



Kwalproblemen Sloecentrale

Eerste fase verkennend onderzoek

Auteur(s): Lodewijk van Walraven en Bram Couperus

Wageningen University &
Research rapport C007/23

Kwalproblemen Sloecentrale

Eerste fase verkennend onderzoek



Auteur(s): Lodewijk van Walraven en Bram Couperus

Wageningen University & Research - Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research
IJmuiden, maart 2023

Wageningen Marine Research rapport C007/23

Keywords: Kwallen, koelwater, Westerschelde

Opdrachtgever: Sloecentrale B.V.
T.a.v.: Joey Scheele
Albaniëweg 10
4389 PR Ritthem

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/589679>

Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Foto omslag: Lodewijk van Walraven

© Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research, instituut
binnen de rechtspersoon Stichting
Wageningen Research, hierbij
vertegenwoordigd door
Drs.ir. M.T. van Manen, directeur
bedrijfsvoering

KvK nr. 09098104,
WMR BTW nr. NL 8113.83.696.B16.
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

Wageningen Marine Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor
gevolg schade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de
resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen
Marine Research. Opdrachtgever vrijwaart Wageningen Marine Research van
aanspraken van derden in verband met deze toepassing.
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag weergegeven en/of
gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden
zonder schriftelijke toestemming van de uitgever of auteur.

A_4_3_1 V32 (2021)

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	7
1.1.1 Achtergrond	7
1.1.2 Afbakening	7
1.1.3 Kennisvraag en doelstelling	7
1.1.4 Opzet	7
2 Methoden	9
2.1 Literatuurstudie	9
2.2 Beschikbare data	9
2.2.1 Omgevingsdata RWS	9
2.2.2 Vangstgegevens RWS	10
2.2.3 Data Sloecentrale	11
2.2.4 Overige data	11
2.3 Bruikbaarheid beschikbare data	12
2.3.1 Omgevingsdata RWS	12
2.3.2 Omgevingsdata Sloecentrale	12
2.3.3 Procesdata Sloecentrale	12
2.4 Overleg	13
3 Resultaten	15
3.1 Literatuurstudie	15
3.1.1 Biologie kwallen	15
3.1.2 Soorten, voorkomen en de seizoenspatronen van kwallen in de Westerschelde	16
3.1.3 Gedrag van kwallen in relatie tot omgevingsvariabelen	16
3.1.4 Neemt het aantal kwallen toe?	17
3.1.5 Problemen met kwallen bij waterinzuiging	18
3.2 Voorspellen van kwalproblemen	19
3.2.1 Patronen in voorkomen kwallen Sloehaven en nabije omgeving	19
3.2.2 Analyse kwal-gerelateerde incidenten in relatie tot de omgeving	21
3.3 Maatregelen om kwalproblemen te voorkomen	23
3.3.1 Kwallen Management Plan	23
3.3.2 Deflectie kribben/dammen	24
3.3.3 Netten	24
3.3.4 Bellenschermen	25
3.3.5 Drijvende barrières	26
3.3.6 Deflectie door waterstromingen (FVES)	28
3.3.7 Aanpassen waterinname	28
4 Discussie	29
4.1 Literatuurstudie	29
4.2 Het voorspellen van kwalproblemen	29
5 Advies	31
5.1 Kwallen managementplan	31
5.2 Technische aanpassingen	31
5.2.1 Testen met mitigerende maatregelen	31

5.3	Beter begrip en voorspelbaarheid van het probleem	32
5.3.1	Registratie meetgegevens Sloecentrale	32
5.3.2	Korte termijn	32
5.3.3	Acties die meer tijd en/of geld kosten	33
6	Kwaliteitsborging	35
7	Literatuur	36
	Verantwoording	38
	Bijlage 1	39
	Figuren	40
	2012-04-28	41
	2012-05-04	43
	2014-05-10	45
	2014-05-14	47
	2014-05-27	49
	2016-05-23	51
	2020-06-08	53
	2021-05-05	55
	2021-06-11	57
	2022-05-07	61

Samenvatting

In de Sloecentrale zijn er periodiek problemen met inzuiging van kwallen in het koelwatersysteem, die op 5 mei 2022 leidden tot het ongepland stopzetten van de centrale als gevolg van verstopping van het koelwatersysteem met kwallen. Sloecentrale wil het probleem van kwalinzuiging aanpakken in verschillende fasen of stappen. Deze inventariserende studie is uitgevoerd om de opties om inzuiging van kwallen in de Sloecentrale te voorspellen en te voorkomen en om, aan de hand van beschikbare gegevens, te onderzoeken. In eventuele latere fasen zal aanvullend onderzoek worden uitgevoerd en/of oplossingen worden getest en geïmplementeerd.

Deze studie bestaat uit twee delen: een literatuurstudie en data-analyse. In de literatuurstudie is onderzocht welke soorten kwallen in de Westerschelde voorkomen en wat de seizoenspatronen zijn. Daarnaast is informatie vergaard over het gedrag van kwallen in relatie tot wind, golfslag, stroming, getij, zoutgehalte en temperatuur. Tot slot is geïnventariseerd in hoeverre op wereldschaal kwalproblemen optreden bij installaties die grote hoeveelheden proceswater innemen en welke oplossingen er zijn ontwikkeld om inzuigen van kwallen te voorspellen en voorkomen. In de data-analyse zijn abiotische en biotische gegevens meegenomen. De abiotische data zijn afkomstig van Rijkswaterstaat (RWS) en de Sloecentrale - zowel omgevingsvariabelen als gegevens van het inlaatproces. De biotische gegevens zijn afkomstig van Wageningen Marine Research (WMR), Stichting Anemoon en waarneming.nl.

Literatuuronderzoek

Vier soorten kwallen komen algemeen voor langs de Nederlandse kust. Hiervan hebben twee soorten hun voorjaarsbloei in het voorjaar: de oorkwal en de blauwe haarkwal. De oorkwal verschijnt ongeveer in april-juni, de blauwe haarkwal wat later, in mei-juli. Wanneer pieken in aanwezigheid van kwallen in de buurt van de Sloecentrale betrouwbaar voorspeld kunnen worden, is het mogelijk middelen in te zetten om het probleem op te lossen, zoals netten, bellenschermen of drijvende barrières. Om deze voorspelling te kunnen doen, zijn twee zaken relevant: (1) een indicatie van de hoeveelheid oor- en blauwe haarkwallen voor de Nederlandse kust en in de estuaria in het bloeiseizoen en (2) inzicht in welke samenloop van wind en stroming de kans vergroot op de aanwezigheid van veel kwallen voor het koelwaterinlaatpunt.

Data-analyse

De kwaliteit van de beschikbare data is wisselend. De omgevingsvariabelen die RWS in de Westerschelde langjarig verzamelt zijn robuust en worden gebruikt voor uiteenlopende doelen. De windmetingen van de Sloecentrale bleken onbruikbaar, omdat de windmeter ten noordoosten van een van de twee generatorgebouwen is geplaatst en dus bij de overheersende zuidwestelijke windrichting in de luwte staat. Voor de procesdata geldt dat deze in de eerste plaats verzameld worden om inzicht te krijgen in de reguliere, actuele bedrijfsvoering. De drukval in de *bandscreens* blijkt zeer indicatief voor kwalproblemen. Helaas bleken de metingen van vóór 2022 onbetrouwbaar en daardoor onbruikbaar.

Voor de data van Stichting Anemoon (duikwaarnemingen en Strand Monitoring Project) geldt dat deze op een gestandaardiseerde manier worden verzameld waarbij in principe ook de afwezigheid van soorten wordt geregistreerd. Voor de data van waarneming.nl geldt dit niet, hierbij is men afhankelijk van de interesse van vrijwilligers in een bepaalde diergroep en betreft het vooral incidentele, opvallende waarnemingen. De op vis gerichte ankerkuilbemonstering van WMR bevat waardevolle gegevens omdat de kwallen daar sinds 2016 systematisch geregistreerd worden, hoewel het niet mogelijk bleek om volume- of gewichtsschattingen te geven.

De gegevens geven een indicatie van een algemene toename van kwallen voor de Nederlandse kust en de Westerschelde. Dit betreft een groot aantal kwallen in de vangst tijdens de ankerkuilbemonstering, een enkele waarneming op Waarneming.nl en een anekdotische

veldwaarneming van WMR. De data van de ankerkuilbemonstering geven een zeer onregelmatig beeld: er zijn jaren met veel en jaren met weinig kwallen in de vangst. Ook de ruimtelijke variabiliteit in het voorkomen is groot.

De gecombineerde waarnemingen laten zien dat het mogelijk moet zijn om van te voren signalen op te pikken als de hoeveelheid oor- en haarkwallen opvallend groot is. Eventuele toenames van kwallen kunnen echter sterk geclusterd zijn, wat betekent dat hoge concentraties op één locatie in de Westerschelde niet automatisch leidt tot hogere concentraties in de Sloehaven.

De analyse van het optreden van problemen met de inzuiging van kwallen in relatie tot de wind- en getijdegegevens geeft geen eenduidig patroon: elk incident is het resultaat van een eigen samenloop van omstandigheden van wind- en getijde-omstandigheden. Veel incidenten traden op bij rustig weer en bij wind uit de noordhoek, maar niet allemaal.

Advies

Het opstellen en in werking stellen van een kwallen managementplan helpt kwallenproblemen te voorkomen of te beheersen. Een dergelijk plan bevat verschillende opschalingsniveaus afhankelijk van de kans op verstopping. Op basis van seizoenen en waarnemingen van verschillende bronnen kan worden opgeschaald.

Technische aanpassingen aanbrengen in de waterinname. Die betreffen het grofrooster, de *bandscreens* en het nemen van tijdelijke maatregelen. Belangrijk is ook om het recirculeren te voorkomen van kwallen die via de visafvoergoot worden afgevoerd en weer terugstromen naar de waterinlaat.

Voor een beter begrip en voorspelbaarheid van het probleem is visuele monitoring of monitoring met camera's (CCTV) noodzakelijk. Daarnaast bieden het bewaken van de juistheid van de meetgegevens van de drukval van de *bandscreens* toegevoegde waarde. Tot slot is het aan te bevelen om concentraties van kwallen in de haven te voorspellen aan de hand van gegevens/waarnemingen van andere bedrijven in de haven.

Voor het monitoren en voorspellen op langere termijn worden drie voorstellen gedaan: (1) zelf veldwaarnemingen verzamelen van kwallen tijdens de risicoperiode, (2) testen en van monitoring door middel van een hoogfrequente sonar en (3) het ontwikkelen van een model voor het voorspellen van de dichtheden van kwallen in de haven aan de hand van (getijde)stromingen en wind.

1 Inleiding

1.1.1 Achtergrond

Plotseling massaal voorkomen van kwallen voor de waterinlaat van de Sloecentrale kan overlast veroorzaken. De Sloecentrale is een 870 MW gascentrale gelegen in de Sloehaven aan de Westerschelde (Figuur 1). Voor koeling van de centrale wordt oppervlaktewater gebruikt dat wordt ingenomen uit de haven. In de Sloecentrale zijn er periodiek problemen met inzuiging van kwallen in het koelwatersysteem, die op 5 mei 2022 leidden tot het ongepland stopzetten van de centrale doordat als gevolg van verstopping van het koelwatersysteem met kwallen er te weinig koelwater beschikbaar was. Verstopping van industriële proceswaterinlaten door kwalinzuiging is een probleem dat wereldwijd voorkomt, vooral bij koelwaterinlaten van energiecentrales en waterinlaten van ontziltingsfabrieken.

Om te onderzoeken of dergelijke incidenten te voorspellen en te voorkomen zijn, is een eerste verkennende studie uitgevoerd bestaande uit een literatuurstudie en een analyse van direct beschikbare databestanden. Op basis van de resultaten kunnen vervolgens in één of meer latere fases deelonderwerpen verder worden uitgewerkt.

Voor onderzoek in latere fases valt te denken aan: testen, implementeren en monitoren van technologische oplossingen, veldonderzoek/monitoring van kwallen bij de Sloecentrale, bijvoorbeeld naar verticale verdeling in de waterkolom, het ontwikkelen van een model om aanwezigheid van kwallen bij de inlaat te voorspellen en het ontwikkelen van een kwalinzuiging management plan met bijbehorende protocollen.

Dit rapport bevat de uitkomsten van de eerste verkennende fase.

1.1.2 Afbakening

Dit project is beperkt tot een deskstudie. Er is geen praktisch werk verricht en geen nieuwe gegevens verzameld, behalve een bezoek van WMR aan de Sloecentrale om een indruk te krijgen van de situatie ter plaatse.

1.1.3 Kennisvraag en doelstelling

De vragen van Sloecentrale zijn:

1. Is de vracht aan kwallen nabij de waterinlaat van de centrale te voorspellen?
2. Zijn er oplossingen om verstopping door inzuiging van kwallen te voorkomen?

In deze eerste fase wordt een inventariserende studie uitgevoerd om te kijken wat de mogelijkheden zijn om inzuiging van kwallen in de Sloecentrale te voorspellen en te voorkomen, aan de hand van beschikbare gegevens.

1.1.4 Opzet

In deze eerste fase zijn twee deelonderzoeken uitgevoerd:

1. Literatuurstudie - aangezien verstopping van waterinlaten door kwallen een veelvoorkomend probleem is, is informatie gezocht over:
 - a. Welke kwallen komen in de Westerschelde voor en in welke seizoenen?
 - b. Hoe beïnvloedt het gedrag van kwallen de kans op inzuiging?
 - c. Zijn er technologische oplossingen om inzuiging van kwallen te voorkomen?
2. Er is een data-analyse gedaan aan de hand van:
 - a. Informatie over inzuiging van kwallen bij de Sloecentrale,
 - b. Omgevingsvariabelen (waterhoogte, watertemperatuur en -zoutgehalte, windsnelheid en -richting) op de datums waarop kwalverstopproblemen optraden en een aantal dagen daaromheen,
 - c. Waarnemingen van kwallen in de Westerschelde en voor de Nederlandse kust.

Deze data zijn geanalyseerd op patronen, waarbij is gekeken of er een relatie is tussen weersomstandigheden en kwallenproblemen.



Figuur 1 Ligging van de Sloecentrale, aangrenzende havens en de locaties van de koelwater in- en uitlaat.

2 Methoden

2.1 Literatuurstudie

In oktober en november 2022 is in de wetenschappelijke en grijze literatuur gezocht naar informatie over:

1. Het voorkomen en de seizoenspatronen van kwallen in de Westerschelde,
2. Het gedrag van kwallen in relatie tot in de Westerschelde voorkomende omgevingsvariabelen zoals wind, golfslag, stroming, getij, zoutgehalte en temperatuur,
3. In hoeverre kwalproblemen optreden wereldwijd bij installaties die grote hoeveelheden proceswater innemen, zoals energiecentrales en ontziltingsfabrieken,
4. Welke oplossingen er zijn ontwikkeld om inzuigen van kwallen te voorspellen en voorkomen.

2.2 Beschikbare data

Voor de periode 2010 - 2022 zijn gegevens uit verschillende databronnen ingewonnen. Deze worden op hun bruikbaarheid beoordeeld en eventueel verder gebruikt voor analyse:

- Watertemperatuur in de Westerschelde,
- Zoutgehalte in de Westerschelde,
- Waterstanden in de Westerschelde,
- Windkracht en -richting in het gebied van de Westerschelde,
- Golfhoogte nabij de Sloecentrale,
- Aantallen kwallen die worden waargenomen in de jaarlijkse WMR ankerkuil bemonstering in opdracht van RWS.

2.2.1 Omgevingsdata RWS

Om een overzicht te krijgen van beschikbare externe databronnen is op de website waterinfo.nl gekeken welke meetpunten van Rijkswaterstaat in de buurt liggen van de Sloecentrale en welke data bij deze meetpunten beschikbaar is. Er is gekeken naar de variabelen watertemperatuur, zoutgehalte, waterhoogte en golfhoogte (tabel 1). Vervolgens is een downloadverzoek uitgezet bij RWS. De ontvangen data zijn geanalyseerd in het programma R.

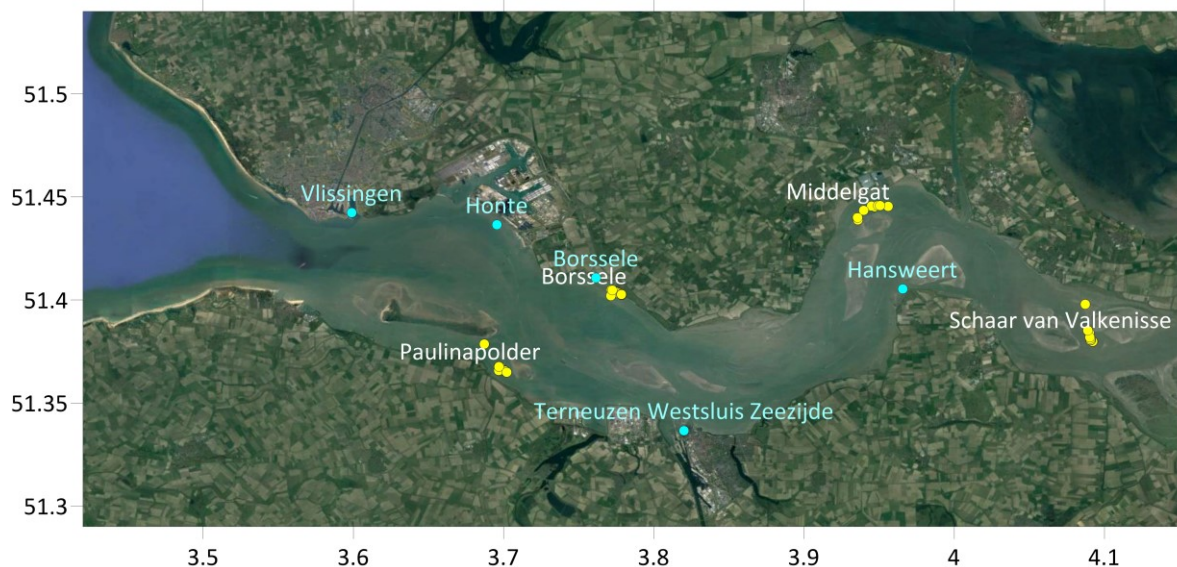
Tabel 1 Meetlocaties

parameter	hoedanigheid omschrijving	locatie	datum start	datum eind	interval
watertemperatuur	°C	Vlissingen	12/3/2009	9/11/2022	10 min
watertemperatuur	°C	Overloop van Hansweert	12/3/2009	9/11/2022	10 min
watertemperatuur	°C	Terneuzen Westsluis Zeezijde	12/3/2009	9/11/2022	10 min
windrichting	graden	Vlissingen	12/3/2009	9/11/2022	10 min*
windsnelheid	meter per seconde	Vlissingen	12/3/2009	9/11/2022	10 min*
zoutgehalte	concentratie chloride in mg/l	Overloop van Hansweert	1/2/2021	9/11/2022	10 min
zoutgehalte	concentratie chloride in mg/l	Terneuzen Westsluis Zeezijde	1/2/2021	9/11/2022	10 min
waterhoogte	cm t.o.v. NAP	Borssele	12/3/2009	7/11/2022	10 min
waterhoogte	cm t.o.v. NAP	Vlissingen	12/3/2009	12/10/2022	10 min
golfhoogte	Significante golfhoogte in het spectrale domein in cm	Honte nabij Sloehaven	1/2/2021	9/11/2022	10 min

*tot 01-02-2021 daggemiddelden, daarna per 10 min.

2.2.2 Vangstgegevens RWS

Met toestemming van RWS zijn de voorjaarsvangsten van kwalachtigen uit het door Wageningen Marine Research uitgevoerde Westerschelde Ankerkuil Vis (WAV) programma opgevraagd. Binnen dit programma wordt in voor- en najaar sinds 2007 op een vier vaste locaties (figuur 2) in de Westerschelde gevist met een ankerkuil vanaf een visserijschip, in het kader van de Europese Kaderrichtlijn Water. Sinds 2011 wordt dit door België op identieke wijze, met hetzelfde schip en vistuig, uitgevoerd op de Zeeschelde. De bemonstering is gericht op pelagische (in de water kolom voorkomende) vis. Hoewel de bemonstering is gericht op vis, zijn vanaf 2016 de vangsten van kwalen gekwantificeerd en beschikbaar.



Figuur 2 Gele punten: De vier locaties waar WMR een bemonstering uitvoert naar het voorkomen van pelagische vis en waarin sinds 2016 ook de soorten en de aantallen kwalen worden gemeten. Blauwe punten: RWS meetpunten waarvan data is verzameld.

2.2.3 Data Sloecentrale

De Sloecentrale heeft relevante procesgegevens van de Sloecentrale gedeeld met WMR (tabel 2). Daarnaast zijn notities uit het *shiftlog* (het logboek van de controlekamer) van de Sloecentrale waar het woord "kwal" wordt genoemd gedeeld, om een indruk te krijgen van wanneer er kwallen zijn waargenomen en/of er problemen met kwallen zijn gemeld. Een belangrijke variabele is de drukval van de *bandscreens*. Een *bandscreen* is een roterende filterinstallatie bij de koelwaterinlaat die kleine objecten (kleine vis) onbeschadigd uit het koelwater haalt, waarna deze terug worden gevoerd naar het havenwater. Bij de koelwaterinlaat staan vier *bandscreens*. De drukval is het verschil in waterniveau vóór en na de *bandscreens*.

