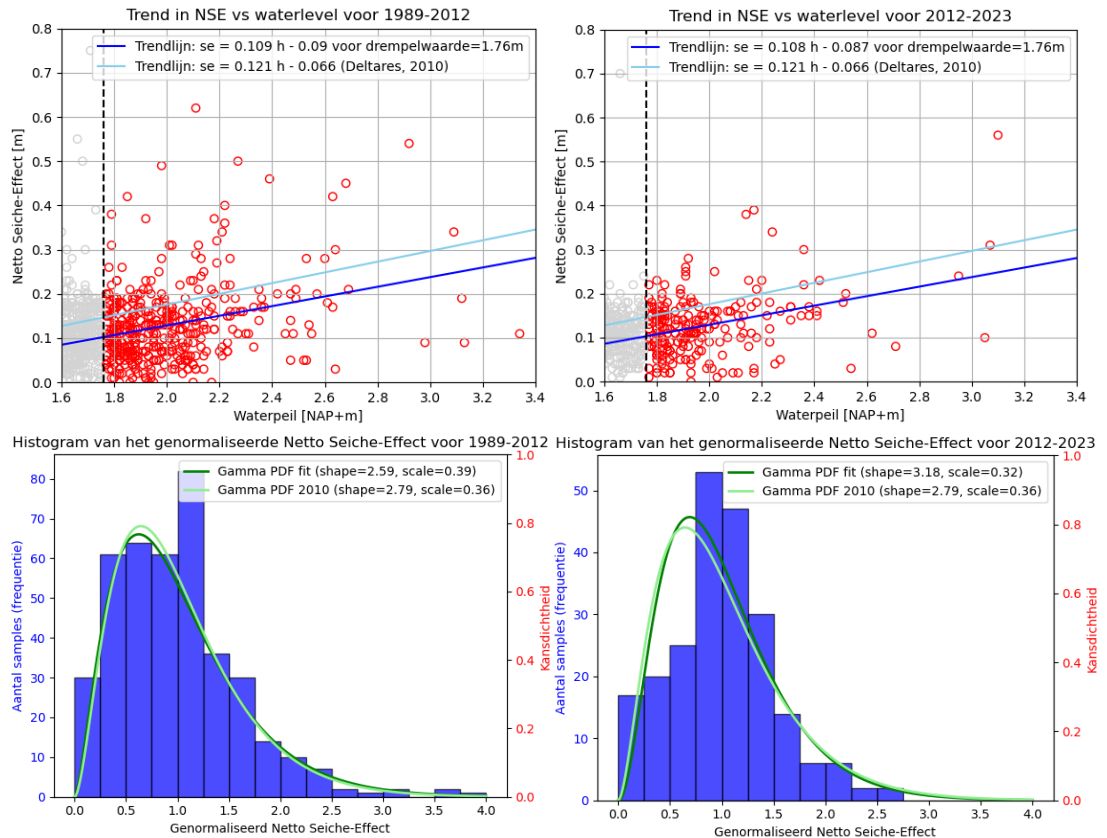


Figuur 3-7: Boxplots van de NSE-data per kalenderjaar. De kleur van de box geeft de grootte van de totale dataset voor dat jaar aan. Uitschieters weergegeven als cirkels.

### 3.4 Seichestatistiek voor en na aansluiting MV2

Door de aansluiting van MV2 op de rest van de havengeometrie (25 november 2012) lijkt voorsnog de seiche-response van de haven sterk veranderd, met een lagere seiche-response bij ROZ als resultaat (Deltares, 2024). Om te onderzoeken of dit ook opgaat voor het NSE is de totale dataset opgesplitst in de intervallen overeenkomstig voor en na de aansluiting van MV2 om zo per deeldataset resultaten te berekenen. Figuur 3-8 geeft een overzicht van de stappen die gezet zijn voor die analyse. De bovenste panelen daarvan tonen de scatterplots van de datasets en de trendlijn die op basis van die data is afgeleid (donkerblauw). In aanvulling daarop staat in beide panelen de oorspronkelijke trendlijn uit Deltares (2010) ter illustratie weergegeven (turkoois). De onderste panelen tonen de histogrammen met daarin de nieuw gefitte (donkergroen) en oorspronkelijke fit van de gammaverdeling (lichtgroen).