Tabel 2 Overzicht meetvariabelen van de Sloecentrale.

parameter	eenheid	datum start	datum eind	interval	opmerking
toerental koelwaterpompen	rpm	12/3/2009	11/10/2022	15 min	voor elke pomp (n=4)
drukval bandscreens	mm	12/3/2009	11/10/2022	15 min	voor elke bandscreen (n=4)
waterhoogte na bandscreen	mm	12/3/2009	11/10/2022	15 min	voor elke bandscreen (n=4)
watertemperatuur na bandscreen	°C	12/3/2009	11/10/2022	15 min	voor elke bandscreen (n=4)
buitenlucht druk	mbar	12/3/2009	11/10/2022	15 min	
buitenlucht temperatuur	°C	12/3/2009	11/10/2022	15 min	drie punten
buitenlucht vochtigheid	%	12/3/2009	11/10/2022	15 min	drie punten
windsnelheid	m/s	12/3/2009	11/10/2022	15 min	
windrichting	graden	12/3/2009	11/10/2022	15 min	

2.2.4 Overige data

Data verzameld door vrijwilligers - "citizen science" - kan bruikbare informatie leveren over het voorkomen van grote hoeveelheden kwallen in de nabijheid van de Sloecentrale. Het gebruik van deze gegevens door energiecentrales wordt besproken in EPRI (2016). In Nederland zijn er voor het voorkomen van kwallen verschillende relevante initiatieven:

- Het Strandaanspoelsel Monitoring Project (SMP) van Stichting ANEMOON waarbij vrijwilligers elke één of twee weken een transect lopen op een vast stuk strand en daarbij registreren wat er aangespoeld is. Deze data kunnen inzicht bieden in het voorkomen van grote hoeveelheden kwallen en eventueel verschuiven van seizoenspatronen. Het dichtstbijzijnde SMP punt is op Neeltje Jans. Zie: <https://www.anemoon.org/projecten/strand-smp-kor/aanspoelsel-smp>
- Een vergelijkbaar project, maar dan voor waarnemingen door duikers is het MOO project waar duikers per duiklocatie hun waarnemingen kunnen doorgeven. In de Westerschelde wordt echter vanwege het zicht weinig gedoken. Meer info: <https://www.anemoon.org/projecten/monitoringproject-onderwater-oever>.
- Op de website [waarneming.nl](https://www.waarneming.nl) kunnen mensen hun waarnemingen van planten en dieren doorgeven en bijhouden. Kwallenwaarnemingen worden hier naar onze ervaring niet consequent doorgegeven, tenzij het er opvallend veel zijn. Hierdoor kunnen deze data wellicht wel een indruk geven van wanneer er grote hoeveelheden kwallen aanwezig zijn. Een opvallende waarneming werd gedaan op 6 mei 2022; er werden "uitzonderlijk grote aantallen" oorkwallen gemeld aan het strand bij Dishoek. De foto's bij de waarneming tonen inderdaad een hoge dichtheid aan kwallen in het oppervlaktewater: <https://waarneming.nl/observation/240688718/>

Voor de data-analyse is gekeken in de bovengenoemde bestanden om een indruk te krijgen van seizoenspatronen van kwallen en globale veranderingen daarin.

2.3 Bruikbaarheid beschikbare data

In EPRI 2021 wordt aanbevolen dat centrales die problemen met kwalinzuiging ervaren, logs moeten bijhouden van meteorologische-, omgevings- en hydraulische condities zodat deze kunnen worden gebruikt om toekomstige problemen te voorspellen. In dit onderzoek is gekeken in hoeverre de huidige door Sloecentrale geleverde data hiervoor bruikbaar is, wat er vanuit andere partijen aan data beschikbaar is en wat er extra verzameld zou kunnen worden.

2.3.1 Omgevingsdata RWS

Van zowel Vlissingen als Borssele was de **waterhoogte** beschikbaar. Aangezien deze waarden voor Borssele en Vlissingen vergelijkbaar zijn met slechts een klein verschil in fase, is ervoor gekozen alleen de waarden van Vlissingen te gebruiken.

Van Vlissingen zijn ook **windsnelheid en windrichting** beschikbaar, gemiddeld per 10 min vanaf 1-2-2021 en gemiddeld per dag voor de periode daarvoor. Deze gegevens zijn gebruikt om een indruk te krijgen van de omstandigheden rond kwalproblemen in de Sloecentrale.

De **watertemperatuur** was beschikbaar voor Vlissingen en ook voor Terneuzen Westsluis Zeezijde en Overloop van Hansweert.

Het **zoutgehalte** was niet beschikbaar van Borssele of Vlissingen, de dichtstbijzijnde meetpunten van RWS zijn Terneuzen Westsluis Zeezijde en Overloop van Hansweert.

2.3.2 Omgevingsdata Sloecentrale

De **luchtgegevens** druk, temperatuur en vochtigheid werden in deze studie als niet relevant ingeschat, en zijn daarom niet verder geanalyseerd.

De **windgegevens** van de Sloecentrale laten een sterke afwijking zien ten opzichte van windgegevens van RWS Vlissingen voor dezelfde periode (Zie Bijlage 1), welke het verwachte weerpatroon laat zien met een overheersende wind uit het zuidwesten. De windgegevens van de Sloecentrale zijn waarschijnlijk niet representatief voor omstandigheden op de nabijgelegen Westerschelde doordat de windmeter door bebouwing wordt geblokkeerd. In verdere analyses zijn daarom de windgegevens van RWS Vlissingen gebruikt. Wellicht is er elders in de Sloehaven bij bijvoorbeeld North Sea Ports nog een andere bron van windgegevens indien nodig.

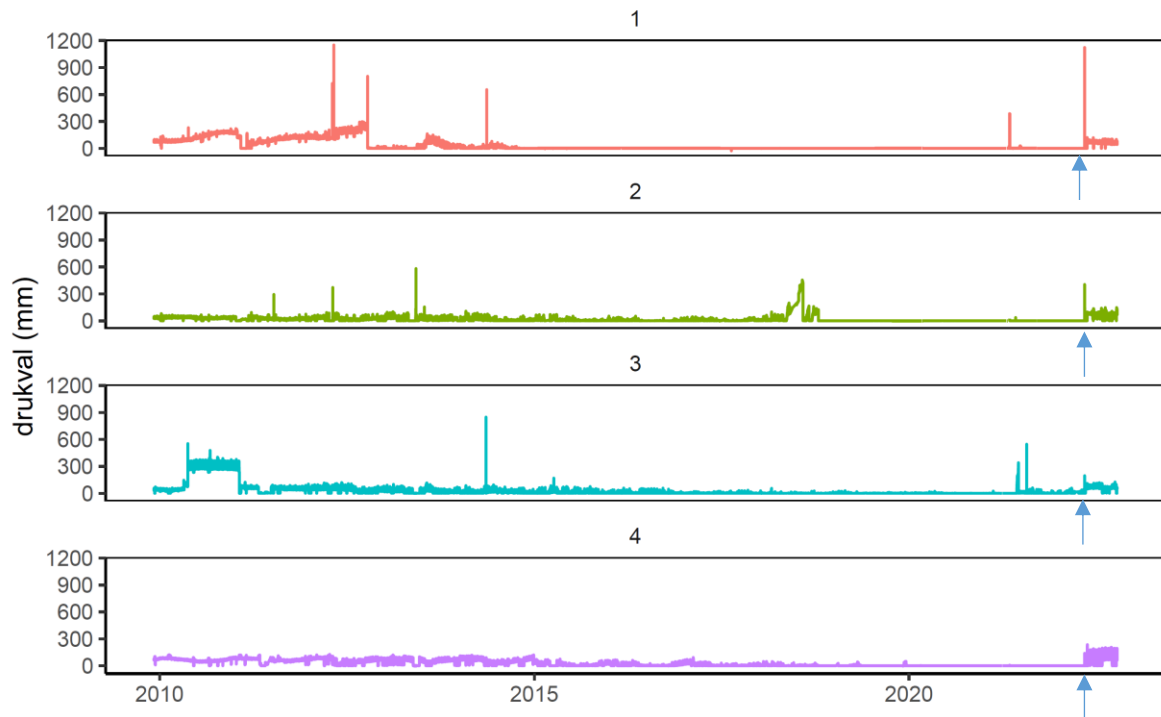
De gegevens over **watertemperatuur** na de bandzeef zijn bekeken voor elke gerapporteerde periode met kwalproblemen en weergegeven in figuren verderop in dit rapport. Hierbij valt op dat er enige afwijking is tussen de temperaturen na de verschillende bandzeven, en dat bij een zeef waarvan de bijbehorende pomp uitstaat, zoals rond 29-04-2012, de watertemperatuur soms sterk kan verschillen van de secties waar de pomp in bedrijf is. Bij verder gebruik van deze gegevens in modellen is het daarom aanbevolen om alleen de data te gebruiken van de secties waarvan de pomp in bedrijf is.

2.3.3 Procesdata Sloecentrale

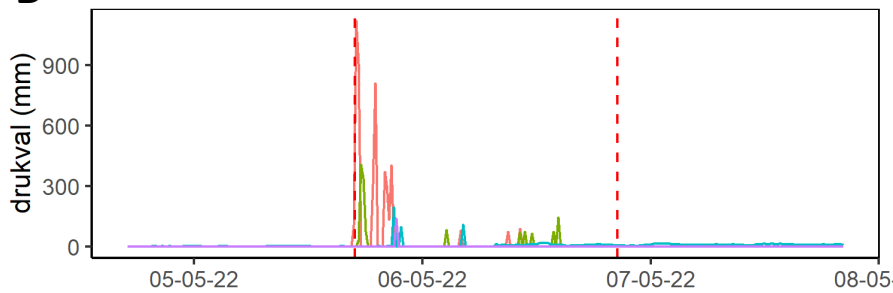
Voor het beter begrijpen wat er gebeurt rond problemen met kwalinzuiging is er naast watertemperatuur ook naar andere procesdata van Sloecentrale gekeken:

Het **toerental van de koelwaterpomp** is normaliter 0 als de pomp uit staat, of fluctuerend met de getijdenfase, waarbij bij een lagere waterstand het toerental hoger is omdat de opvoerhoogte van het water dan groter is. Afwijkingen hiervan kunnen aanwijzingen zijn voor problemen en dit is dan ook op verschillende momenten bij kwalproblemen te zien.

A drukval bandzeven



B



Figuur 3 Drukval – A: het verschil tussen de waterhoogte vóór en na de bandzeven in mm - De data van vóór juni 2022 zijn helaas onbetrouwbaar. De pieken aan de rechterkant van de grafieken vallen samen met de verstopping als gevolg van kwallen. De pijltjes geven de piek van 5 en 6 mei aan. B: selectie 5-8 mei waarbij de stippellijnen het begin en einde aangeven van de meldingen van kwallen.

De **drukval na bandzeven** blijkt in het systeem van Sloecentrale geregistreerd te worden in mm (verschil in waterhoogte vóór en na de bandzeef). Verstopping van de bandzeven door kwallen zal zorgen voor een verhoging van de drukval. Een toenemende drukval kan dus een waarschuwing zijn dat er verstoppingsproblemen aankomen. Helaas blijken de waarden voor drukval vóór Juni 2022 niet altijd betrouwbaar en konden dus niet in de analyse worden gebruikt. Extreme waarden in drukval vóór Juni 2022 zouden wel een indicatie kunnen zijn dat er problemen waren, daarom zijn deze waarden wel weergegeven in de overzichtsfiguren (Figuur 3).

De **waterhoogte na de bandzeven** is afhankelijk van het getij en de drukval. Hierin is duidelijk de getijdencyclus te zien, met soms zichtbare afwijkingen in periodes met kwalproblemen zoals in de nacht van 5 op 6 mei 2022.

2.4 Overleg

Op 2 november 2022 zijn de voorlopige resultaten van het verkennend onderzoek gepresenteerd en bediscussieerd in een overleg met de *Operational - en Process Performance Engineers*. Daarna kregen de WMR-medewerkers een rondleiding in de centrale, de koelwaterinlaat en bij de koelwateruitlaat (Figuur 4, Figuur 13).

Op 12 december 2022 heeft een kort overleg plaatsgevonden tussen WMR en de Adviseur milieu/ruimtelijke ontwikkelingen van North Sea Port, de Teamleider en de Operational engineer Sloecentrale over mogelijke bronnen van data over kwallen in het Sloegebied en mogelijkheden van monitoring. Tijdens dit overleg is afgesproken om te zoeken naar mogelijke bronnen van data over kwallen in het Sloegebied en mogelijkheden van monitoring. Hierbij zijn verschillende andere bronnen van informatie over het voorkomen van kwallen besproken:

- Logboeken van andere koelwater gebruikende bedrijven in het Sloegebied en andere havens van North Sea Port,
- Camerabeelden van beveiligingscamera's die op het water staan gericht,
- Beelden van een project waarbij met drones gemonitord gaat worden bij baggerwerkzaamheden,
- Loodsen, vissers en andere personen die veel op het water werken.



Figuur 4 Zicht op de Westerschelde richting Borssele/Ellewoutsdijk vanaf het dak van een van de twee generatorgebouwen.

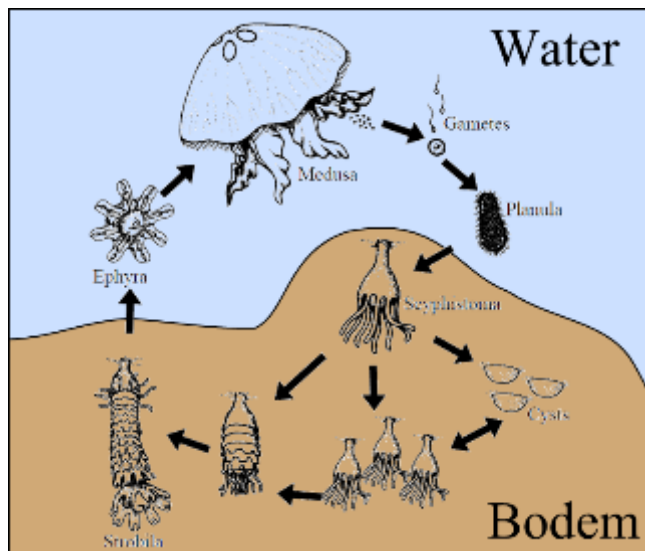
3 Resultaten

3.1 Literatuurstudie

3.1.1 Biologie kwallen

Kwallen maken deel uit van het zoöplankton; een verzamelnaam van dieren die in het vrije water leven (niet op de bodem) en niet tegen de stroom in kunnen zwemmen, zoals vissen dat wel kunnen. Het zoöplankton kan vaak wel zwemmen en bijvoorbeeld omhoog of omlaag in de waterkolom verplaatsen, maar is verder grotendeels overgeleverd aan waterstroming veroorzaakt door weer en getij.

De levenscyclus (Figuur 5) van veel kwallen bestaat uit een vrij zwemmend stadium (de kwal) en bodemstadia; poliepen en cysten. Deze bodemstadia leven vastgehecht aan harde substraten zoals stenen en schelpen. De bodemstadia kunnen zich ongeslachtelijk voortplanten. Een verandering in de omgeving, zoals een periode van koude, zetten de bodemstadia aan tot het vormen van *ephyra*, jonge kwalletjes die in het water worden losgelaten.



Figuur 5 Levenscyclus kwallen.

Vrijzwemmende de kwallen eten ander plankton dan de poliepen, zoals kleine kreeftachtigen en larven van allerlei zeedieren. Over een periode van meestal enkele maanden groeien de *ephyra* uit tot een geslachtsrijpe mannetjes- of vrouwtjeskwal (meduse). Het einde van deze periode, wanneer de kwallen zo groot zijn dat ze gemakkelijk met het oog waarneembaar zijn, wordt aangeduid als "bloeiperiode". De mannetjes lozen hun zaadcellen (gameten) in het water, die de eicellen in het water óf in het vrouwtje bevruchten. Uit de bevruchte eicellen ontwikkelt zich een zwemmende *planula* larve die op zoek gaat naar een plekje op een hard substraat om zich vast te hechten als. Eenmaal vastgehecht verandert de *planula* in een poliep (*scyphostoma*) of cyste. De *scyphostoma*-poliep snoert *strobila* af. Deze komen los van de poliep en vormen vrij zwemmende *ephyra*'s.

Het loslaten van *ephyra*'s gebeurt vaak synchroon, geïnitieerd door bijvoorbeeld een verandering in temperatuur, waardoor het voorkomen van kwallen sterk seizoensgebonden is. Het precieze moment van verschijnen van kwallen tijdens de bloeiperioden is afhankelijk van het moment van van strobilatie; het loslaten van de *ephyra*'s door de poliepen (Boero *et al.*, 2008). Bij diverse soorten lijkt een verandering van temperatuur de trigger te zijn voor de poliepen om te gaan strobileren. Uit een gedetailleerde studie naar het mechanisme wat achter strobilatie zit, blijkt dat er een bepaalde hoeveelheid afkoeling (in de winter) nodig is om de poliepen te laten strobileren (Fuchs *et al.*, 2014). Hoe snel de kwallen vervolgens groeien is deels afhankelijk van het voedselaanbod maar ook van de

temperatuur. Gezien het feit dat kwallen koudbloedige dieren zijn, zullen zij bij warmere temperaturen sneller groeien mits er voldoende voedsel is. Na mildere winters lijkt de eerste waarneming en de piek in de hoeveelheid oorkwallen ook eerder te zijn (Van Walraven *et al.*, 2015). In een experiment produceerden oorkwallen ook meer poliepen na een warme winter (Goldstein and Steiner, 2020).

3.1.2 Soorten, voorkomen en de seizoenspatronen van kwallen in de Westerschelde

Voor de Nederlandse kust en in de Westerschelde komen vier soorten kwallen voor (Tabel 3). Oorkwal, kompaskwal, haarkwal en zeepaddestoel. Er zijn twee soorten haarkwallen: de blauwe – en de gele haarkwal. Doordat de twee soorten op het oog moeilijk van elkaar te onderscheiden zijn, wordt er in het veld meestal geen onderscheid gemaakt tussen de twee soorten. De gele haarkwal (*Cyanea capillata*) is zeldzaam in Nederland (van Walraven, 2016). Bij de haarkwallen die men tegenkomt in de Westerschelde, gaan we er in dit rapport vanuit dat het om de blauwe haarkwal (*Cyanea lamarckii*) gaat.

Tabel 3 De vier algemeen voorkomende kwalsoorten in Nederlandse wateren en hun bloeiperiode.

Soort	Wetenschappelijke naam	Bloeiperiode
Oorkwal	<i>Aurelia aurita</i>	voorjaar
Kompaskwal	<i>Chrysaora hysoscella</i>	zomer
Haarkwal	<i>Cyanea sp</i>	voorjaar (blauwe haarkwal)
Zeepaddestoel	<i>Rhizostoma octopus</i>	herfst

3.1.3 Gedrag van kwallen in relatie tot omgevingsvariabelen

Kwallen kunnen zich oriënteren door middel van lichtgevoelige orgaantjes en een soort evenwichtsorganen. Het is bekend dat kwallen actief een bepaalde richting op kunnen zwemmen, maar de zwemsnelheid is beperkt; gemiddeld 2 m/min ofwel ongeveer 0,033 m/sec (Hamner *et al.*, 1994). De in de BREF *Industrial cooling water* geadviseerde maximum stroomsnelheid van koelwaterinlaten is lager dan 0,30 m/sec, gebaseerd op het zwemvermogen van verschillende vissoorten (EC 2001; Vriese *et al.*, 2012). Dit is bijna een tien keer meer dan de zwemsnelheid van kwallen. "Op eigen kracht" zullen kwallen de koelwaterinlaat dus niet kunnen ontwijken of weg kunnen zwemmen op het moment dat zij ingezogen worden en op een rooster of zeef belanden.

Onder invloed van wisselende lichtsterktes vertoont zoöplankton vertoont vaak een dag-nacht ritme van verticale migratie (*Diel Vertical Migration - DVM*), vooral op open zee en op de oceaan. Overdag vermijdt het plankton het oppervlaktewater om predatie door zichtjagende dieren te vermijden. In de avond komt het plankton dan omhoog om 's nachts in het voedselrijkere oppervlaktewater eten te verzamelen (Castellani & Edwards, 2017). Van sommige kwallen, waaronder de oorkwal, zijn voorbeelden bekend waarbij vergelijkbaar gedrag wordt vertoond waarbij ze 's nachts algemener zijn aan het oppervlak. Er lijkt wel veel variatie in dit gedrag te zijn en in diverse systemen vond men de oorkwal vooral aan de oppervlakte (Albert, 2011; Graham *et al.*, 2001).