<sup>8</sup> In een boxplot geeft de rechthoek, de 'box', het bereik van het eerste en derde kwartiel van de data weer (25% van de waarden valt er onder en 25% van de waarden in de dataset erboven). De getrokken zwarte lijnen ('de whiskers') illustreren de verdere spreiding in de data op basis van 1,5 maal het groottebereik van de box.



Figuur 3-8: NSE scatterplot en histogram voor de tijdsintervallen voor en na de aansluiting van MV2.

De nieuw-gefitte trendlijn is bij benadering hetzelfde tussen de twee datasets (vergelijk de blauwe lijnen in de bovenste twee panelen van Figuur 3-8). In de gefitte gammadistributies (onderste panelen van Figuur 3-8) zijn grotere verschillen te zien. Blijkbaar volgt uit de least-square trendlijnfitt op de data een zeer vergelijkbare lineaire trend, maar zitten er wel verschillen in de spreiding rondom die trendlijn naar aanleiding van de specifieke punten in de datawolk. Uit de berekende statistiek van het NSE (Tabel 3-3) blijkt dat de verschillen tussen de uitkomsten op basis van de twee datasets alsnog klein zijn; zelfs voor de langste herhaaltijden is het verschil beperkt tot enkele centimeters.

Tabel 3-3: Statistiek van het NSE op basis van de gehele dataset en voor deeldatasets van voor en na de opening van de doorgang naar MV2.

		Terugkeertijd [jaar]						
		1	1.500	4.000	10.000	30.000	100.000	300.000
Dataselectie								
Volledige dataset	1989 – 2023	0,28	0,58	0,63	0,68	0,75	0,82	0,89
	1989 – 2012	0,28	0,59	0,64	0,69	0,75	0,83	0,90
Dataset vanaf aansluiten MV2	2012 – 2023	0,27	0,56	0,60	0,65	0,71	0,77	0,84

Aan de andere kant is dit verschil ongeveer de helft van het verschil gevonden in Tabel 3-2, wat er op duidt dat de invloed van de aansluiting van MV2 een significante bijdrage heeft aan de gevonden verschillen tussen uitkomsten op basis van de oorspronkelijke en die op basis van de nieuwe dataset.

Het is onbekend of de invloed van de geometrie-aanpassing op de statistiek van het NSE anders is dan de invloed daarvan op de statistiek van seiche-amplituden, zoals eerder in Deltares (2024). Als er een verschil zou zijn, dan zou dat gelinkt kunnen zijn aan bijvoorbeeld de wijze waarop events worden gekwantificeerd en geselecteerd voor nadere analyse; het NSE is mogelijk een (beperkt) stabielere waarde om events mee te kwantificeren – combinatie van sterkte en timing ten opzichte van het hoogwater – dan de enkele maximale seiche-uitwijking per seiche-episode als kritieke parameter voor de MLK. Dit is een achterliggende onderzoeksvraag die niet doorslaggevend is voor de huidige verkennende studiefase en die daarom hier niet verder is uitgewerkt.



## 4 Conclusies en vooruitblik

### 4.1 Conclusies

In de hier beschreven studie is een verkenning gemaakt van de invloed van het toevoegen van meer jaren aan veldmetingen uit de haven van Rotterdam op de statistiek van het netto seiche-effect (NSE) in de westelijke regio van de haven. Het NSE is de waterstandsverhogende invloed van seiches op de hoogwaters. Die bijdrage is daarmee relevant voor BOI. De waarden voor het NSE zijn voor het laatst in Deltares (2010, 2014) berekend, op basis van de toen beschikbare dataset (de 'oorspronkelijke data').