Kwallen kunnen zich ophopen omdat ze in hun bewegingen worden beperkt door fysieke barrières. Bekende barrières zijn de zeebodem en de kust, maar ook horizontale fronten waar watermassa's samenkomen, of verticale gelaagdheid van het water. Die ontstaat meestal door dichtheidsverschillen van de verschillende waterlagen. De temperatuur en het zoutgehalte van water bepalen grotendeels de dichtheid, waarbij de dichtheid van warmer en/of zoeter water lager is dan de dichtheid van zouter en/of kouder water. In systemen of tijdens omstandigheden waarbij weinig menging optreedt door wind of stroming kunnen door dichtheidsverschillen verschillende waterlagen worden gevormd met soms scherpe overgangen, clines/spronglagen genoemd. Kwallen bestaan grotendeels uit water en hebben daarom een dichtheid die vrijwel gelijk is aan die van het water waarin ze leven. Het is bekend dat kwallen zich vaak concentreren rond overgangen in dichtheid (Albert, 2011; Graham *et al.*, 2001).

In experimenten veranderden sommige kwalachtigen hun gedrag bij veranderende waterdruk, wat voor kwalachtigen een maat voor diepte kan zijn (Albert, 2011; Graham *et al.*, 2001).

Veel kwalachtigen zijn fragiel en kunnen makkelijk beschadigen als zij terecht komen in turbulent water zoals golven. Kwalachtigen lijken turbulentie te kunnen waarnemen en bij turbulentie naar dieper water zwemmen. Op die manier kunnen zij ook bijvoorbeeld voorkomen dat ze met een turbulente ebstroom naar open zee worden getransporteerd (Albert, 2007).

Over kwallen langs de Nederlandse Noordzeekust wordt vaak beweerd dat deze vooral bij oostenwind (aflandige wind langs de westkust) op het strand aanspoelen (voorbeeld: <https://www.ecomare.nl/verdiep/nieuws/kwallen-op-strand/>). De oostenwind zou dan het oppervlaktewater richting zee blazen, waardoor een onderstroom ontstaat die de kwallen meevoert naar het strand. Hoewel deze verklaring plausibel klinkt is deze relatie niet wetenschappelijk aangetoond, en ook bij andere windrichtingen vindt men kwallen op het strand. Het is bekend dat kwallen zich kunnen concentreren onder invloed van windrichting, windkracht en stroming. Volgens Graham *et al.* (2001) vormt een combinatie van wind en kustmorfologie vaak voor accumulatie van kwallen.

3.1.4 Neemt het aantal kwallen toe?

Door het gedrag en levenscyclus van kwallen in combinatie met de grote invloed van factoren als wind en stroming (bijvoorbeeld door getij) op hun verspreiding, komen kwallen vaak plotseling lokaal in grote en sterk variabele dichtheden voor (Graham *et al.*, 2001). In combinatie met de schaarste aan gerichte monitoring is het daarom lastig om patronen in het voorkomen van kwallen te ontdekken (Gibbons en Richardson, 2013).

Veel door de mens veroorzaakte veranderingen in ecosystemen zouden kunnen leiden tot een toename in het aantal kwallen (Gershwin, 2013; Richardson *et al.*, 2009):

- Kunstmatige harde substraten zoals havens bieden extra vestigingsmogelijkheden voor de poliepen van kwallen,
- Door o.a. scheepvaart kunnen kwallen geïntroduceerd worden in een nieuwe omgeving waar zij voor overlast kunnen zorgen (invasieve exoten),
- Overbevissing van vissen die kwallen eten of met kwallen om voedsel concurreren kan leiden tot een toename,
- Door overbemesting kan er meer voedsel beschikbaar komen voor kwallen, hetgeen kan leiden tot een toename,
- In gebieden met zuurstofgebrek kan overbemesting en klimaatverandering leiden tot toename waar vissen niet maar kwallen wel kunnen overleven.

3.1.4.1 Wereldwijd

Of er een wereldwijde toename in kwallen en daarmee gepaard gaande problemen bestaat is onderwerp van discussie. Sommige studies zeggen van wel (Attrill *et al.*, 2007; Brotz *et al.*, 2012), terwijl anderen zeggen dat er te weinig bewijs is en/of de patronen in wereldwijd voorkomen van kwallen cyclisch zijn (Condon *et al.*, 2012; Haddock *et al.*, 2008; Pitt *et al.*, 2018). Desalniettemin zijn er lokaal plekken waar kwallen toenemen.

3.1.4.2 Nederland

Lange termijngegevens van kwallenvangsten in Nederlandse wateren zijn schaars. Kwallenvangsten in een visfuij bij het eiland Texel laten een wisselend beeld zien; sinds de jaren '80 zijn de aantallen van de oorkwal en zeepaddestoel afgenomen maar de aantallen van de kompaskwal en blauwe haarkwal toegenomen. Wel is het seizoenspatroon van diverse soorten veranderd; de oorkwal en kompaskwal komen eerder in het jaar voor. De kompaskwal blijft tot later in het jaar aanwezig, gerelateerd aan veranderingen in de watertemperatuur door klimaatverandering (Van Walraven *et al.*, 2015). Waarnemingen van aangespoelde kwallen langs de kust in het ANEMOON SMP project laten een vergelijkbaar patroon zien (van Walraven, 2016). Recent is er ook een analyse uitgevoerd op de kwallenwaarnemingen in het ANEMOON MOO project waaruit blijkt dat de seizoenspatronen van de soorten verschuiven; oorkwallen, haarkwallen en kompaskwallen pieken steeds eerder in het jaar

(Leestemaker & Gmelig-Meyling, 2022). In de westelijke Waddenzee is door de introductie van de invasieve Amerikaanse langlobrikkwal (*Mnemiopsis leidyi*) de totale hoeveelheid kwalachtigen wel toegenomen in vergelijking met de jaren '80 van de vorige eeuw (van Walraven *et al.*, 2017).

3.1.4.3 Westerschelde

Er zijn in de literatuur alleen incidentele meldingen en geen rapportages over langjarige tijdseries aanwezig over kwallen in de Westerschelde. In een Belgische studie uit 2011 – 2012 werd alleen de oorkwal gevonden, in lage dichtheid van $< 0,01$ ind/m³ bij Borssele. Andere kwalachtigen die hier werden gevonden, waren diverse hydromedusen (kleine kwalachtigen) en ribkwallen; de zeedruif (*Pleurobrachia pileus*), de Amerikaanse ribkwal en de meloenkwal (*Beroe* sp.; Vansteenbrugge *et al.*, 2015). Een modelstudie naar de verspreiding van de Amerikaanse ribkwal vanuit Zeeuwse wateren voorspelde dat deze vooral algemeen is in het oostelijk deel van de Westerschelde waar de retentie het hoogst is (van der Molen *et al.*, 2015). Poliepen van de oorkwal zijn gevonden in de jachthaven van Breskens maar niet op plastic plaatjes in de Sloehaven (Van Walraven *et al.*, 2016).

3.1.5 Problemen met kwallen bij waterinzuiging

In een overzicht van problemen door kwalinzuiging in (Gershwin, 2013) worden 35 voorbeelden benoemd van problemen met kwallen bij energiecentrales, en daarnaast zes voorbeelden van problemen bij ontziltingsfabrieken. Bij een groot deel van deze incidenten leidde de inzuiging van kwallen tot het stoppen of reduceren van *output* voor één of meer dagen. Een ander overzicht (Graham *et al.*, 2014) geeft ook 35 voorbeelden van kwalproblemen bij energiecentrales wereldwijd (deels dezelfde als in Gershwin, 2013), waarvan het merendeel in Japan, de VS en Zuid Korea. Van 17 van deze incidenten staat de soort vermeld; het merendeel hiervan (14) betreft *Aurelia* spp: het zijn dus soorten van hetzelfde geslacht als de oorkwal die bij de Sloecentrale die voor problemen zorgde in 2022. Veel incidenten worden gerapporteerd bij kerncentrales. Zelfs bij nucleair aangedreven vliegdekschepen zijn problemen bekend met kwalinzuiging. Vermoedelijk vindt er in het algemeen meer monitoring plaats bij nucleaire installaties vanwege de grotere impact bij ongelukken en de hiermee samenhangende grotere maatschappelijke belangstelling.

In de literatuur zijn verschillende voorbeelden te vinden van energiecentrales waarbij monitoring wordt uitgevoerd om blokkades van de koelwaterinname te voorkomen. Dit gaat niet alleen om blokkade door inname van kwallen maar ook van ander materiaal als zeewier, vis of ijs. De meest uitgebreide studies hierover zijn van het Amerikaanse Electric Power Research Institute (EPRI, 2021; 2015) waarin "Best Management Practices" worden gegeven om blokkades te voorkomen. Een belangrijke aanbeveling van EPRI (2021) is dat er geen "one size fits all" oplossing is voor verstoppingsproblemen van koelwaterinnames. De *Best Management Practices* zijn afhankelijk van locatie-specifieke factoren zoals het soort materiaal dat de blokkades veroorzaakt, het type screening bij de koelwaterinname en de mogelijkheden tot voorspellen van problemen. Overigens is er nog een advies van EPRI, speciaal gericht op problemen kwallen in het koelwater: *Debris Technical Brief: Jellyfish and Jellyfish-like Organisms* (epri.com). Ook over het gebruik van *trash racks* is er een rapport: *Intake Systems Maintenance Guide, Volume 1: Stop Gates, Trash Racks, and Trash Rakes* (epri.com). Deze twee rapporten waren echter niet beschikbaar bij het schrijven van dit rapport. Vermoedelijk is een deel van de informatie verwerkt in EPRI (2021).

Oplossingen kunnen grofweg onderverdeeld worden in twee categorieën: oplossingen om de problemen met blokkades van koelwaterinnamesystemen beter te kunnen voorspellen (paragraaf 3.2) zodat op tijd eventuele maatregelen genomen kunnen worden en de daadwerkelijke maatregelen om blokkade te voorkomen (paragraaf 3.3) zoals installatie van roosters, bellenschermen of aanpassingen aan de waterinname (EPRI, 2021).

3.2 Voorspellen van kwalproblemen

Bij het ontstaan van problemen met verstopping van koelwaterinlaten moet er aan een aantal voorwaarden worden voldaan:

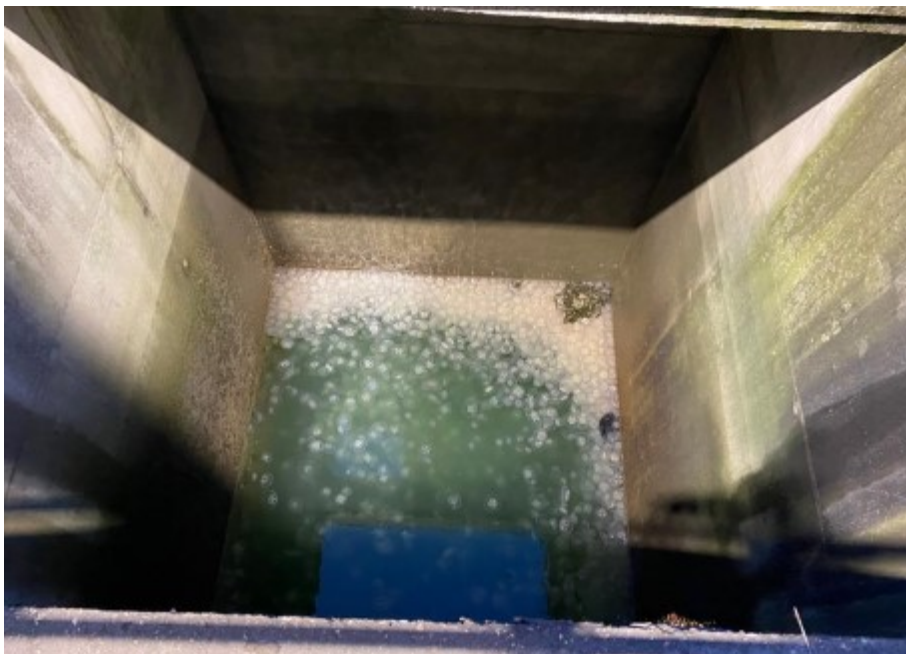
1. Er zijn veel kwallen aanwezig in de nabijheid van de centrale,
2. Door omgevingsfactoren worden de kwallen bij de inlaat van de centrale geconcentreerd,
3. De koelwaterinlaat raakt verstopt doordat het bandzeefstelsel de kwallen niet meer voldoende kan afvoeren.

Om te voorspellen of er aan deze voorwaarden voldaan wordt kan monitoring worden uitgevoerd. In dit hoofdstuk beschrijven we wat er voor databronnen nodig zijn om het ontstaan van kwalproblemen te voorspellen. Daarnaast maken we een inventarisatie van de huidige beschikbaarheid en kwaliteit van deze gegevens. Als laatste kijken we op basis van de gegevens rond recente incidenten met kwallen in de Sloecentrale wat een mogelijke verklaring voor het ontstaan van de problemen zou kunnen zijn.

3.2.1 Patronen in voorkomen kwallen Sloehaven en nabije omgeving

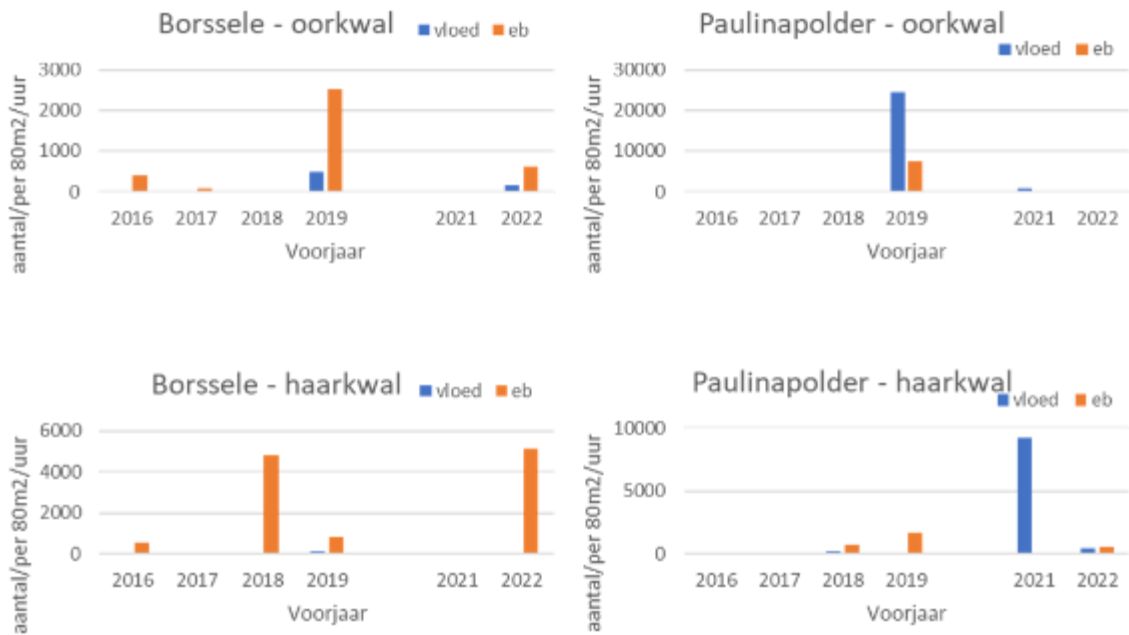
Voor het voorspellen van pieken in aanwezigheid van kwallen in de nabijheid van de Sloecentrale, kan allereerst naar het seizoenspatroon van de kwallen worden gekeken. De oorkwal *Aurelia aurita* piekt in het voorjaar in de periode april-juni. In deze periode is de kans op verstopping door kwallen dus het grootst. Deze soort lijkt in mei 2022 verantwoordelijk te zijn geweest voor het verstopping van de koelwaterinlaat (figuur 6).

In de jaarlijkse ankerkuilbemonstering van WMR voor RWS werden de volgende soorten in de vangst aangetroffen: oorkwal, blauwe haarkwal, parasolletje, zeedruif en Amerikaanse langlobribkwal. De gestandaardiseerde aantallen oor- en blauwe haarkwallen in de twee westelijk gelegen stations (Borssele en Paulinapolder) fluctueren sterk per voorjaar (figuur 7).

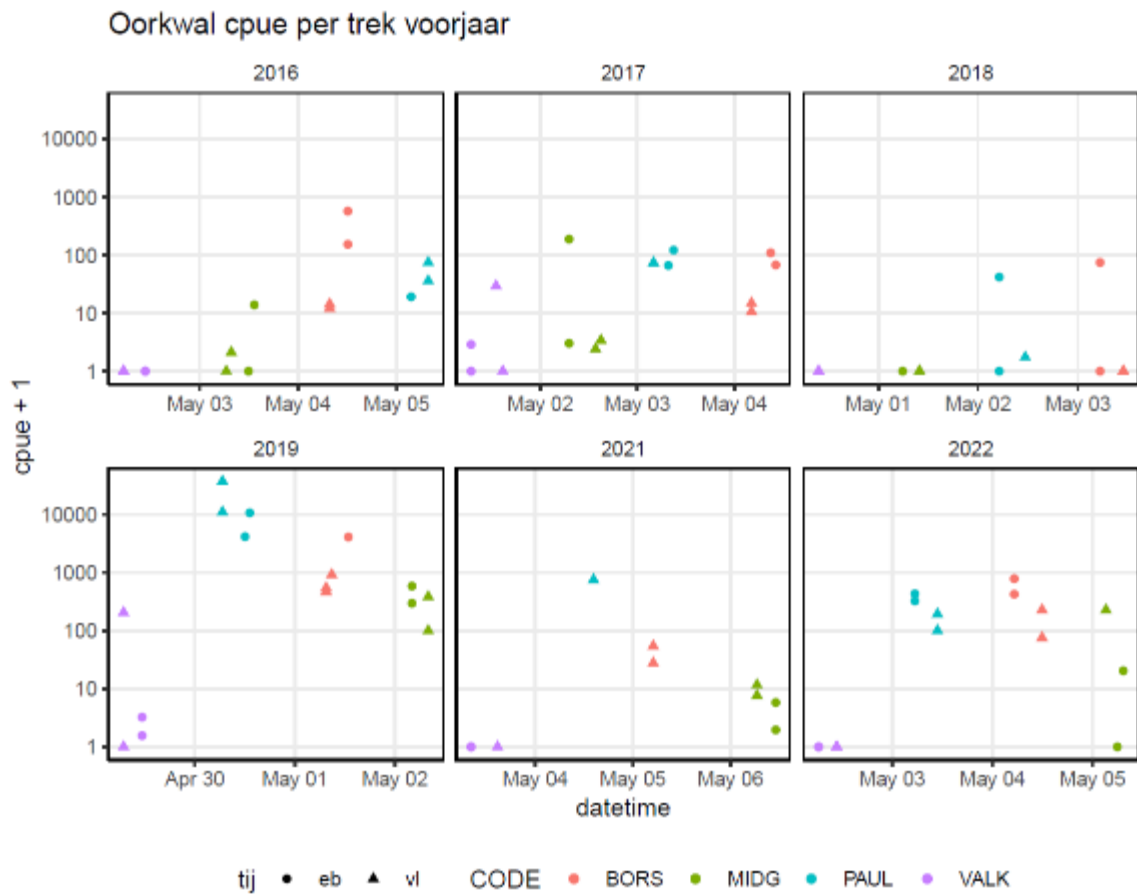


Figuur 6 Oorkwallen in één van de inlaatschachten in mei 2022. (Foto Sloecentrale)

In 2022, het jaar van de grootste kwalproblemen, waren de gestandaardiseerde aantallen oorkwallen in de ankerkuilvangsten lager dan in 2019 (figuur 8). In 2019 waren de aantallen oorkwallen in de vangst extreem hoog, maar zijn er geen kwalproblemen in de Sloecentrale gemeld. Op de meest oostelijke locatie, de Schaar van Valkenisse, worden elk jaar weinig kwallen gevangen.



Figuur 7 Gestandaardiseerde aantallen kwallen (per 80m²/uur) gevangen tijdens de ankerkuilbemonstering van WMR in opdracht van Rijkswaterstaat.



Figuur 8 Gestandaardiseerde aantallen oorkwalen gevangen in de ankerkuilbemonstering op vier locaties in de Westerschelde (logaritmische schaal). De afkorting CPUE op de Y-as betekent "Catch per unit effort": dat is bij deze bemonstering aantal/80m²/uur.

De windrichting en -kracht op de bemonsteringsdagen (tabel 4) in combinatie met figuur 9 geven het volgende beeld:

1. 2019 en 2022, de jaren met hoge kwalvangsten hebben een vergelijkbaar windbeeld: rustige N-wind (maar dat was ook het geval in 2017, toen er minder kwallen waren, wel Z4 op de eerste vangdag)
2. 2019 en 2021 geven een vergelijkbaar patroon in de vangsten, toenemend van oost naar west en een volstrekt verschillend windbeeld (harde W-wind versus zachte NO-wind)
3. Afgezien van 2019 en 2021, lijken de vangsten van Borssele en Paulinapolder vergelijkbaar.

Tabel 4 Windrichting en -kracht zoals geregistreerd tijdens de ankerkuilbemonstering

	Valkenisse	Middelgat	Paulinapolder	Borssele
2016	2-mei ZW4	3-mei NW5	5-mei ZW6	4-mei ZW2
2017	1-mei Z4	2-mei N2	3-mei NO4	4-mei N2
2018	30-apr Z4	1-mei W5	2-mei Z2	3-mei Var1
2019	29-apr N1	2-mei N3	30-apr N3	1-mei Var1
2021	3-mei ZW5	6-mei ZW3	4-mei W7	5-mei NW6
2022	2-mei NO3	5-mei Z1	3-mei NO2	4-mei NO2

3.2.2 Analyse kwal-gerelateerde incidenten in relatie tot de omgeving

In het *shiftlog* worden problemen met kwallen gemeld (tabel 5). In de analyse is het tijdstip van de eerste en laatste melding genomen als maat voor de start en het eind van de problemen. Ook is bekeken welke maatregelen zijn toegepast. Om inzicht te krijgen in patronen in procesdata en omgevingsvariabelen rond deze incidenten zijn voor elk van deze incidenten overzichtsfiguren gemaakt van omgevingsvariabelen en procesgegevens vanaf 24 uur vóór de start van de melding tot 24 uur na het eind van de melding (Bijlage 2).

Tabel 5 Lijst met kwalgerelateerde incidenten uit de shiftlog-rapportage van de operators.

jaar	start	eind	probleem	maatregel
2012	2012-04-28 21:11	2012-04-28 22:31	Toename aantal kwallen, problemen met bandscreen	bandscreen op hoge snelheid
2012	2012-05-04 21:10	2012-05-04 21:10	toename aantal kwallen	geen
2014	2014-05-10 11:17	2014-05-11 20:31	toename aantal kwallen	bandscreen op hand bijgezet
2014	2014-05-14 3:33	2014-05-15 1:18	toename aantal kwallen, bandscreen stilgevallen	koelwaterpomp stoppen, bandscreen op hoge snelheid
2014	2014-05-27 21:37	2014-05-27 21:37	toename aantal kwallen	geen
2016	2016-05-23 21:17	2016-05-23 21:17	toename aantal kwallen	geen
2020	2020-06-08 2:24	2020-06-08 2:24	toename aantal kwallen	geen
2021	2021-05-05 8:55	2021-05-05 8:55	toename aantal kwallen, bandscreen stilgevallen	bandscreen op hoge snelheid
2021	2021-06-11 9:59	2021-06-11 9:59	toename aantal kwallen, bandscreen stilgevallen	bandscreen afspuiten, sproeiers nakijken
2022	2022-05-05 16:52	2022-05-06 20:30	toename aantal kwallen, bandscreen en koelwaterpomp stilgevallen	bandscreen op hoge snelheid
2022	2022-05-07 17:20	2022-05-08 5:09	toename aantal kwallen	bandscreen afspuiten

3.2.2.1 Mogelijke verklaring 2022 incident

Gebaseerd op het gedrag van kwallen en de diverse waarnemingen rond het incident in 2022 zou een mogelijke verklaring kunnen zijn dat op 5 mei veel kwallen in de Westerschelde aanwezig waren (afgaande op ankerkuilvangsten en een incidentele waarneming op waarneming.nl). Doordat er vrijwel geen wind stond waren er weinig golven en concentreerden de kwallen zich aan het oppervlak (in diverse bronnen is dit gedrag van oorkwallen waargenomen). Door de zuidwestenwind werd het oppervlaktewater van de Westerschelde met kwallen richting het noorden geblazen. Tijdens de vloed zijn de kwallen verder de haven in getransporteerd en met de ebstroom dreven ze vanaf de zuidoostelijke hoek van de Van Citterhaven (Heerema) naar het noordwesten. Toen tijdens de eb de wind naar het noordwesten draaide werden de in de haven aanwezige kwallen richting de zuidoever van de Van Cittershaven geblazen, waar de inlaat van de Sloecentrale zit. Ook op 7 mei werd een toename van kwallen gezien bij noordenwind, maar dit keer bij vloed.

Een aanvullende verklaring voor het optreden van problemen vooral bij vloed kan zijn dat dan door de visretourgoot –ten noordwesten van de waterinlaat - afgevoerde kwallen geloosd in de haven met de stroming weer terug naar de inlaat worden gevoerd (recirculeren). Met de eb speelt dat niet. Recirculatie kan optreden omdat de uitlaat van het visretoursysteem iets naar buiten ligt ten opzichte van de koelwaterinlaat en hiermee ontstaat vooral met vloed het risico te bestaan op recirculatie van kwallen. Dit zou groter zijn bij de *bandscreen* het dichtst bij de uitlaat van de visretourgoot, wat bevestigd wordt door de data.

3.2.2.2 Patronen in overige incidenten

Het valt op dat veel incidenten plaats vonden bij een zwakke tot matige wind (windkracht 2 – 4). Dit zou in lijn zijn met voorbeelden uit de literatuur waarbij kwalproblemen vooral bij kalme omstandigheden optreden. Verder komt bij veel van de incidenten de wind uit een noordelijke richting. Een uitleg kan zijn dat, aangezien de koelwaterinlaat van de Sloecentrale op de zuidoever staat, door een noordelijke wind de kwallen aan het oppervlak dan richting de zuidoever worden geblazen. Er zijn echter ook incidenten die voorkwamen bij harde wind, zoals 5 mei 2021, maar ook toen traden de problemen op toen de wind van zuidwest naar noordwest draaide.

Samenvattend lijkt het een mogelijke verklaring te zijn dat kwalproblemen bij de Sloecentrale door een gevolg zijn van een opeenvolging van factoren zoals:

1. Er zijn vanwege het seizoenspatroon veel oorkwallen in de Westerschelde,
2. Bij matige wind zitten de kwallen dicht onder het oppervlak,
3. Door wind uit de zuidhoek worden de kwallen op de Westerschelde richting de Sloehaven geblazen,
4. Met vloed stromen de kwallen de Sloehaven in,
5. Bij wind uit de noordhoek worden de in de haven aanwezige kwallen richting de zuidoever van de van Cittershaven gedreven, waar de koelwaterinname van de Sloecentrale zit.

Bij gebrek aan voldoende data moet wel benadrukt worden dat dit slechts speculatie is op basis van *expert judgement*. Om een beter begrip te krijgen van de omstandigheden die leiden tot kwalproblemen zijn er twee opties mogelijk; het modelleren van bovengenoemde scenario's met hydrodynamische computermodellen, en het verzamelen van meer data over het voorkomen van kwallen in de Sloehaven in relatie tot omgevingsvariabelen. Deze mogelijkheden worden in het advies verder toegelicht.

3.3 Maatregelen om kwalproblemen te voorkomen

In EPRI 2021 worden *Best Management Practices* beschreven voor het voorkomen van blokkades van koelwaterinlaten, met een aantal gedetailleerde *site audits* van energiecentrales in de VS en enkele andere locaties. De meest relevante *site audits* wat betreft problemen met kwallen zijn *Koeberg* (Zuid-Afrika), *Ringhals* (Zweden), *Calvert Cliffs* (VS) en *Diablo Canyon* (VS). In dit rapport wordt ook een overzicht gegeven van technieken om blokkades te voorkomen. Hieronder worden de verschillende technieken besproken (zie tabel 6), waarbij ook wordt ingegaan op de vraag of de techniek een optie zou zijn voor de Sloecentrale.

Tabel 6 Lijst met mogelijke maatregelen tegen kwalinzuiging met inschatting geschiktheid voor de Sloecentrale.

Type maatregel	Maatregel	Geschiktheid Sloecentrale	Paragraaf
Bedrijfsproces	Kwallen Management Plan	Geschikt	3.3.1
Fysieke barrière	Deflectie kribben	Ongeschikt	3.3.2
Fysieke barrière	Netten	Mogelijk geschikt	3.3.3
Fysieke barrière	Bellenschermen	Mogelijk geschikt	3.3.4
Fysieke barrière	Drijvende barrières	Mogelijk geschikt	3.3.5
Fysieke barrière	Deflectie waterstroming	Onzeker	3.3.6
Aanpassen waterinname	Aanpassing grove screens	Mogelijk geschikt	3.3.7
Aanpassen waterinname	Aanpassing bandscreens	Mogelijk geschikt	3.3.7

3.3.1 Kwallen Management Plan

Een belangrijke aanbeveling die in verschillende bronnen, waaronder EPRI 2021, wordt genoemd, is het opstellen van een management plan voor voorspellen en voorkomen van verstoppingen, aangepast aan de specifieke omstandigheden bij de desbetreffende energiecentrale. Dit plan omvat zowel het voorspellen als voorkomen van verstoppingsproblemen. In dit plan zitten bijvoorbeeld *Standard Operating Procedures*, instructies bij verschillende risico's op problemen met verstoppingen, maar ook voor het zorgen dat het onderhoud van de koelwaterinnamesystemen op tijd wordt uitgevoerd, zodat er op kritieke momenten van veel inzuiging van kwallen of vuil geen onverwachte storingen optreden (figuur 9).

Table 4-1
TVA's power plant intake warning indicators for aquatic plants and fish (table modified from TVA 2012)

Severity	Time of Year	River Temperature/Weather Conditions	Other Factors to Consider
Fish			
Green	March 1– November 30	Above 50°F/mild (no arctic fronts are in the forecast)	
Yellow	November 30– February 28	Between 45.5°F and 50°F/cold (if an arctic front is coming, may need to go to red)	If large number of seagulls are in the intake area, may need to go to red.
Red	December 1– February 28	Below 45°F/arctic front is coming (temp. drop is >10°F)	Large flock of seagulls is using the intake area.
A contingency work order should be initiated to manually clean the intake traveling screens if intake warning indicators are yellow or red.			
Aquatic Plants			
Green	January through June	Cold to mild with winter and spring storms	During high flow conditions, possibly elevate to yellow.
Yellow	Late June through July; mid October through December	Mild to hot to cold with passing storms in early summer and storms of longer duration in late fall and early winter months	If storms generate high winds and increased likelihood of floating mats; watch for floating mats of vegetation in the reservoir.

Figuur 9 Voorbeeld van een stappen-actieplan van Tennessee Valley Authority. Uit: EPRI (2015).

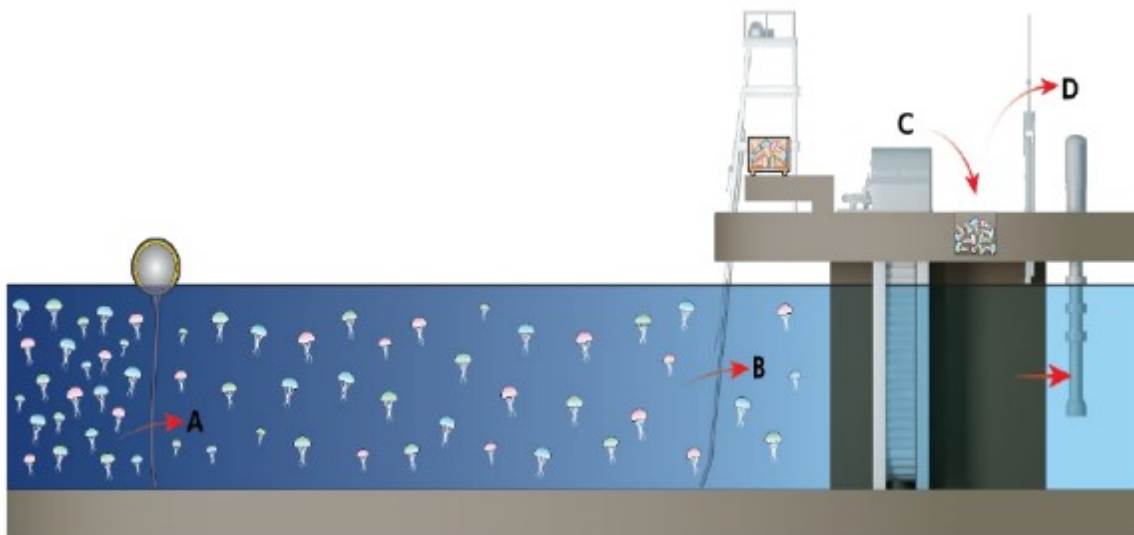
3.3.2 Deflectie kribben/dammen

Bij centrales die aan een stromende rivier liggen kan het een optie zijn om een diagonale dam aan te leggen bovenstrooms van de centrale die drijvende en zwevende objecten weg houdt van de kant. Gezien het feit dat de stroming in de Sloehaven varieert met het getij en er geen ruimte is voor dergelijke fysieke barrières lijkt dit geen bruikbare optie te zijn.

3.3.3 Netten

Het inzetten van netten om de inlaat van energiecentrales wordt vooral gedaan ter voorkoming van inzuiging van vis. Netten kunnen echter ook worden gebruikt om vuil en kwallen tegen te houden (figuur 10). Een punt van aandacht is hierbij dat idealiter het net zo toegepast wordt dat de door het net tegengehouden materialen door de stroming vanzelf worden afgevoerd, zodat de netten niet verstopten of handmatig moeten worden geschoond. Netten kunnen permanent worden geïnstalleerd, seizoensgebonden in het seizoen met de hoogste kans op verstopping, of episodisch; waarbij de netten alleen worden ingezet bij (hoge kans op) problemen. De netten zijn meestal bevestigd aan drijvers.

Het gebruik van netten zou een optie kunnen zijn in de Sloehaven indien er ruimte is in de haven vóór de koelwaterinlaat en toestemming verkregen kan worden voor plaatsing.



Figuur 10 Voorbeeld van mitigerende maatregelen tijdens een kwalen-incident: op grotere afstand ("Far Field") een afschermend net (A), gebalanceerde screening van grovere en kleinere objecten (B en C) en verwijdering (D). Uit: EPRI (2021).

3.3.4 Bellenschermen

Bellenschermen bestaan uit geperforeerde buizen op- of bij de bodem, waar perslucht in wordt gepompt zodat een scherm van opstijgende luchtbellens wordt gevormd. Bellenschermen worden gebruikt voor diverse toepassingen zoals geluidsisolatie bij hei-werkzaamheden op zee, het voorkomen van zoutindringing in kanalen of het verzamelen van plastic afval aan het oppervlak. Door de bellen en de stroming die worden gegenereerd, worden materialen als afval en kwalen naar het oppervlak getransporteerd, waar zij kunnen worden verzameld of afgevoerd. De effectiviteit van bellenschermen hangt af van de stroming (Haberlin *et al.*, 2021). Boven een bepaalde stroomsnelheid werken bellenschermen niet meer effectief. Een Nederlands initiatief (<https://thegreatbubblebarrier.com/>) gebruikt bellenschermen in waterwegen om plastic te verzamelen en af te voeren.

Bellenschermen worden ook ingezet bij problemen met kwalen. In de viskweek worden bellenschermen gebruikt om te voorkomen dat kwalen in de kooien met vis terecht komen (Haberlin *et al.*, 2021). Ook bij energiecentrales zijn bellenschermen ingezet om inzuiging van kwalen te voorkomen. Het voordeel van bellenschermen is dat zij geen fysieke barrière vormen en de scheepvaart er niet door wordt gehinderd. Net als netten kunnen bellenschermen permanent worden geïnstalleerd, seizoensgebonden worden ingezet of alleen worden ingezet als er problemen zijn. Een punt van aandacht bij permanent geïnstalleerde systemen is dat deze goed onderhouden moeten worden zodat ze niet dichtslibben of aangroeien.

Concrete voorbeelden van toepassing van bellenschermen bij centrales met benoeming van materiaal en apparatuur waren lastig te vinden maar in EPRI 2021 worden enkele toepassingen beschreven:

- Bij *Hunterston B Power Station* in Schotland worden bellenschermen seizoensgebonden ingezet in voorjaar en zomer. Dit werkt goed tegen grotere kwalen, maar minder goed bij hoge golven/deining.
- Bij *Diablo Canyon Nuclear Generating Station* in de VS zijn bellenschermen getest om salpen (gelatineuze organismen die lange ketens kunnen vormen) tegen te houden. Dit werkte, maar de kosten van seizoensgebonden installatie waren erg hoog en een permanente installatie was vergunningstechnisch niet mogelijk. Hierdoor is men gestopt met het bellenscherm.

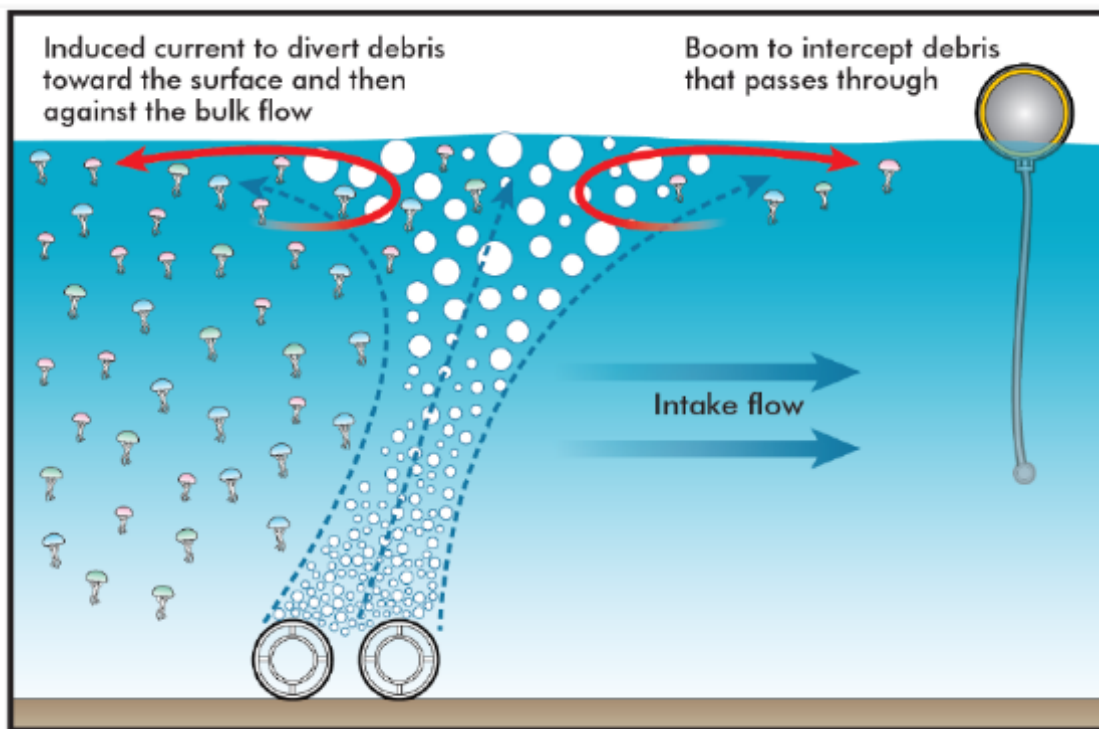
- Bij *Barka Independent Water Project* in Oman, een ontziltingsfabriek is een bellenscherm van twee ringen toegepast.
- *Pickering Nuclear Generating Station* in Canada was bezig met het installeren van een bellenscherm om inname van zeewier tegen te gaan.
- Bij *Ringhals Nuclear Power Plant* in Zweden is bij de inlaat van 2 van de 4 *units* een bellenscherm toegepast tegen kwallen. Deze centrale heeft veel problemen gehad met inzuiging van kwallen. Het bellenscherm leek goed te werken. Het scherm werd gecombineerd met een drijvende barrière tegen inzuiging van olie.

Het gebruik van bellenschermen zou een optie kunnen zijn in de Sloehaven indien er ruimte is in de haven vóór de koelwaterinlaat, toestemming verkregen kan worden voor plaatsing en de stroomsnelheden ter plaatse niet te hoog zijn. Gezien de problemen met kwalinzuiging slechts enkele maanden per jaar optreden zou een tijdelijk systeem de voorkeur kunnen hebben.

3.3.5 Drijvende barrières

Drijvende barrières zijn alleen effectief tegen materiaal dat zich aan het oppervlak bevindt. Ze worden gebruikt bij oliebestrijding en tegen verspreiding van afval en kwallen (Lo, 1996). Bij het gebruik van bellenschermen kunnen drijvende barrières voorkomen dat kwallen die naar het oppervlak zijn gestuwd door het bellenscherm de koelwaterinlaat niet bereiken (figuur 11), zoals bij de bovengenoemde *Ringhals* centrale.

In combinatie met andere maatregelen zouden drijvende barrières bij de Sloecentrale mogelijk een optie zijn. Eventueel zou men ook kunnen denken aan pontons als tijdelijke barrière voor de inlaat.



Figuur 11 Voorbeeld van een bellenscherm in combinatie met een drijvende barrière. Uit: EPRI (2021).