De bronstatistiek van het NSE op meetlocatie Rozenburgse Sluis (ROZ) is geanalyseerd voor de oorspronkelijke en de nieuwe dataset. Die NSE-waarden zijn nog zonder vertaling naar de BOI-locaties en zonder rekening te houden met de dempende invloed van ondergelopen kades op de seicheslingering. *Dit betekent dat deze waarden enkel een tussenproduct zijn – hier ingezet voor een verschilanalyse – en niet als eindantwoord voor BOI gezien moeten worden.* Tabel 4-1 geeft een samenvatting van de uitkomsten voor het NSE voor locatie ROZ overeenkomstig die bronstatistiek voor de verschillende deelselecties aan data, inclusief een herberekening/reproductie van de voorgaande uitkomsten in Deltares (2010, 2014).

Tabel 4-1: Bronstatistiek van het NSE [m] bij ROZ voor alle in deze studie beschouwde dataselectie-intervallen. De laatste opdeling is overeenkomstig voor en na de aansluiting van Maasvlakte 2 (MV2).

		Terugkeertijd [jaar]						
		1	1.500	4.000	10.000	30.000	100.000	300.000
Oorspronkelijke dataset	1989 – 2007 (Deltares, 2010, 2014)	0,30	0,64	0,70	0,75	0,81	0,88	-
	1989 – 2007 (huidige studie)	0,28	0,61	0,67	0,73	0,80	0,88	0,96
Volledige dataset	1989 – 2023	0,28	0,58	0,63	0,68	0,75	0,82	0,89
Nieuwe dataset	2007 – 2023	0,27	0,54	0,59	0,63	0,69	0,75	0,81
Dataset tot aansluiten MV2	1989 – 2012	0,28	0,59	0,64	0,69	0,75	0,83	0,90
Dataset vanaf aansluiten MV2	2012 – 2023	0,27	0,56	0,60	0,65	0,71	0,77	0,84

De nu uitgevoerde werkzaamheden beslaan de eerste drie van de vier stappen die worden doorlopen om te komen van waterstandsmetingen tot aan het NSE op de BOI-uitvoerlocaties. Merk op dat het daarmee lijkt alsof nu een groot deel van het proces opnieuw al is doorlopen, maar die drie stappen zijn primair voorbereidend. In Stap 4 zit veruit het meeste (reken-)werk om tot de seichetoeslagen op de BOI-locaties te komen.

Naast de hierboven samengevatte geüpdatete bronstatistiek van het NSE heeft de huidige studie geleid tot de volgende belangrijkste conclusies:

- Bij inzet van de oorspronkelijke dataset en dezelfde dataverwerking konden de uitkomsten uit de voorgaande studie in Deltares (2010, 2014) afdoende gereproduceerd worden. Er worden verschillen gevonden, maar die zijn verklaarbaar. Bovendien hebben zij geen grote invloed op de resulterende statistiek van het NSE. Verschillen worden primair verklaard

aan de hand van een wisseling van programmeertaal van Matlab naar het meer toekomstbestendige Python (opgenomen in de projectarchieven van Deltares).

- Op basis van voortschrijdend inzicht zijn twee correcties/aanvullingen gedaan in het analyseproces (in Paragraaf 3.2 nader beschreven). Voor kortere herhaaltijden wordt door die correcties, bij gegeven inputdata, de statistiek van het NSE iets lager (enkele centimeters) en voor de langere herhaaltijden heffen de effecten van beide correcties elkaar (grotendeels) op en worden alsnog vergelijkbare waarden voor het NSE gevonden.
- Door het toevoegen van circa 16 jaar aan nieuwe data is de onderbouwing van de statistiek van het NSE uitgebreid. Na toevoegen van die meetgegevens worden – inmiddels gebruikmakend van de gecorrigeerde/aangevulde rekenaanpak – betrekkelijk kleine verschillen gevonden met de uitkomsten uit de voorgaande studies. Bij inzet van de gehele dataset worden nu iets lagere waarden voor het NSE berekend, maar het verschil is beperkt tot enkele centimeters (tot aan 7 cm, bereikt bij een herhalingstijd van 300.000 jaar, vergelijk data-rij drie met rij twee in Tabel 4-1).
- In de basis is er – uitgaande van enkel de gevonden kleine verschillen – dus geen urgente reden om de statistiek van het NSE voor het BOI volledig te gaan herzien, waaronder de doorvertaling van de bronstatistiek naar de BOI-uitvoerlocaties en rekening houdend met de dempende effecten van ondergelopen kades (Stap 4). Er zijn echter andere redenen waarom een vervolgstudie alsnog door RWS overwogen zou kunnen worden. Die worden in de volgende sub-paragraaf beschreven.