Figuur 12 Voorbeeld van een Flow Velocity Enhancement System (FVES), een pomp die gebruikt wordt om een waterstroom te genereren om objecten weg te leiden van inlaatlocaties. Uit: EPRI (2013)

3.3.6 Deflectie door waterstromingen (FVES)

Een FVES *Flow Velocity Enhancement System* is een pomp met een holle buis waarin onder hoge druk water wordt gepompt om een waterstroom te genereren (figuur 12; zie <https://www.fishpassage.com/services.html>). Deze waterstroom kan worden gebruikt bij het “sturen” van vis rond structuren en het mengen van waterlagen. In EPRI (2013) is een test beschreven waarbij FVES wordt ingezet om drijvend vuil bij de inlaat van een energiecentrale weg te houden. Wellicht kan de FVES ook werken tegen inzuiging van kwallen, alhoewel in EPRI (2021) wordt gemeld dat dit nog niet is getest.

3.3.7 Aanpassen waterinname

Aanpassingen aan de koelwaterinname zouden ervoor kunnen zorgen dat grote hoeveelheden kwallen sneller kunnen worden afgevoerd. Bij de inschatting welke aanpassingen realistisch zijn voor de Sloecentrale zijn grote aanpassingen, zoals een totaal ander zeefstelsel, buiten beschouwing gelaten.

Aanpassing grove screens

Een in EPRI 2021 aanbevolen maatregel is om de grove *screens* “*trash racks*” deels te gebruiken voor afvoer van grotere materialen zoals kwallen en zeewier. Door de *trash racks* uit te voeren met roterende harken kan er meer materiaal worden afgevoerd. Op dit moment is er één grijper voor alle *trash racks* (grofroosters) bij de Sloecentrale. Wellicht kan dit uitgebreid worden. In EPRI 2021 wordt aanbevolen om een balans te vinden tussen kwalafvoer via het *trash rack* en via de *bandscreens*. Indien een deel van de kwallen al bij het grofrooster kan worden afgevoerd kan de belasting van de *bandscreens* lager zijn en overbelasting worden voorkomen.

Aanpassingen bandscreens

- Extra grote emmers aan de *bandscreen*
- Haken/tanden aan de *bandscreen*
- “Gladder” zeefmateriaal
- Hogere snelheid: In *Koeberg Nuclear Power Station* is de trommelzeef zo ingesteld dat deze automatisch overschakelt naar een hogere snelheid als de drukval over de zeef een drempelwaarde overschrijdt (EPRI 2021).
- Aanpassingen aan de *spray nozzles*

Een belangrijke kanttekening is dat moet worden voorkomen dat de kwallen die via het visretoursysteem worden afgevoerd, niet alsnog recirculeren naar de inlaat (zie paragraaf 3.2.2).

Tijdelijke maatregelen

Naast structurele aanpassingen zijn er ook tijdelijke maatregelen die kunnen worden genomen tijdens perioden met veel kwallen:

- Optimaliseren van de sproeiers (met wateraanvoer) in de bandscreens om vuil (in dit geval kwallen) van het filter af te spuiten.
- In *Koeberg Nuclear Power Station* werden brandslangen gebruikt om kwallen van de zeef af te spuiten. In het Sloecentrale shiftlog werd ook geschreven dat dit is gedaan.
- Selectief in/uitschakelen van pompen en filters.

4 Discussie

4.1 Literatuurstudie

Het verschijnen van kwallen voor de Nederlandse kust is afhankelijk van veel factoren en daardoor moeilijk precies te voorspellen. Zelfs wanneer er veel *ephyra's* zijn vrijgekomen in de Noordzee en voor de Nederlandse kust, is het nog maar de vraag of dit zal leiden tot grote concentratie op gegevens locaties. Ondanks hun formaat behoren kwallen tot het plankton, omdat ze hoofdzakelijk passief meebewegen met de heersende waterstromingen. Over verticale verplaatsing is slechts beperkte kennis beschikbaar. Wellicht is verticale migratie minder relevant omdat het kustwater nu eenmaal ondiep is, waardoor er nauwelijks verschil tussen oppervlakte en bodemverspreiding is.

Voor het voorspellen in het kader van het zoeken naar een oplossing zijn twee zaken relevant: (1) een indicatie van de hoeveelheid kwallen voor de Nederlandse kust en de estuaria in het bloeiseizoen van de twee genoemde soorten en (2) een inzicht in welke samenloop van wind en stroming er vervolgens voor kan zorgen dat er veel kwallen terechtkomen voor het koelwaterinlaatpunt. Voor de inzet van technologische middelen om het probleem op te lossen, is het van belang om een naderende aanwezigheid van kwallen zo goed als mogelijk te kunnen voorspellen.

In de literatuurstudie hebben we een beperkt aantal mitigerende maatregelen gevonden om kwallen van de koelwaterinlaat weg te houden (tabel 6): deflectie kribben, netten, zeven, bellenschermen, drijvende barrières en FVES (deflectie door stroming). In de literatuur worden van elk van deze technieken succesvolle toepassingen beschreven. Of een techniek succesvol is hangt echter van veel factoren af en er zijn ook diverse voorbeelden gevonden van toepassing van technieken die niet succesvol waren. Hetzelfde geldt voor aanpassingen in de waterinname waardoor ingezogen kwallen sneller of beter afgevoerd kunnen worden: aanpassingen aan de grove *screens*, *bandscreens* en tijdelijke maatregelen zoals deze al werden toegepast door de *operators* volgens de *shiftlog*.

4.2 Het voorspellen van kwalproblemen

De waargenomen kwalproblemen vielen altijd samen met de periode met de bloeiperiode van de oorkwal. Deze soort heeft haar bloeiperiode in de periode april – juni. Problemen hebben zich voorgedaan van eind april tot begin juni. Binnen deze periode is het optreden van grote hoeveelheden oorkwallen tot nu toe onvoorspelbaar.

De data waarvan gebruik is gemaakt in dit rapport zijn niet verzameld met als doel om eventuele problemen met kwallen te registreren of te voorspellen. Dit geldt uiteraard voor de vrijwillig geregistreerde data van Stichting Anemoon, Waarneming.nl en het Strand Monitoring Project. Ook de registratie van de kwallen in de ankerkuilbemonstering – die is bedoeld voor de monitoring van vis - is te danken aan de individuele onderzoekers die uit eigen beweging de kwallen zijn gaan tellen. Voor de ankerkuilbemonstering is tijdens deze studie gebleken dat het niet mogelijk is om volume- of gewichtsschattingen te geven, hetgeen aanleiding is om de het bemonsteringsprotocol aan te passen. Deze afhankelijkheid van vrijwillige inzet, brengt beperkingen voor de bruikbaarheid met zich mee, doordat de bemonstering niet altijd plaats heeft gevonden met dezelfde intensiteit.

Omgevingsvariabelen op de schaal van de Westerschelde worden sinds jaar en dag verzameld door RWS en gebruikt voor uiteenlopende doelen, waardoor dit robuuste databestanden zijn. Dit ligt anders voor de wind- en watertemperatuurmetingen en de procesdata van de Sloecentrale zelf. De windmetingen bleken onbruikbaar, omdat de windmeter ten noordoosten van een van twee generatorgebouwen is geplaatst en dus bij de overheersende zuidwestelijke windrichting in de luwte staat. Voor de procesdata geldt dat deze in de eerste plaats verzameld worden om inzicht te krijgen in de reguliere, actuele bedrijfsvoering. Met name de drukval blijkt zeer indicatief voor kwalproblemen.

De data in de ankerkuilbemonstering geven een zeer onregelmatig beeld: er zijn jaren met veel en jaren met weinig kwallen in de vangst. In 2019 zijn in de ankerkuildata zeer veel kwallen aangetroffen terwijl bij de Sloecentrale geen problemen optraden. In 2022 laten de ankerkuildata een relatief hoog aantal oor- en haarkwallen zien op 3 en 4 mei 2022. Op Waarneming.nl wordt op 6 mei (dus een dag nadat de centrale werd stilgelegd – “getript”) ook een melding gedaan van grote hoeveelheden kwallen. Werknemers van WMR hadden in Den Helder op diezelfde dag ook te maken met veel oor- en haarkwallen tijdens de kalibratie van akoestische apparatuur (mondelling mededeling Couperus).

Deze gecombineerde waarnemingen lijken er op te wijzen dat het beslist wel mogelijk is om van te voren signalen op te pikken dat de hoeveelheden oor- en haarkwallen hoog zijn, maar het voorbeeld uit 2019 geeft wel aan dat eventuele toenames van kwallen sterk geclusterd kunnen zijn en dat hoge concentraties op één locatie niet hoeft te betekenen dat er ook hogere concentraties zijn in de Sloehaven. Wij vermoeden dat het scannen van waarneming.nl, eventueel in combinatie van een simpele monitoring door middel van visuele waarnemingen op één of enkele plaatsen voor de zuidwestkust beslist aanwijzingen moet geven over een eventuele toename.

Het optreden van problemen met de inzuiging van kwallen in relatie tot de wind- en getijdegegevens geeft geen eenduidig repeterend beeld: elk incident is het resultaat van een eigen samenloop van omstandigheden van wind- en getijde-omstandigheden. Veel incidenten traden op bij rustig weer en bij wind uit de noordhoek (maar niet allemaal). Het lijkt er op dat concentraties kwallen primair via de vloedstroom of in tweede instantie de ebstroom de van Cittershaven binnenkomen, met noordenwind naar de inlaat van de Sloecentrale worden geblazen.

5 Advies

5.1 Kwallen managementplan

Een belangrijk advies is verder om te kijken hoe de opgedane kennis uit dit rapport en uit vervolgonderzoek geïntegreerd kan worden in de bedrijfsvoering. De literatuur (vooral EPRI 2015, 2021) geeft hier handvaten aan door middel van een kwallen managementplan. Een dergelijk plan bevat verschillende opschalingsniveaus afhankelijk van de kans op verstopping. Op basis van seizoen en waarnemingen van verschillende bronnen kan worden opgeschaald. Hieronder een voorbeeld van hoe een dergelijk managementplan eruit zou kunnen zien. Alleen al het integreren van checks op aanwezigheid van kwallen tijdens wachtrondes kan leiden tot betere bewustwording en eerder ontdekken van mogelijke problemen.

Niveau	Periode	Acties
Groen	1 Juli - 31 maart	Bij vroege of late melding van veel kwallen in de buurt: opschalen naar geel.
Geel	1 April - 30 Juni	<u>Bij aanvang: check werking bandzeven, ook op hoge snelheid</u> <u>Bij aanvang: noodmaatregelen gereed maken</u> Geen onderhoud plannen aan equipment en randapparatuur van het koelwatersysteem Monitoring meldingen kwallen in nieuwsberichten, waarnemingen en bij andere gebruikers haven Monitoring kwallenverwijdering door bandscreens Waarschuwingsniveaus drukval omlaag Evt technische aanpassingen zoals bellenscherm in bedrijf Monitoren weersvoorspelling: evt opschalen naar oranje bij voorspelling van weinig wind en verandering windrichting zuid naar noord
Oranje	Bij oplopende drukval, weersvoorspelling reden tot zorg	<u>Noodmaatregelen gereed maken</u> Wachtrondes intensiveren
Rood	problemen	<u>Starten noodmaatregelen</u> <u>Handmatig bedienen bandzeven</u> <u>Selectief aan/uitzetten pompen en zeven</u>

5.2 Technische aanpassingen

Het verdient de aanbeveling voor de *operators*, om te experimenteren met de aanpassingen in de waterinname, zoals beschreven wordt in paragraaf 3.3.6. In het kort: aanpassingen aan de grove *screens* (het grofrooster), aanpassingen aan de *bandscreens* en het nemen van tijdelijke maatregelen. Belangrijk is ook om het recirculeren te voorkomen van kwallen die via de visafvoergoot worden afgevoerd en weer terugstromen naar de waterinlaat.

5.2.1 Testen met mitigerende maatregelen

De Sloecentrale heeft zelf al aangegeven te kunnen experimenteren met het toerental van de bandsscreens en het tijdelijk uitzetten van een deel van de vier inlaatpompen, zodat niet alle vier tegelijk verstopt raken. Zie ook paragraaf 3.3.6 Aanpassen waterinname.

5.2.1.1 Bellenscherm en deflectiepomp

Uit de literatuurstudie is gebleken dat een bellenscherm kwallen kan tegenhouden, eventueel gecombineerd met een drijvende barrière (paragraaf 3.3). Het is een overweging om hierin te investeren. Voorafgaand aan implementatie zal dan eerst gekeken moeten worden wat de lokale stroomsnelheden zijn bij het inlaatpunt en moet worden onderzocht of een bellenscherm bij deze stroomsnelheden effectief kan zijn. Indien nodig kan er eerst een test worden uitgevoerd en gekeken worden hoe dit geïntegreerd kan worden in de bedrijfsvoering en het waarschuwingssysteem. Het gebruik van een deflectiepomp lijkt alleen nuttig bij problemen met materiaal dat zich aan het wateroppervlak bevindt.

Het opzetten van een bellenscherm of toepassen van deflectie kan onderdeel zijn van een eventuele vervolgstudie. De kosten hiervoor zijn moeilijk in te schatten en onder andere afhankelijk van leverancier, dimensies en of het systeem incidenteel, seizoensgebonden of permanent wordt gebruikt.

5.3 Beter begrip en voorspelbaarheid van het probleem

Los van de eigenlijke – technologische - oplossing om te voorkomen dat de dat de centrale stilgelegd moet worden op het moment dat er grote aantallen kwallen in het koelwater zitten, is het van belang om het probleem beter te begrijpen en te kunnen voorspellen. Hieronder doen we enkele voorstellen hiervoor, waarbij we onderscheid maken tussen acties die goedkoop – en gemakkelijk kunnen worden geïmplementeerd en acties die meer inzet vereisen, maar op langere termijn de kennis verhogen en wellicht handvaten bieden om het probleem op te lossen.

5.3.1 Registratie meetgegevens Sloecentrale

De drukval in de bandscreens kunnen de problemen met kwallen niet voorspellen. Deze loopt immers pas op als er al teveel inzuiging van kwallen is. Toch is de drukval een belangrijk meetgegeven voor de evaluatie van problemen met kwallen. Het verdient daarom de aanbeveling om de juistheid van de meetgegevens van de drukval voor de toekomst te bewaken.

De windmeter van de Sloecentrale is gepositioneerd in de lufte van een van de unit-gebouwen bij zuidwestenwind, waardoor de windgegevens onbetrouwbaar zijn. De waarde van de windgegevens van de Sloecentrale is beperkter voor evaluatie en eventuele ontwikkeling van een voorspellend model, omdat er ook gebruikt gemaakt kan worden van RWS meetlocaties. Dat neemt niet weg dat de Sloecentrale zou moeten overwegen om de windmeter te verplaatsen naar een geschikte locatie.

5.3.2 Korte termijn

De volgende acties zijn gemakkelijk en goedkoop te implementeren:

- Optimalisatie van de registratie van kwallen gerelateerde process- en omgevingsdata van de sloecentrale.
- Van april tot en met juni dagelijks de meldingen van kwallen op waarneming.nl opvolgen. Met name op Waarneming.nl is er een goede kans dat waarnemingen van grote hoeveelheden kwallen worden gemeld. Er zou dan gezocht moeten worden op Oorkwal (*Aurelia aurita*) en haarkwal (*Cyanea sp.*) en (het strandje bij) "Fort Rammekens".
- Monitoring in de schachten bij de inlaat op de aanwezigheid en hoeveelheid kwallen aan het wateroppervlak, visueel of met een verticaal gerichte camera. Grote, toenemende, aantallen kwallen in de schachten voor de inlaat kunnen een indicatie zijn van komende problemen bij de aanzuiging van koelwater.
- Visuele monitoring (evt. met CCTV, "bewakingscamera's) van de aanwezigheid van kwallen in de afvalbakken binnen en buiten het waterinname-gebouw.

- Inventariseren in hoeverre ophoping in de uiteinden van de Scaldiahaven, van Cittershaven en Kaloothaven plaatsvindt. Bedrijven die aan deze havens zijn gelegen hebben mogelijk informatie. Mogelijk zijn er van deze bedrijven videobestanden van CCTV (bewakingscamera's) beschikbaar. Indien er een ophoping is van kwallen in een van de uiteinden van de drie genoemde havens, kan dit een voorbode zijn van problemen.
 - Scaldiahaven: bij noordoostenwind
 - Van Cittershaven: bij zuidoostenwind
 - Kaloothaven: bij zuidwestenwind

5.3.3 Acties die meer tijd en/of geld kosten

- Een vroegtijdige indicatie van de aanwezigheid van kwallen in de buurt zou men – in aanvulling op de bovengenoemde dagelijkse korte scan op Waarneming.nl – zelf een dagelijks een **visuele waarneming** kunnen verzamelen bij de ingang van de Westerschelde (bijvoorbeeld bij de loodsensteiger bij het standbeeld van Michiel de Ruyter), eventueel door middel van een CCTV camera. Ook zou men het strandje pal ten oosten van de oostelijke pier bij de ingang van de Sloehaven kunnen scannen. Kosten: 1 manuur per werkdag gedurende 2 maanden (half april – half juni) per jaar.
- Continue monitoring in de haven bij het inname gebouw. Gezien het slechte doorzicht ligt het voor de hand om dit te doen met behulp van een **DIDSON sonar** (Han and Uye, 2009; Yoon *et al.*, 2018). Dit een grotere investering (aanschaf en onderhoud). Het verdient de overweging om wel een test te doen met dit apparaat met als doel om (1) na te gaan of het in principe mogelijk is om kwallen waar te nemen bij de condities ter plaatse, (2) een optimale locatie te vinden en (3) te testen of er goede waarnemingen verzameld kunnen worden ten aanzien van de verticale verspreiding. We bevelen aan om deze test te combineren met het verzamelen van waarnemingen met behulp van verticaal gerichte camera's in de schachten van de waterinlaat (zie paragraaf 5.3.2), zodat de getest kan worden of de - veel goedkopere - camera-methode een goed indicatie is voor de aanwezigheid van kwallen. Geschatte kosten van een 10 daagse test zijn ongeveer 50.000 euro. Kosten van een vaste opstelling: ca 75.000 euro voor de aanschaf van een DIDSON (afschrijving over 10 jaar). Hierbij komen de kosten voor een vaste installatie en bekabeling naar de centrale.
- De inschatting van de verplaatsing en verspreiding onder invloed van wind kan misschien nauwkeuriger gemaakt worden door het **ontwikkelen van twee modellen**: 1. Binnen de haven: de kans op problemen wanneer er kwallen in de haven terecht zijn gekomen (met name windgedreven, ook vertikaal) 2. Op grotere schaal: de kans dat er kwallen de haven indrijven (stroming, getij, wind) in de regio Westerschelde en monding. Dit zou uitgevoerd kunnen worden door WMR, samen met een instituut dat ervaring heeft met het maken van hydro-dynamische modellen. Overwogen moet worden om dit op te pakken in samenwerking met andere partijen in de haven. De kosten zijn vergelijkbaar met de DIDSON test.

	uren (indicatie)	uurtarief (indicatie)	materiaal (indicatie)	Kosten (indicatie)	opmerking
visuele monitoring door werknemer	€ 50	€ 50		€ 2,500	jaarlijks
10 daagse test monitoring met DIDSON-sonar	€ 200	€ 150	€ 20,000	€50,000	eenmalig
modellering a.d.h.v. omgevingsvariabelen	€ 350	€ 150		€50,000	eenmalig



Figuur 13 Zicht op de ingang van de Sloehaven vanaf het dak van het koelwateruitlaatgebouw.

6 Kwaliteitsborging

Wageningen Marine Research beschikt over een ISO 9001:2015 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV.