## 4.2 Vooruitblik naar mogelijk vervolgstudies

Redenen om een vervolgstudie uit te voeren kunnen zijn:

- Berekende waarden van het NSE zullen na een volledige update de huidige stand van inzichten en data-beschikbaarheid weergeven. Daarbij zal dan ook de betrekkelijk grote invloed van MV2 op het lokale seiche-gedrag worden meegenomen (zie ook Deltares, 2024). Of de meetgegevens van voor de aansluiting van MV2 nog steeds toepasbaar zijn zal daarbij nagegaan moeten worden (consistentie versus databeschikbaarheid). In ieder geval zal de (bij benadering) verdubbeling van de ingezette meetdata een uitbreiding betekenen van de basis waarop de seichestatistiek is afgeleid.
- Potentiële verbeteringen, actualiseringen en optimalisaties die misschien mogelijk zijn binnen het bestaande seiche-analyseproces beschreven in Hoofdstuk 2 zouden bij het opnieuw doorlopen van het gehele analyseproces zoveel mogelijk meegenomen kunnen worden. Daaronder vallen bijvoorbeeld her-evaluatie en zo nodig aanpassen van de inzetwijze van de meetdata, waaronder het definiëren van events, en van de vaststelling van de verhouding (vertaalfactor) tussen bronlocatie ROZ en de BOI-uitvoerlocaties. Bovendien kan dan een meer volledige vertaling van de waterstandsstatistiek van Hoek van Holland naar ROZ uitgewerkt worden (via een waterstandsafhankelijke vertaalwaarde). Daarnaast is er sprake van overlap met de lijst van mogelijk nog uit te voeren verbeteringen en optimalisaties, geïdentificeerd in de recente voorgaande studie van statistiek van de seiche-amplituden voor de Maeslantkering (MLK) (Deltares, 2024). Een voorbeeld van een aspect dat in beide studies meespeelt is een gewenste kwantificering van de onzekerheidsbanden rondom de gevonden statistiek en een verificatie of toevoegen van meetdata een significante invloed op die onzekerheid heeft.
- Het zal zeer waardevol zijn om de mogelijke trendbreuk in het seicherresponsgedrag, in Deltares (2024) herkend naar aanleiding van de analyse van seiche-amplituden en hun invloed voor de Maeslantkering (MLK), ook in relatie tot het NSE nader te analyseren. De aanwezigheid van die trendbreuk voor het NSE kan dan worden geverifieerd en de impact daarvan op de waarden voor het NSE voor BOI zou dan nader bepaald kunnen worden.
- De overall aanpak uitgaande van de inzet van het NSE als opslag op andere bijdragen aan een hoogwater zou herzien kunnen worden. De slingerperiode van de seiches in de Rotterdamse haven is in de orde van 1–2 uur, wat significant korter is dan de duur van een hoogwatersituatie tijdens een storm. Er zou nagegaan kunnen worden of het terecht is om

de toeslag voor het NSE als quasi-statische waarde in te zetten. In de oude aanpak voor de Hydraulische Randvoorwaarden, op basis van een maatgevende waterstand, was die werkwijze logisch, want deze gaf een kwantificering van de hoogste waterstanden. Maar in de nieuwe aanpak onder BOI kan nu ook voor seiches naar de context van de kans op een overstroming met significante hinder gekeken worden ('verhaal van de kering'). De vraag die daarbij speelt, is of een betrekkelijk kortstondig verhoogde waterstand als gevolg van de top van een seiche tot een dergelijke overstroming in de naastgelegen gebieden kan leiden of niet. Misschien kunnen de waterkeringen die tijdelijk verhoogde waterstand constructief aan en is er voor deze betrekkelijk kortdurende invloed voldoende bergingscapaciteit aanwezig. Bovendien zorgt een daaropvolgend dal van een seiche juist weer voor een tijdelijke verlaging van de waterstand, en dus voor een tijdelijke verlaging de mate van overslag over een waterkering. Het nagaan van dit soort overwegingen betekent dat onder andere ook sterkte-aspecten van waterkeringen beschouwd zullen moeten worden om zo tot een afweging en inzet van het NSE te komen die beter overeen zal komen met de huidige context en werkwijze binnen het BOI.