7 Literatuur

- Albert, D.J., 2011. What's on the mind of a jellyfish? A review of behavioural observations on *Aurelia* sp. jellyfish. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 35, 474–482.
- Albert, D.J., 2007. *Aurelia labiata* medusae (Scyphozoa) in Roscoe Bay avoid tidal dispersion by vertical migration. *J. Sea Res.* 57, 281–287.
- Attrill, M.J., Wright, J., Edwards, M., 2007. Climate-related increases in jellyfish frequency suggest a more gelatinous future for the North Sea. *Limnol Ocean.* 52, 480–485.
- Boero, F., Bouillon, J., Gravili, C., Miglietta, M.P., Parsons, T., Piraino, S., 2008. Gelatinous plankton: irregularities rule the world (sometimes). *Mar Ecol Prog Ser* 356, 299–310.
- Brotz, L., Cheung, W.W.L., Kleisner, K., Pakhomov, E., Pauly, D., 2012. Increasing jellyfish populations: trends in Large Marine Ecosystems. *Hydrobiologia* 690, 3–20.
- Castellani, C., and Edwards, M. 2017. *Marine Plankton: A Practical Guide to Ecology, Methodology, and Taxonomy*. Oxford: Oxford University Press.
- Condon, R.H., Graham, W.M., Duarte, C.M., Pitt, K.A., Lucas, C.H., Haddock, S.H.D., Sutherland, K.R., Robinson, K.L., Dawson, M.N., Decker, M.B., 2012. Questioning the Rise of Gelatinous Zooplankton in the World's Oceans. *BioScience* 62, 160–169.
- EC, 2001. Reference Document on the Application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems. European Commission. <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/industrial-cooling-systems>.
- EPRI, 2021. Best Management Practices Manual for Preventing Cooling Water Intake Blockages.
- EPRI, 2016. Program on Technology Innovation: Citizen Science Species Data--An Introduction, Review of Current Uses, and Potential Benefits and Risks.
- EPRI, 2015. Service Water Intake Blockages: Event Forecasting for Minimizing Impacts (No. 3002005150.). Palo Alto.
- EPRI, 2013. A Test of the Flow Velocity Enhancement System (FVES) for Deflecting Aquatic Vegetation from the Intake of Genoa Power Station #3, Wisconsin.
- Fuchs, B., Wang, W., Graspentner, S., Li, Y., Insua, S., Herbst, E.-M., Dirksen, P., Böhm, A.-M., Hemmrich, G., Sommer, F., others, 2014. Regulation of polyp-to-jellyfish transition in *Aurelia aurita*. *Curr Biol* 24, 263–273.
- Gershwin, L.-A., 2013. *Stung!: On Jellyfish Blooms and the Future of the Ocean*. University of Chicago Press, Chicago.
- Gibbons, M.J., Richardson, A.J., 2013. Beyond the jellyfish joyride and global oscillations: advancing jellyfish research. *J Plankton Res* 35, 929–938.
- Goldstein, J., Steiner, U.K., 2020. Ecological drivers of jellyfish blooms—The complex life history of a 'well-known' medusa (*Aurelia aurita*). *J. Anim. Ecol.* 89, 910–920.
- Graham, W.M., Gelcich, S., Robinson, K.L., Duarte, C.M., Brotz, L., Purcell, J.E., Madin, L.P., Mianzan, H., Sutherland, K.R., Uye, S., 2014. Linking human well-being and jellyfish: ecosystem services, impacts, and societal responses. *Front. Ecol. Environ.* 12, 515–523.
- Graham, W.M., Pagès, F., Hamner, W.M., 2001. A physical context for gelatinous zooplankton aggregations: a review, in: Purcell, J.E., Graham, W. M., Dumont, H.J. (Eds.), *Jellyfish Blooms: Ecological and Societal Importance, Developments in Hydrobiology*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 199–212. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0722-1_16
- Haberlin, D., McAllen, R., Doyle, T.K., 2021. Field and flume tank experiments investigating the efficacy of a bubble curtain to keep harmful jellyfish out of finfish pens. *Aquaculture* 531, 735915. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735915>
- Haddock, S.H.D., Attrill, M.J., Edwards, M., 2008. Reconsidering evidence for potential climate-related increases in jellyfish. *Limnol Ocean.* 53, 2759–2766.
- Hamner, W.M., Hamner, P.P., Strand, S.W., 1994. Sun-compass migration by *Aurelia aurita* (Scyphozoa): population retention and reproduction in Saanich Inlet, British Columbia. *Mar. Biol.* 119, 347–356.
- Han, C.-H., Uye, S.-I., 2009. Quantification of the abundance and distribution of the common jellyfish *Aurelia aurita* sl with a Dual-frequency IDentification SONar (DIDSON). *J. Plankton Res.* 31, 805–814.

-
- Leestemaker, N., and Gmelig Meyling, A. 2022. Klimaat Verandert, Kwalpatronen Vervroegen. Nature Today, 2022. <https://www.naturetoday.com/intl/nl/nature-reports/message/?msg=30072>.
- Lo, J.-M., 1996. Laboratory investigation of single floating booms and a series of booms in the prevention of oil slick and jellyfish movement. Ocean Eng. 23, 519–531.
- Pitt, K.A., Lucas, C.H., Condon, R.H., Duarte, C.M., Stewart-Koster, B., 2018. Claims That Anthropogenic Stressors Facilitate Jellyfish Blooms Have Been Amplified Beyond the Available Evidence: A Systematic Review. Front. Mar. Sci. 5.
- Richardson, A.J., Bakun, A., Hays, G.C., Gibbons, M.J., 2009. The jellyfish joyride: causes, consequences and management responses to a more gelatinous future. Trends Ecol Evol 24, 312–322.
- van der Molen, J., van Beek, J., Augustine, S., Vansteenbrugge, L., Van Walraven, L., Langenberg, V., Van der Veer, H.W., Hostens, K., Pitois, S., Robbens, J., 2015. Modelling survival and connectivity of *Mnemiopsis leidyi* in the south-western North Sea and Scheldt estuaries. Ocean Sci 11, 405–424.
- van Walraven, L., 2016. Flexible filter feeders: the gelatinous zoöplankton community in the Netherlands after the invasion of the ctenophore *Mnemiopsis leidyi*. University of Groningen, Groningen.
- van Walraven, L., Daan, R., Langenberg, V.T., van der Veer, H.W., 2017. Species composition and predation pressure of the gelatinous zooplankton community in the western Dutch Wadden Sea before and after the invasion of the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865. Aquat. Invasions 12, 5–21.
- Van Walraven, L., Driessen, F., van Bleijswijk, J., Bol, A., Luttikhuizen, P.C., Coolen, J.W., Bos, O.G., Gittenberger, A., Schrieken, N., Langenberg, V.T., Van der Veer, H.W., 2016. Where are the polyps? Molecular identification, distribution and population differentiation of *Aurelia aurita*. Mar Biol 163, 1–13.
- Van Walraven, L., Langenberg, V.T., Dapper, R., Witte, J.I.J., Zuur, A.F., Van der Veer, H.W., 2015. Long-term patterns in 50 years of scyphomedusae catches in the western Dutch Wadden Sea in relation to climate change and eutrophication. J Plankton Res 37, 151–167.
- Vansteenbrugge, L., Van Regenmortel, T., and De Troch, M., Vincx, M., Hostens, K., 2015. Gelatinous zooplankton in the Belgian part of the North Sea and the adjacent Schelde estuary: Spatio-temporal distribution patterns and population dynamics. J Sea Res 97, 28–39.
- Vriese, F.T., Griffioen, A.B., Deerenberg, C.M., 2012. Beoordelingssystematiek koelwateronttrekkingen-vervolg. IMARES.
- Yoon, E.-A., Hwang, D.-J., Chae, J., Yoon, W.D., Lee, K., 2018. Behavior and Frequency Analysis of *Aurelia aurita* by Using in situ Target Strength at a Port in Southwestern Korea. Ocean Sci. J. 53, 53–62. <https://doi.org/10.1007/s12601-017-0047-y>

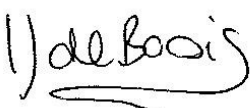
Verantwoording

Rapport C007/23

Projectnummer: 4316100309


Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het verantwoordelijk lid van het managementteam van Wageningen Marine Research

Akkoord: Ingeborg J. de Boois
onderzoeker

Handtekening: 

Datum: 14 maart 2023

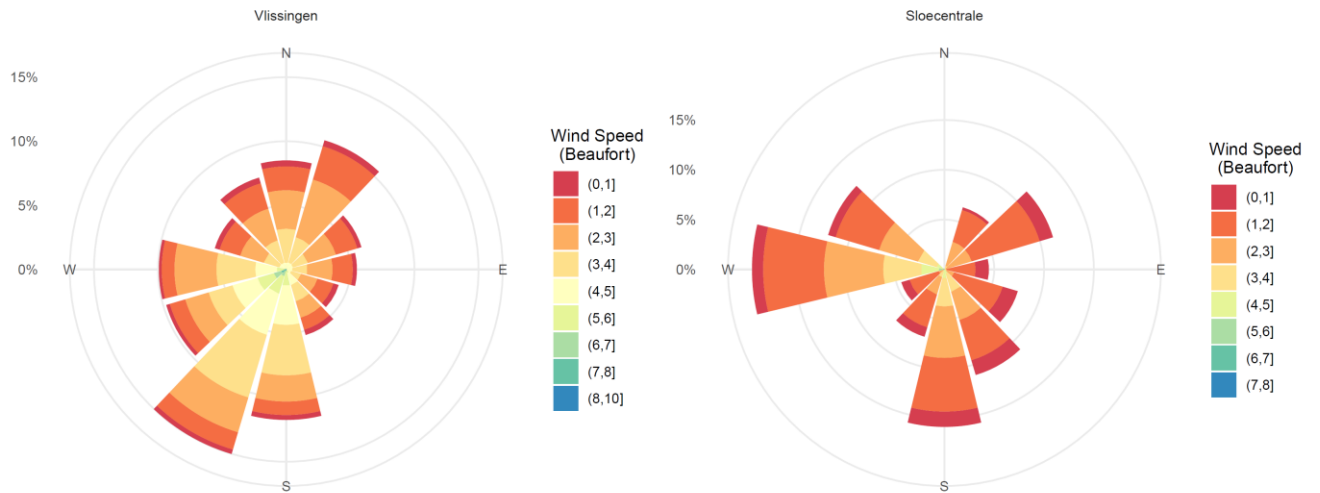
Akkoord: Dr.Ir. T.P. Bult
Director

Handtekening: 

Datum: 14 maart 2023

Bijlage 1

Windmetingen



Windsnelheden en richtingen zoals geregistreerd op de RWS-meetlocatie Vlissingen versus de metingen op de Sloecentrale.

Bijlage 2

Figuren

Onderstaande figuren geven een overzicht van de data in- en om de Sloecentrale rond de data waarop in het shiftlog kwalproblemen zijn gerapporteerd. De kleuren voor de verschillende pompen en bandzeven corresponderen met de nummers als volgt: 1 = rood, 2 = groen, 3 = blauw, 4 = paars.

2012-04-28

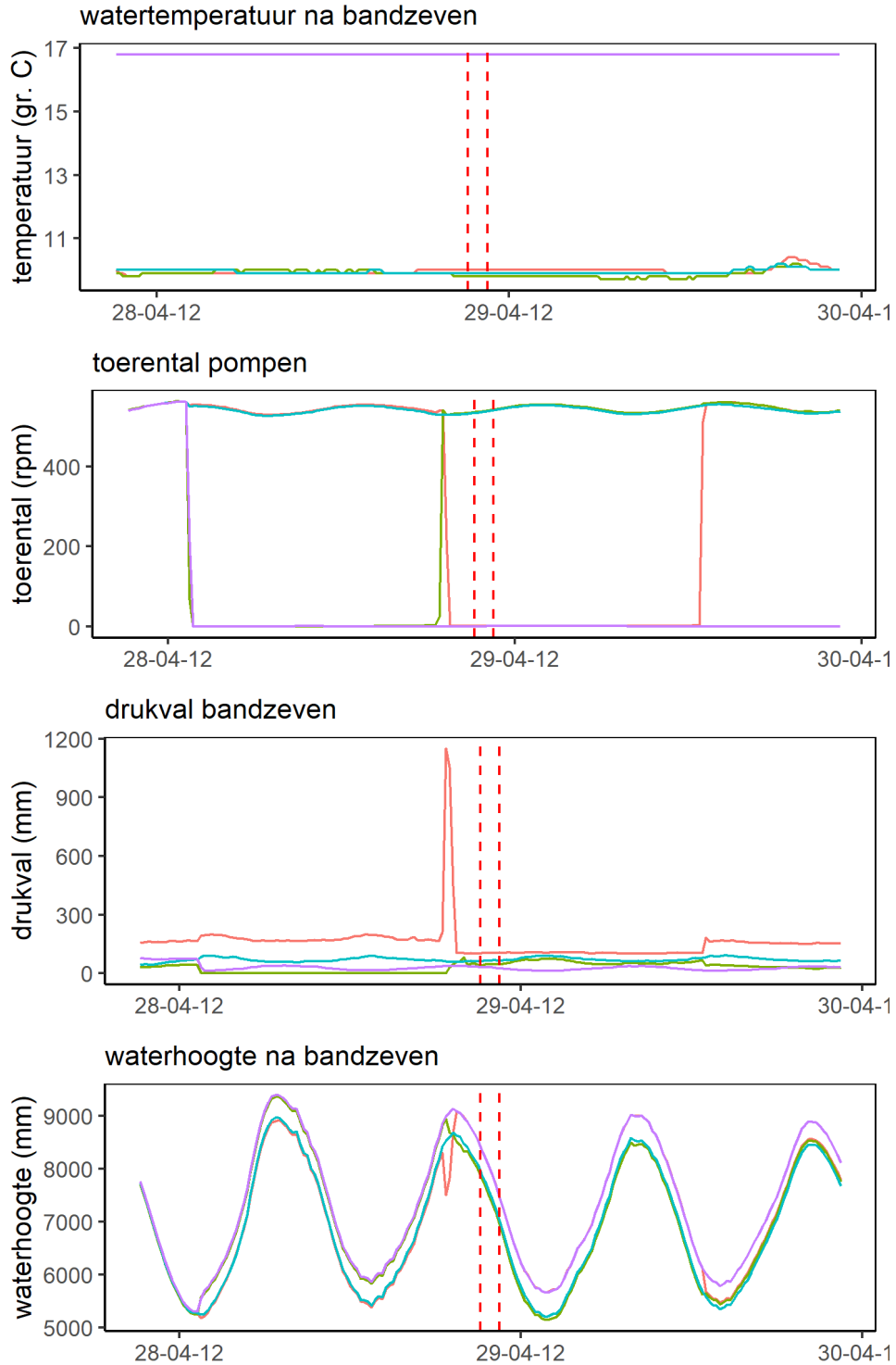
start: 2012-04-28 21:11:00

eind: 2012-04-28 22:31:00

probleem: Toename aantal kwallen, problemen met bandscreen

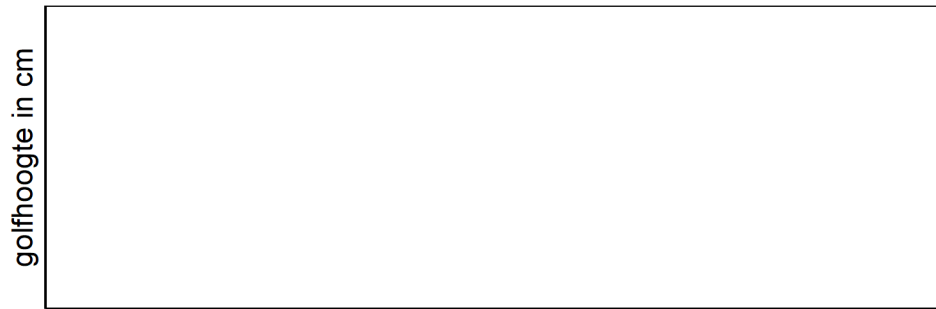
maatregel: bandscreen op hoge snelheid

Sloecentrale data

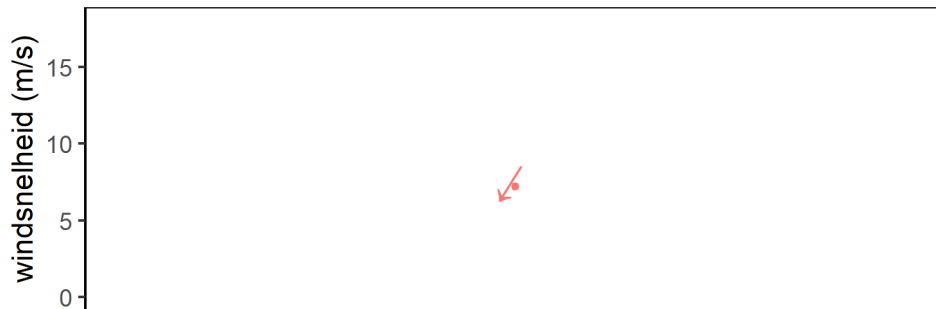


RWS data

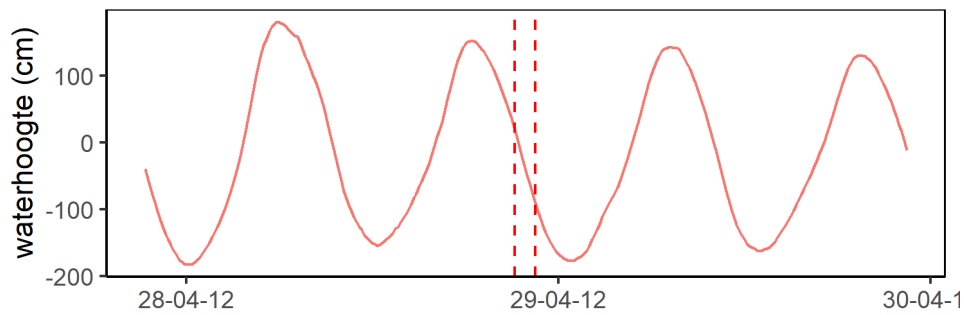
golffhoogte Honte nabij Sloehaven



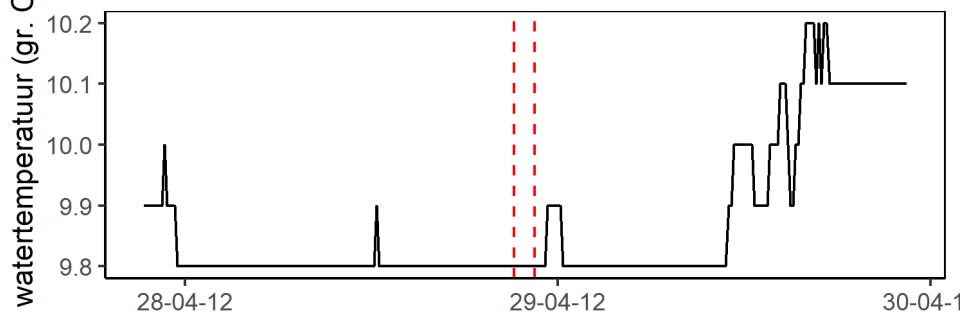
windsnelheid en windrichting Vlissingen (rood = gemiddelde per dag)



waterhoogte Vlissingen



watertemperatuur Vlissingen

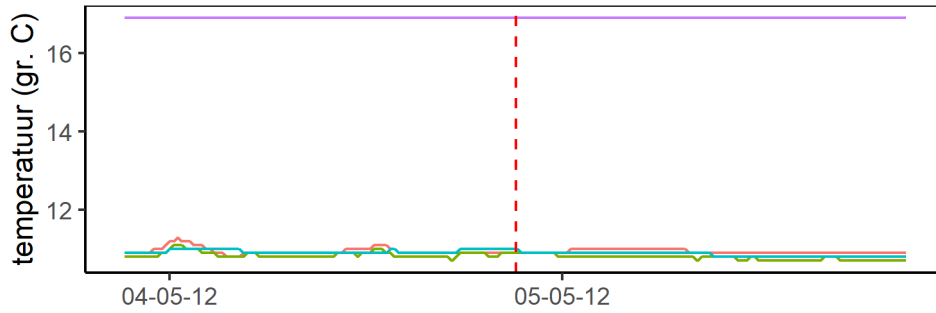


2012-05-04

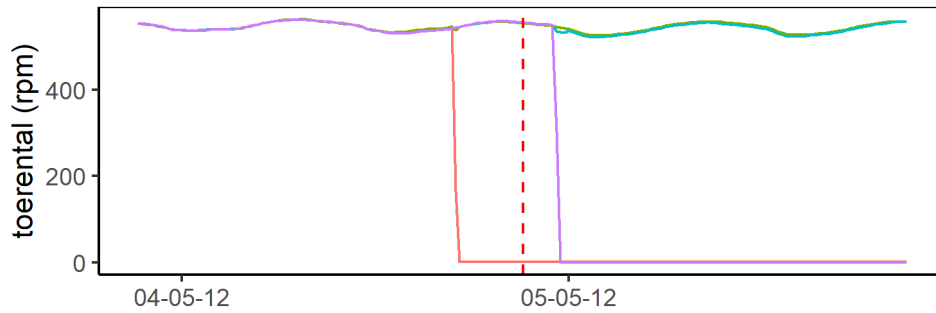
start: 2012-05-04 21:10:00
eind: 2012-05-04 21:10:00
probleem: toename aantal kwallen
maatregel: geen