- Op langere termijn kan het nuttig zijn om sowieso opnieuw een update van de seichestatistiek voor BOI te doen. Dan kan er sowieso opnieuw weer enkele decennia aan data worden toegevoegd aan de analyse en op dat moment zou ook een analyse gemaakt kunnen worden naar het mogelijk optreden en herkenbaar worden van trendbreuken in de statistiek van seiches gekoppeld aan klimaatverandering.

# Referenties

Deltares (2010), Update of the seiche allowances for the Rotterdam Europoort area - WTI 2009/2010, input for the Hydraulic Boundary Conditions 2011, 1200103-052-ZWS-0005, 10 November 2010, final.

Deltares (2014), Actualisatie seiches Rotterdam WTI2017 - Waterstandsafhankelijke seiche-waarden, 1209433-006-HYE-0002, 16 december 2014.

Deltares (2024), Seiche-statistiek Maeslantkering – Overzicht van voorgaande studies, toepassing vergrote meetdataset en vooruitblik, 11210307-000-HYE-0001.

# A Werkplan seiches BOI V1.0

Onderstaande beschrijving is hier ter vastlegging overgenomen uit 'Werkzaamheden seiches BOI v1.0', 28 maart 2024.

## **Mogelijke werkzaamheden m.b.t. seiches binnen BOI**

Voor het afleiden van de hydraulische belastingen (HB) binnen BOI is het effect van seiches relevant in de Rotterdamse haven. Seiches zijn lange golven die door resonantie in havenbekkens opslingeren tot hogere amplituden dan de lange golven vanuit zee die de seiches veroorzaken. Voor de weergave van seiches in BOI wordt gewerkt met het Netto Seiche-Effect (NSE), wat het netto waterstandsverhogende effect van seiches is. Getallen voor het NSE in de havens zijn voor het laatst afgeleid in een studie uit 2014 in het kader van WBI2017, gebaseerd op data tot 2005. Inmiddels is 18 jaar aan nieuwe meetdata beschikbaar (2006-2023). De impact van seiches, ten opzichte van sommige andere aspecten binnen de HB, is relatief beperkt (in aantal kilometers kering en invloed op de overstromingskans). Echter, juist de extreme condities zijn relevant voor BOI en bijvoorbeeld het scherper krijgen van de seichestatistiek, door middel van het toevoegen van 18 jaar aan nieuwe meetdata, kan daarom wel relevant zijn voor BOI. Tevens is het van belang om de methodiek en kennis van seiches op te frissen, om de materie niet uit de vingers te laten glijpen en te zorgen voor kennisborging bij een bredere groep experts binnen Deltares en RWS. Op dit moment loopt er een studie onder SITO-PS naar de invloed van seiches op de Maeslantkering (MLK). Er zijn grote links tussen beide studies, maar er zijn ook enkele verschillen. Desalniettemin kan het daarom juist op dit moment nuttig zijn, om ook voor BOI de stand van zaken voor seiches op te frissen en zo het momentum dat opgestart is vanuit de huidige SITO-PS-studie te benutten.

Binnen de seiche-studie voor de MLK onder SITO-PS (2024) zijn de volgende taken gedefinieerd (blauw = relevant voor BOI):

Vernieuwen seichestatistiek

1. Analyse van meetdata meetlocatie Rozenburgse Sluis (ROZ, meetlocatie met sterkste seiches in Rotterdamse havengebied), inmiddels 36 jaar data beschikbaar (meest recente analyses rond 2005 was op basis van 18 jaar data).
  - a. Afleiden van seiche-events en bijbehorende kentallen (seiche-amplituden).
  - b. Check op consistentie van deeldatasets voor verschillende perioden tussen grootschalige aanpassingen in havenlayout in (uitbreiding van analyses/verificaties uit 2005).
  - c. Nieuwe seiche-data invoeren in oorspronkelijke berekening statistiek seiche-amplituden (meest recent beschouwd door Deltares rond 2005).
  - d. Check op mogelijk herzien van versterkingsspectra van locatie Rozenburgse Sluis (ROZ) en van locatie van gesloten MLK (n.a.v. update van spectra t.b.v. seiches HR/WTI/BOI Rotterdamse havengebied, studies rond 2014).
2. Beknopte verkenning: beschrijving aanpak berekening en analyse van seiches irt MLK en nagaan van mogelijkheden om openstaande vragen in te vullen of conservatieve aannames aan te scherpen in een mogelijke vervolgstudie, vooruitblik naar mogelijke vereenvoudigingen in de weergave van seiches/aansturing van MLK tbv seiches

De MLK-werkzaamheden zijn gericht op de seiche-amplituden. Binnen BOI wordt, zoals hierboven geïntroduceerd, het NSE gebruikt. De reden daarvoor is dat de kritieke belasting voor de MLK wordt gevormd door negatief verval. De grootte van het negatief verval wordt beïnvloed door de seiche-amplitude en is vooral kritiek rond het begin of eind van de storm als er niet veel positieve opzetbuffer is. Voor BOI gaat het juist over de hoogwatersituaties en welke netto-invloed de seiches op die waarden hebben. Dat betekent dat dezelfde

meetgegevens ingezet zouden kunnen worden voor een update van seiches Rotterdam binnen BOI, maar dat er daarbij nog wel een andere statistische analyse gedaan zal moeten worden.

#### No-regretacties voor BOI:

0. Samenvatten en opfrissen: de aanpakken, uitgangspunten, (statistische en model) onzekerheden en uitkomsten van de eerdere studies en MLK-studie samenvatten en weer opfrissen naar het hier en nu (veel van het werk is 10-15 jaar geleden gedaan). Daarna kunnen de vervolgwerkzaamheden uitgevoerd gaan worden.
1. Update statistiek NSE ROZ: voor BOI is het relevant om de invloed van het toevoegen van nieuwe meetdata op de NSE-statistiek te checken, bijvoorbeeld om na te gaan of hier wijzigingen in het NSE of eventuele trendbreuken uit voortkomen. Het meenemen van nieuwe meetdata en updaten van de statistiek kan mogelijk de onzekerheidsbanden verkleinen. Bij een geringe wijziging in de statistiek van het NSE bij Rozenburgse Sluis (ROZ) zal de invloed daarvan op de waarden in het gehele havengebied (en dus de BOI uitvoerpunten) ook gering zijn. Als de invloed bij ROZ groter blijkt, kan mogelijk besloten worden verdere onderzoekstaken uit te voeren (*go-no-go-moment*).
2. Update versterkingsspectrum ROZ: er kunnen enkele verkennende berekeningen in PHAROS gedaan worden, met daarin een update van de havenlay-out sinds 2013/2014, om na te gaan of geometrieveranderingen sinds dat moment een grote invloed zullen hebben op de versterkingsspectra bij ROZ en andere locaties in de haven. Dit zou een verificatie zijn van de verwachting dat geometrie-aanpassingen die sinds 2013 zijn gedaan een stuk minder ingrijpend zijn geweest dan de aanleg van MV2. Indien het spectrum inderdaad niet of nauwelijks veranderd blijkt te zijn, kunnen het huidige spectrum en de huidige vertaalfactoren (WBI2017) worden aangehouden. Indien het spectrum – tegen huidige verwachting in – wel (sterk) gewijzigd blijkt, is het wellicht nodig om de vertaalfactoren opnieuw te berekenen. De invloed daarvan op de vertaalfactoren en het NSE dient dan eerst te worden geschat (*go-no-go-moment*).