Sloecentrale data

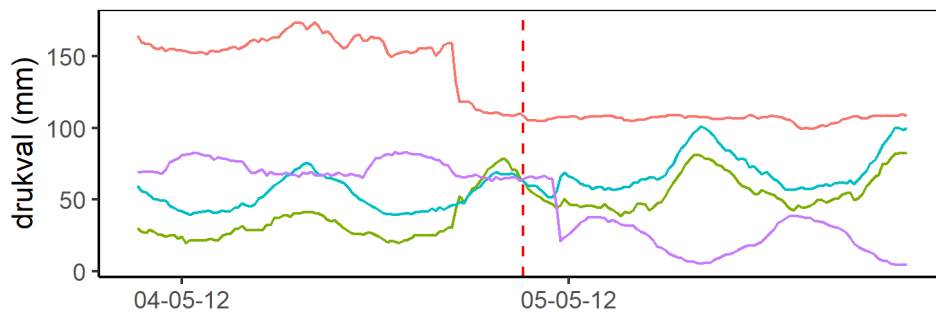
watertemperatuur na bandzeven



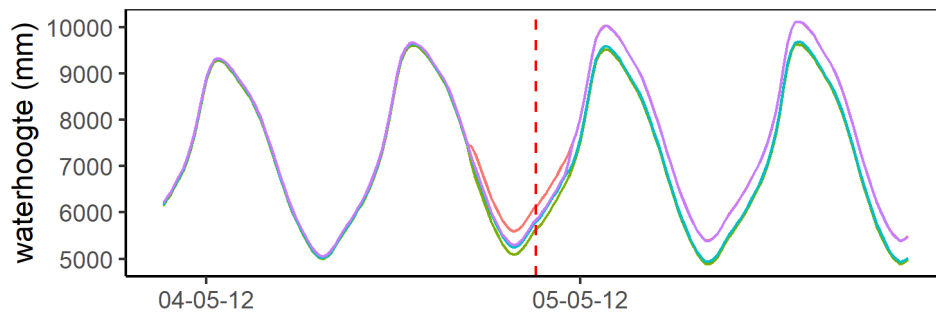
toerental pompen



drukval bandzeven

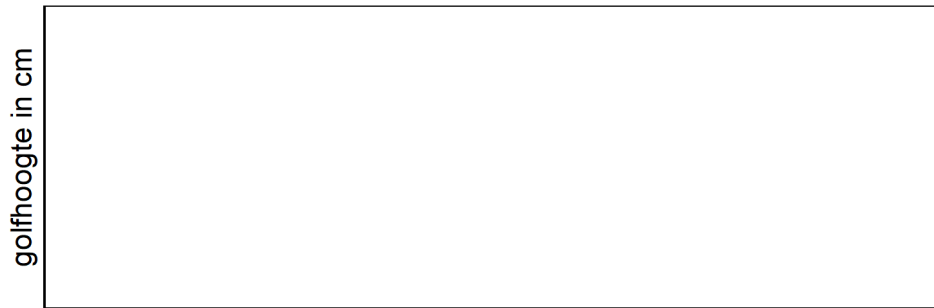


waterhoogte na bandzeven

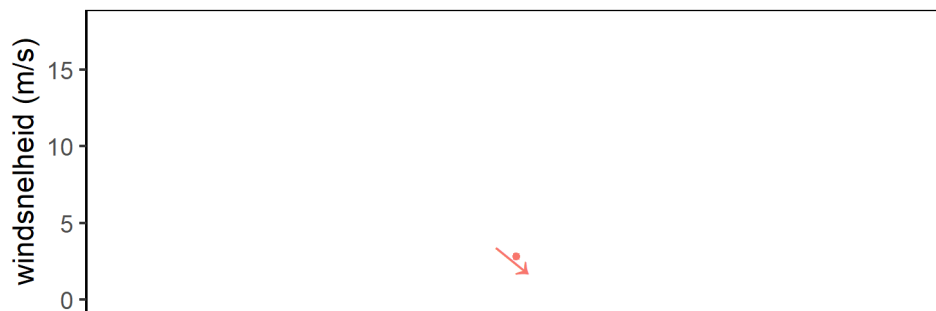


RWS data

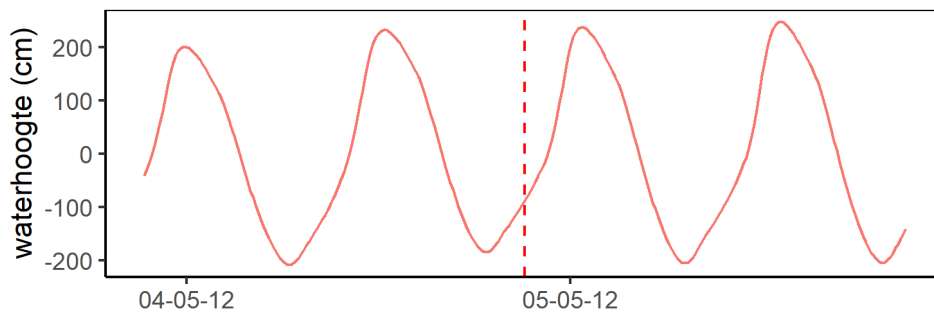
golfhoogte Honte nabij Sloehaven



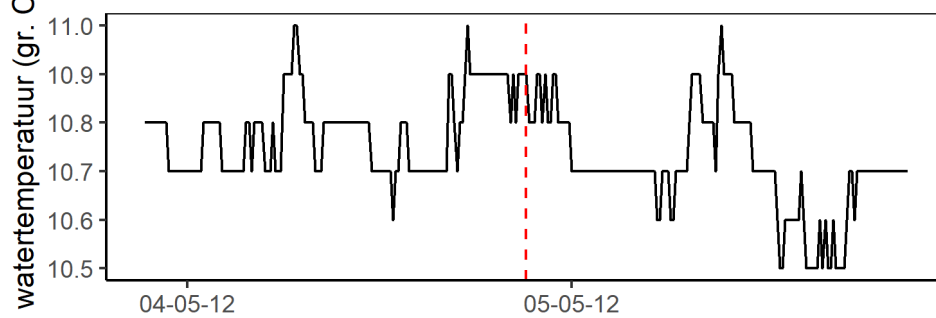
windsnelheid en windrichting Vlissingen (rood = gemiddelde per dag)



waterhoogte Vlissingen



watertemperatuur Vlissingen



2014-05-10

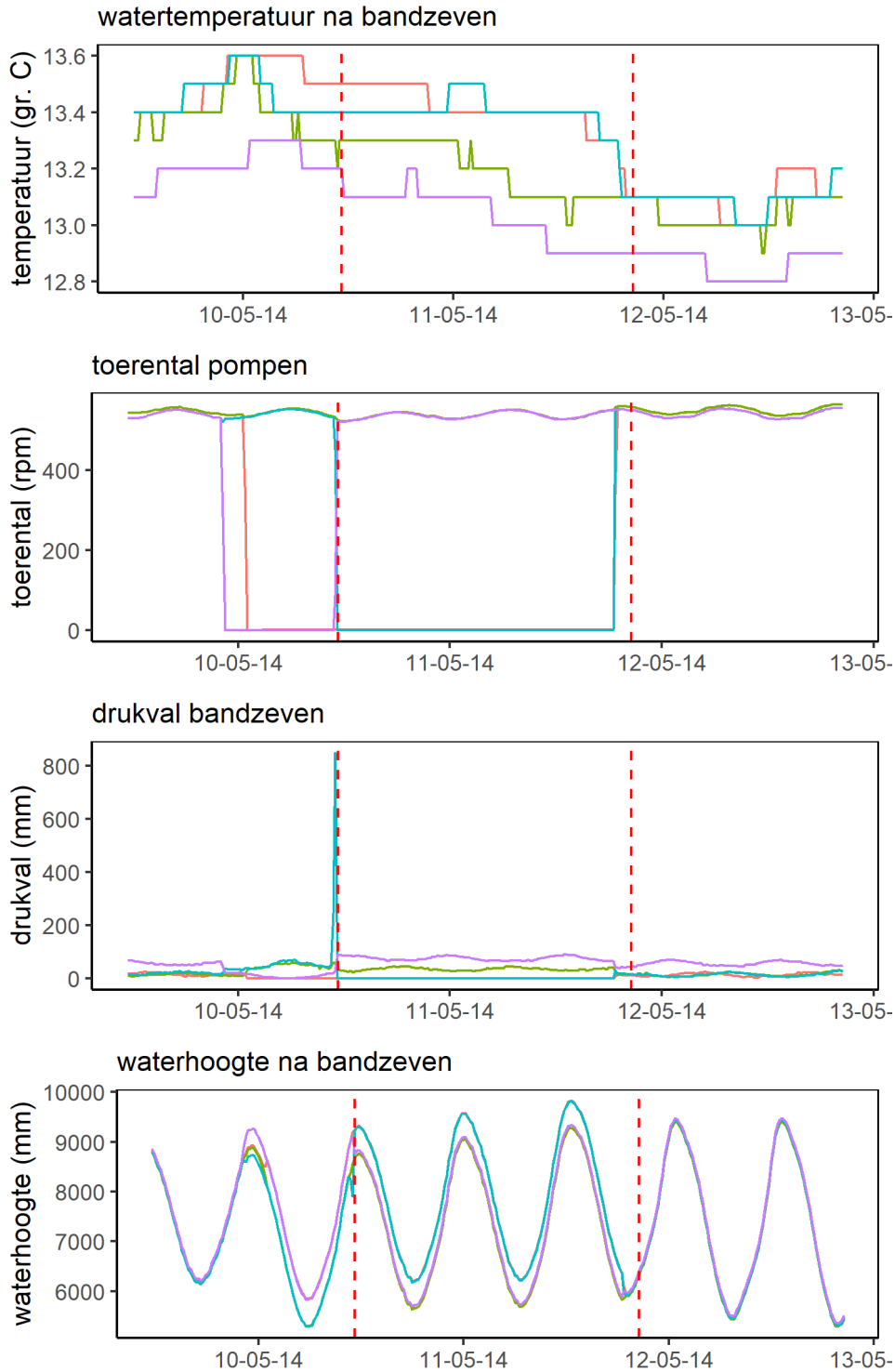
start: 2014-05-10 11:17:00

eind: 2014-05-11 20:31:00

probleem: toename aantal kwallen

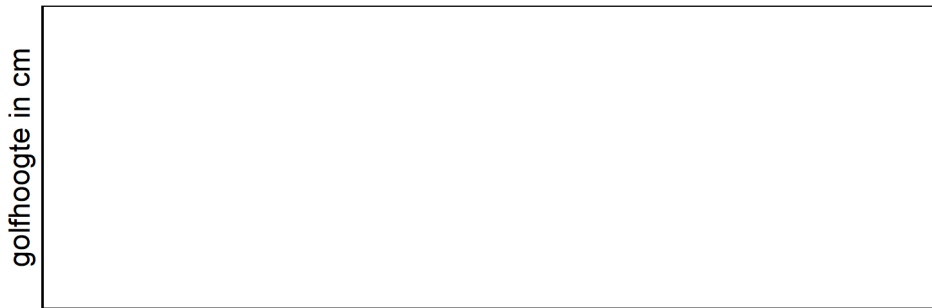
maatregel: bandscreen op hand bijgezet

Sloecentrale data

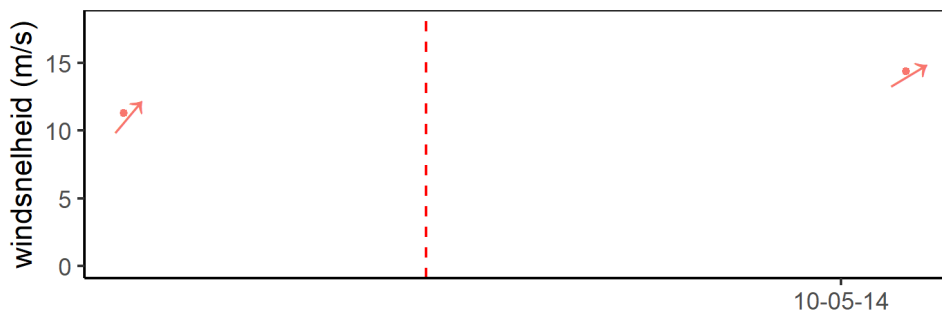


RWS data

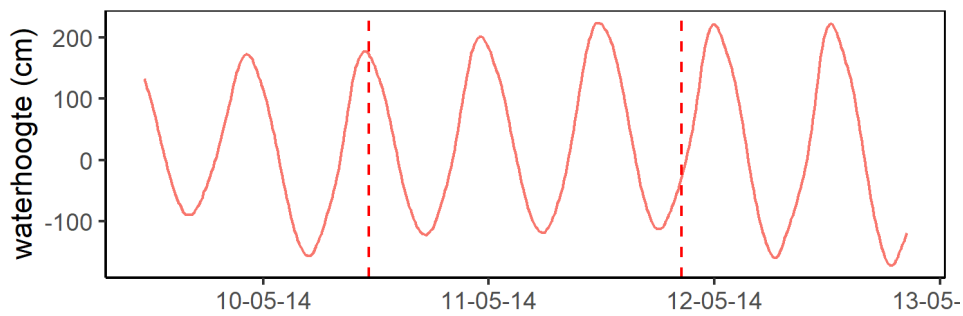
golfhoogte Honte nabij Sloehaven



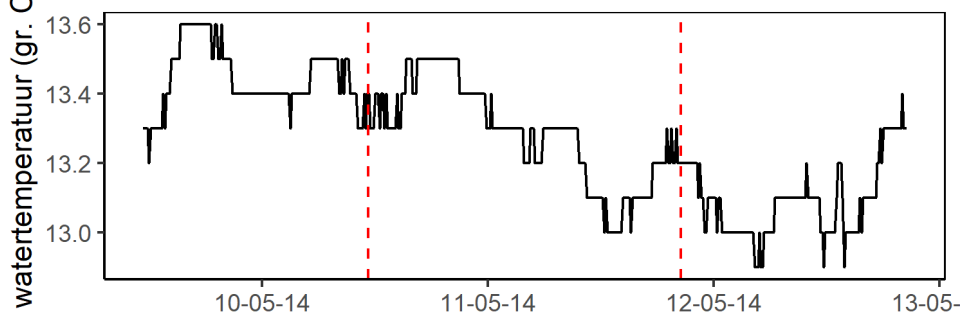
windsnelheid en windrichting Vlissingen (rood = gemiddelde per dag)



waterhoogte Vlissingen



watertemperatuur Vlissingen



2014-05-14

start: 2014-05-14 03:33:00

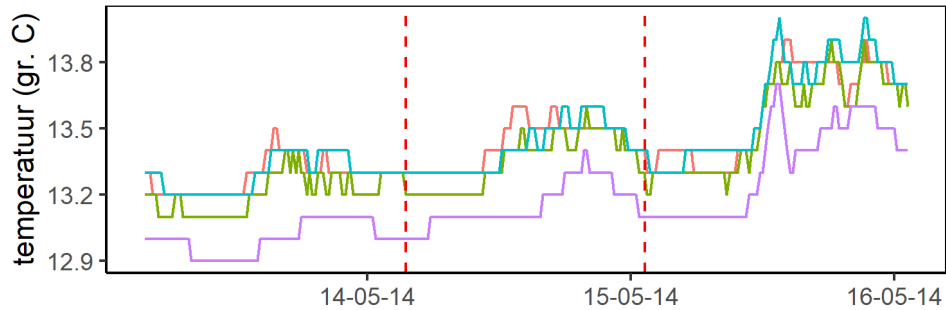
eind: 2014-05-15 01:18:00

probleem: toename aantal kwallen, bandscreen stilgevallen

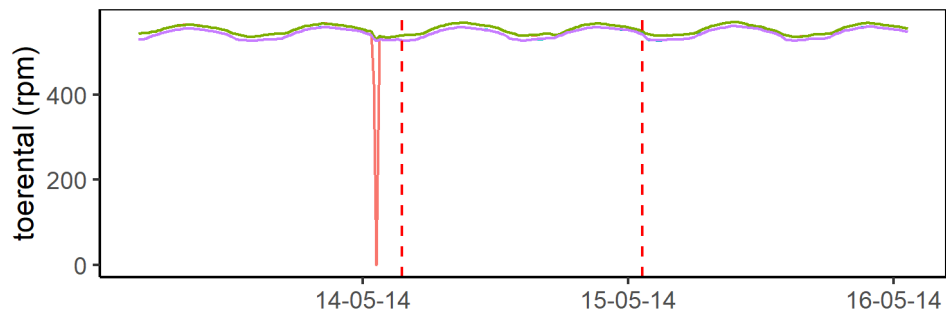
maatregel: koelwaterpomp stoppen, bandscreen op hoge snelheid

Sloecentrale data

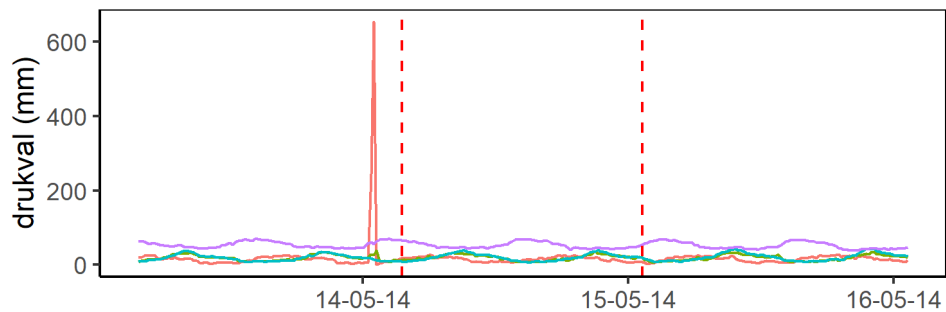
watertemperatuur na bandzeven



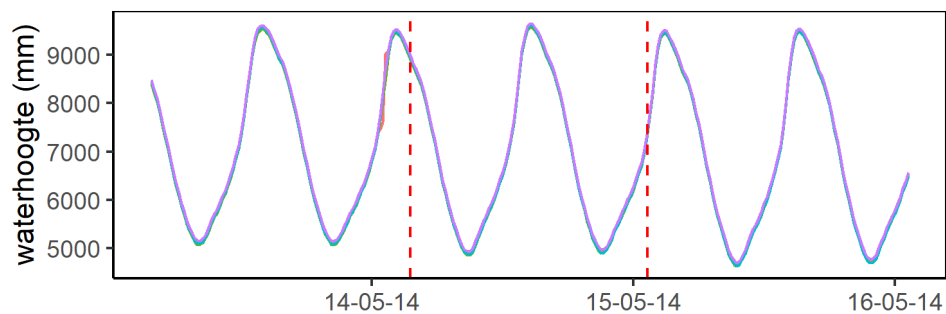
toerental pompen



drukval bandzeven



waterhoogte na bandzeven



RWS data

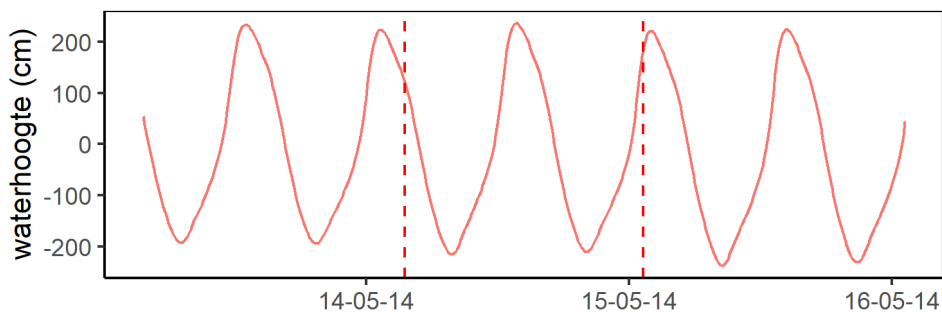
golffhoogte Honte nabij Sloehaven



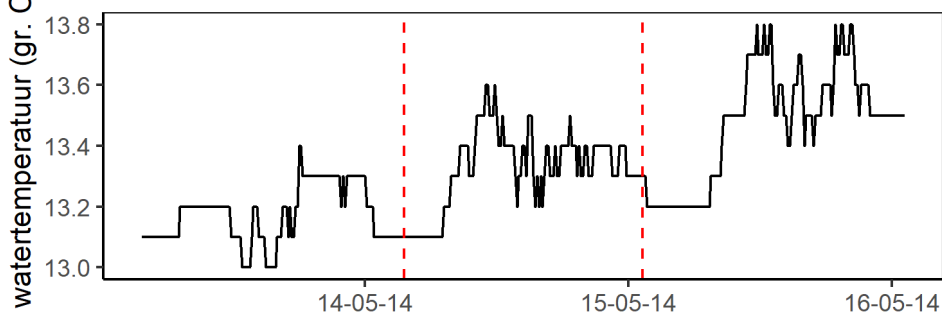
windsnelheid en windrichting Vlissingen (rood = gemiddelde per dag)



waterhoogte Vlissingen



watertemperatuur Vlissingen

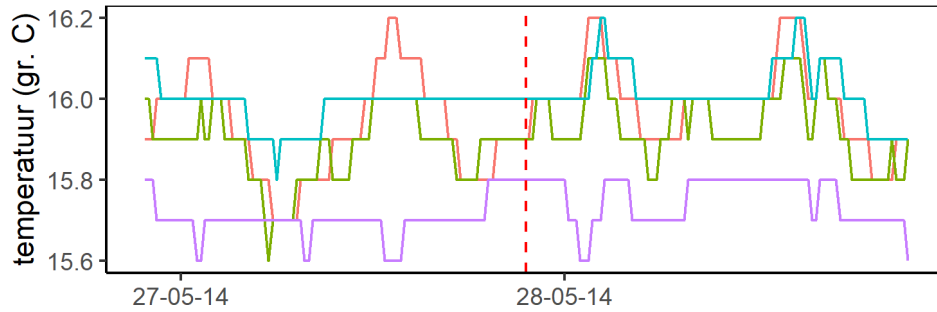


2014-05-27

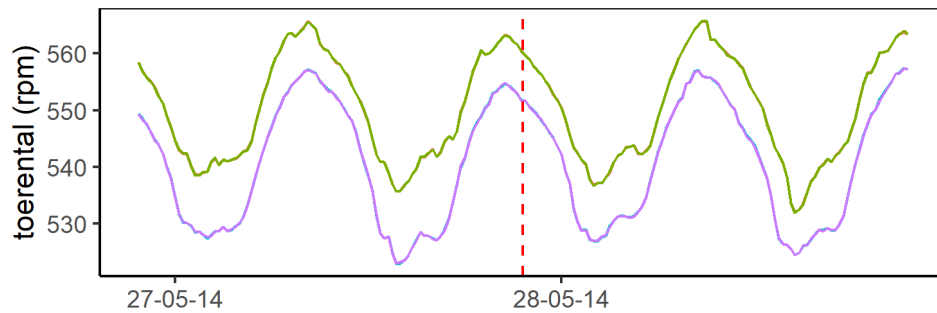
start: 2014-05-27 21:37:00
eind: 2014-05-27 21:37:00
probleem: toename aantal kwallen
maatregel: geen