#### Optionele acties voor BOI:

3. Schatting invloed nieuwe uitvoerlocaties BOI: voor BOI zijn nieuwe uitvoerlocaties gedefinieerd, die veelal (iets) afwijken van de WBI2017-locaties. Binnen PHAROS worden de oeverlocaties gekoppeld aan het 'tegenoverliggende' uitvoerpunt in de as van het bassin (aslocaties). Dat is mogelijk omdat seiches primair een beweging in de lengterichting van het bassin veroorzaken en niet (zeer beperkt) een variatie hebben in de breedte. Met enkele PHAROS-simulaties zou kunnen worden geschat of voor de nieuwe uitvoerlocaties wezenlijk andere vertaalfactoren worden gevonden dan voor de oude uitvoerlocaties (*go-no-go-moment*). Indien dit niet het geval is, kunnen de oorspronkelijke vertaalfactoren worden gekoppeld aan de nieuwe locaties.
4. Schatting invloed hogere waterstanden BOI: voor BOI wordt er gewerkt met waterstanden tot 8 m+NAP. Voor WBI2017 zijn t.b.v. de seiches PHAROS-simulaties gedraaid tot 6,4 m+NAP. Met enkele PHAROS-simulaties met waterstanden >6,4 m+NAP kan de invloed van deze hogere waterstanden worden geschat (*go-no-go-moment*). Indien deze invloed een significant effect heeft op het NSE, dan dient mogelijk het volledige bereik van 6,4 m+NAP tot 8 m+NAP in stappen van 0,1 m doorgerekend te worden. Merk hierbij op dat bij zeer hoge waterstanden, eigenlijk ook al bij 6,4 m+NAP, de te beschrijven situatie erg ver af gaat staan van de uitgangspunten van PHAROS. In PHAROS blijven de havenbekkens gelijk en wordt de invloed van de onderlopende kades via de randen van de bekkens opgelegd op de oplossing in het bekken. Bij zeer hoge waterstanden loopt het hele gebied onder en is er effectief niet echt sprake meer van de oorspronkelijke havengeometrie. Naast het uitvoeren van verkennende berekeningen, zou ook op basis van expert judgement nagegaan kunnen worden of die extreme situaties op een andere manier beschreven



kunnen worden, bijvoorbeeld uitwerken hoe het uitblijven van resonanties in die situatie het NSE zal beïnvloeden.

5. Vergelijking met gedetailleerder numeriek model: om het onderlopen van kades en de tijdsafhankelijke effecten van seiches beter in kaart te brengen, kunnen enkele simulaties gedraaid worden met een gedetailleerder numeriek model (tijdsdomein) en worden vergeleken met bestaande PHAROS-resultaten (*go-no-go-moment*). Op die manier wordt de weergave van demping zoals op dit moment opgenomen in het PHAROS-model (vernieuwd rond 2013/2014) nader gevalideerd. Indien deze validatie de aanpak in PHAROS bevestigt, dan is geen aanvullend onderzoek nodig. Indien er wel significante verschillen worden gevonden, kan dit leiden tot een aanbeveling of voorstel voor een verbeterde methodiek voor het afleiden van het NSE richting de toekomst.

Mogelijke vervolgacties, indien uit een of meerdere voorgaande acties blijkt dat de impact op statistiek of vertaalfactoren significant is:

6. Mogelijk opnieuw doorrekenen waterstanden 2,4 m+NAP t/m 6,4 m+NAP (of 8 m+NAP) met PHAROS. Merk op dat dit alleen nodig is als de versterkingsspectra uit enkele testsommen significant veranderd blijken te zijn sinds 2014. Indien die niet veranderd zijn en alleen de statistiek van het NSE vernieuwd zou worden, dan kunnen de uitkomsten van de bestaande PHAROS-sommen ingezet worden en zijn nieuwe berekeningen dus niet nodig.
7. Mogelijk opnieuw omzetten vertaalfactoren voor alle waterstanden en uitvoerlocaties, via statistiek van waterstand en NSE (h+NSE), naar NSE-toeslagen voor de HB per waterstand/terugkeertijd.
8. Mogelijk omzetten van NSE-toeslagen voor de HB naar de juiste formats voor Hydra-NL/Riskeer (*uitvoering door RWS*).
9. Mogelijk verschilanalyse impact nieuwe NSE-toeslagen t.o.v. WBI2017-waarden (*uitvoering door RWS*).

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](http://www.deltares.nl)