Sloecentrale data

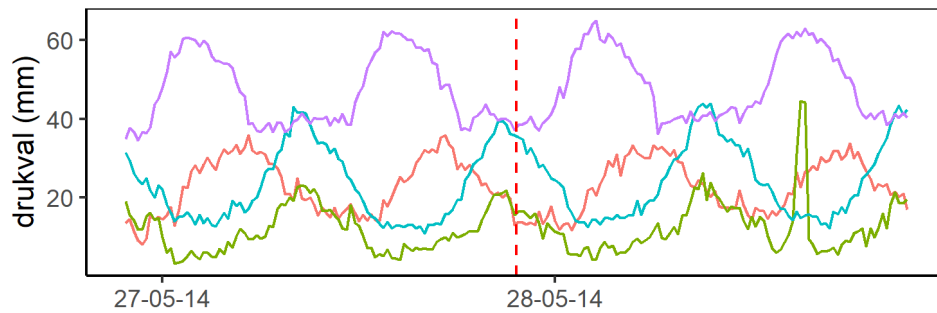
watertemperatuur na bandzeven



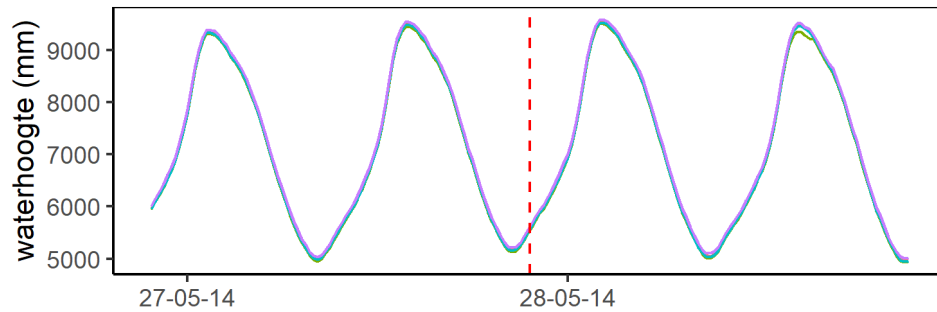
toerental pompen



drukval bandzeven



waterhoogte na bandzeven

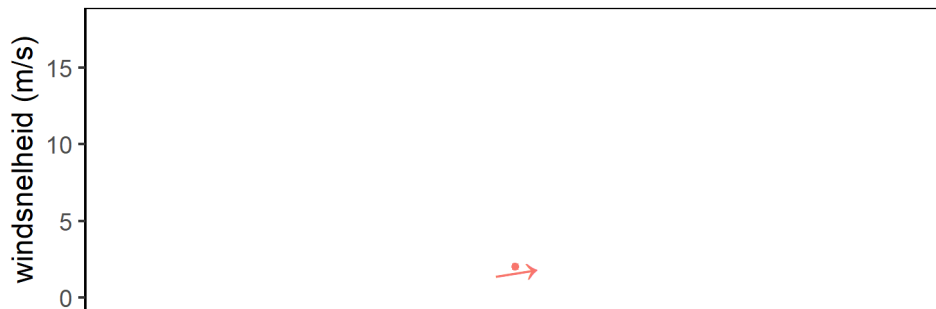


RWS data

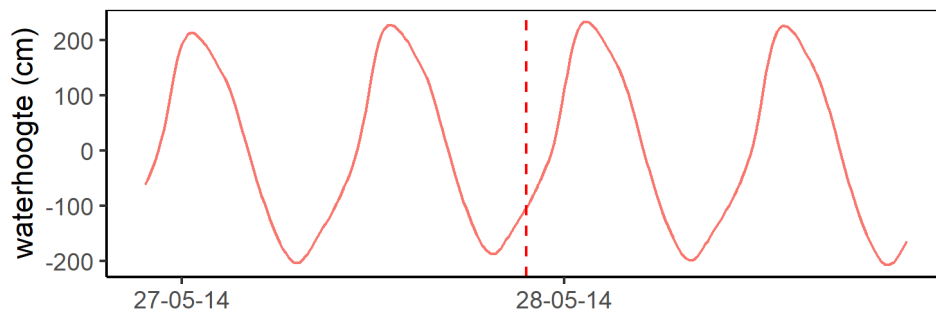
golffhoogte Honte nabij Sloehaven



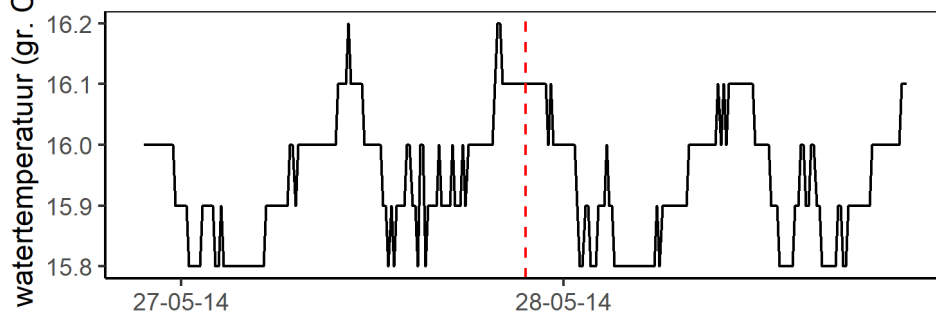
windsnelheid en windrichting Vlissingen (rood = gemiddelde per dag)



waterhoogte Vlissingen



watertemperatuur Vlissingen

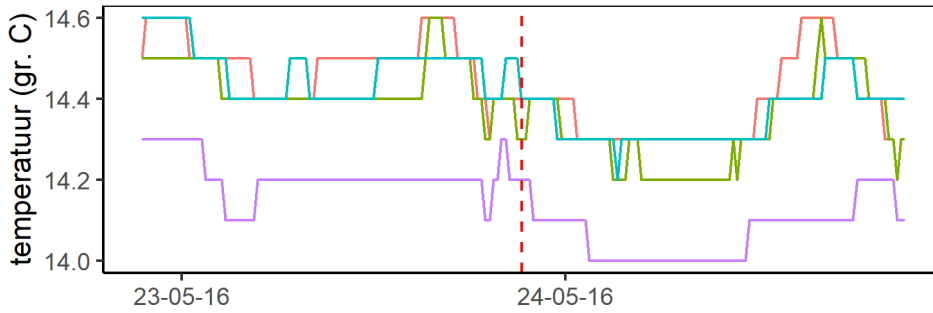


2016-05-23

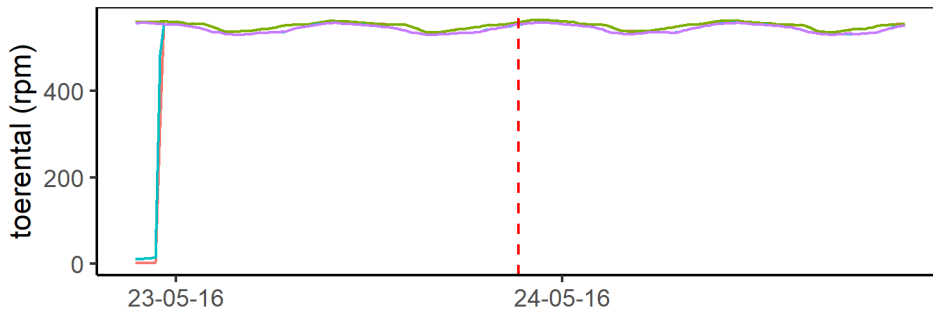
start: 2016-05-23 21:17:00
eind: 2016-05-23 21:17:00
probleem: toename aantal kwallen
maatregel: geen

Sloecentrale data

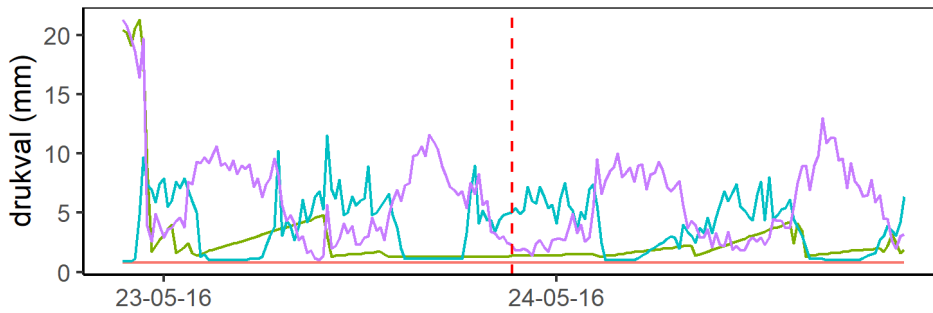
watertemperatuur na bandzeven



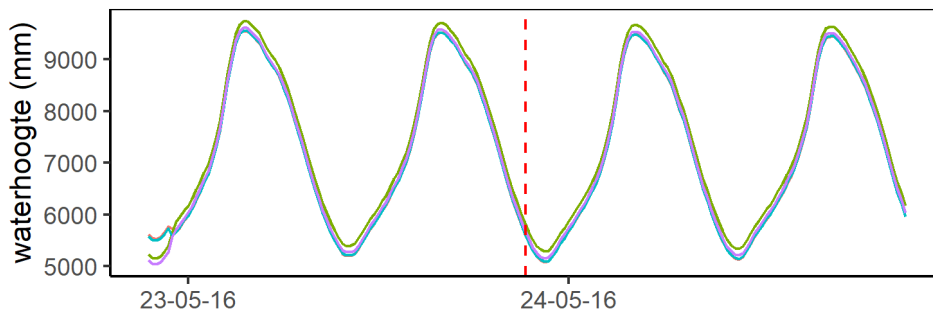
toerental pompen



drukval bandzeven

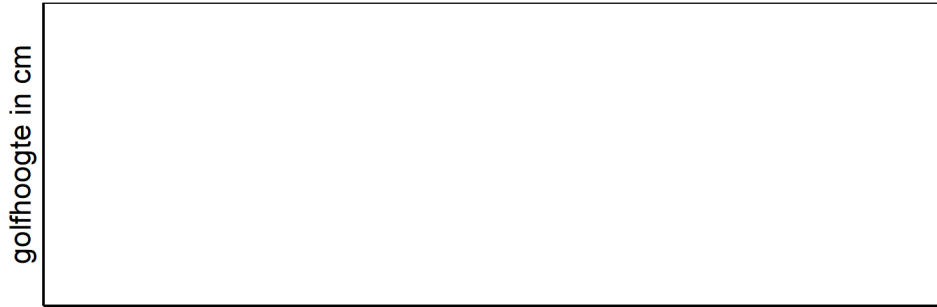


waterhoogte na bandzeven

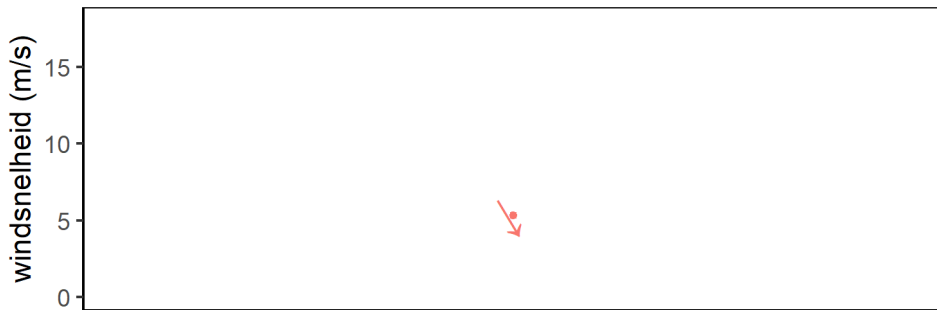


RWS data

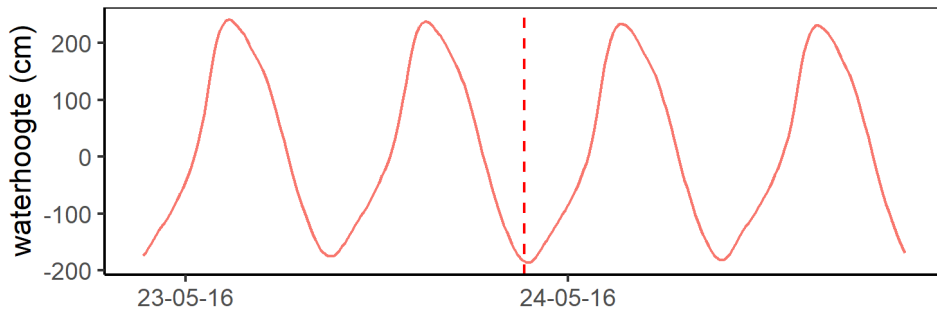
golfhoogte Honte nabij Sloehaven



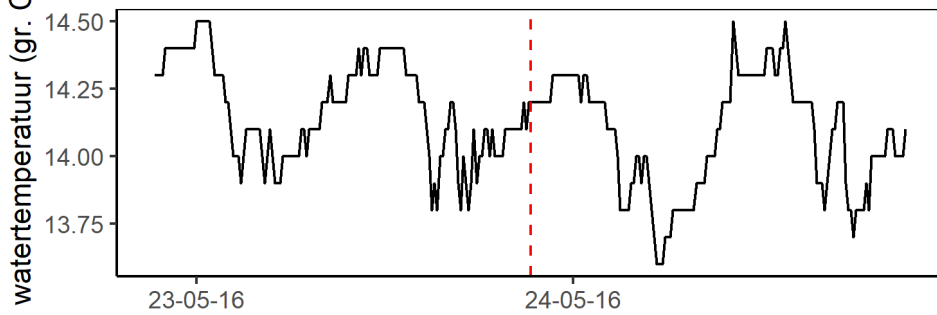
windsnelheid en windrichting Vlissingen (rood = gemiddelde per dag)



waterhoogte Vlissingen



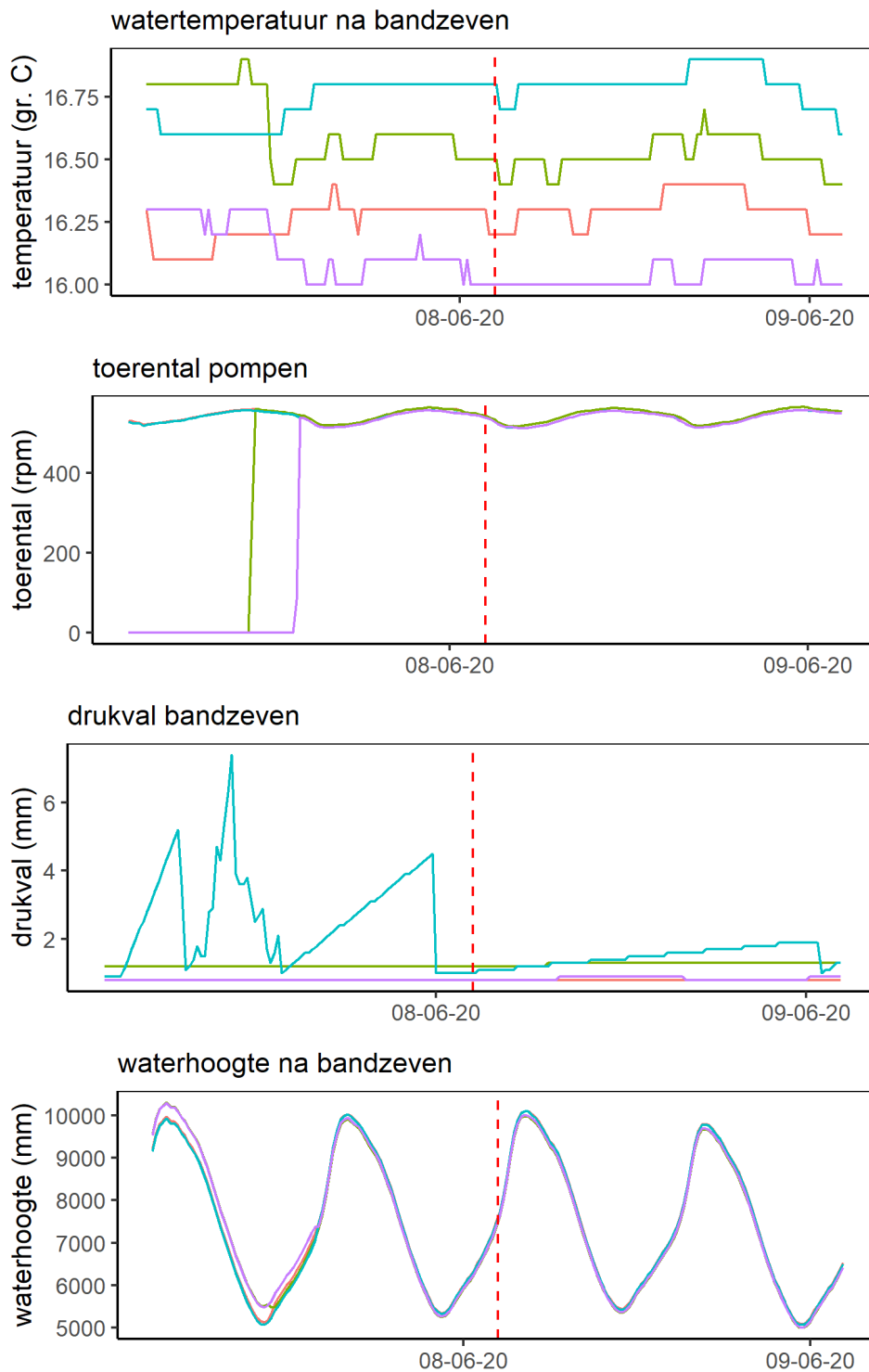
watertemperatuur Vlissingen



2020-06-08

start: 2020-06-08 02:24:00
eind: 2020-06-08 02:24:00
probleem: toename aantal kwallen
maatregel: geen

Sloecentrale data

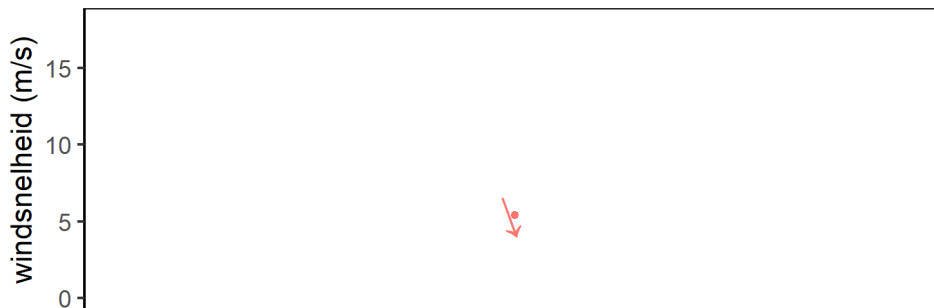


RWS data

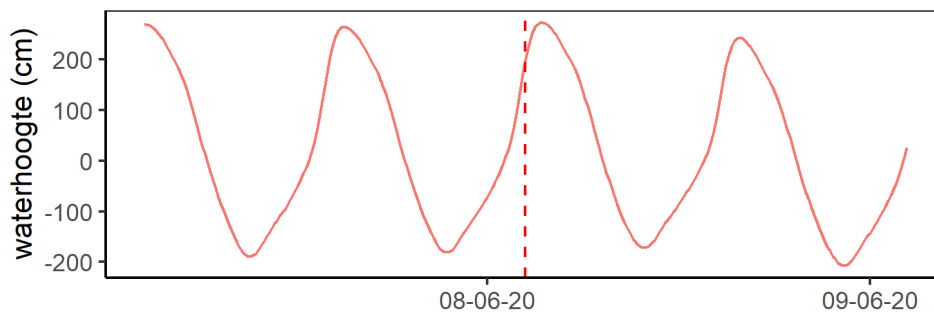
golfhoogte Honte nabij Sloehaven



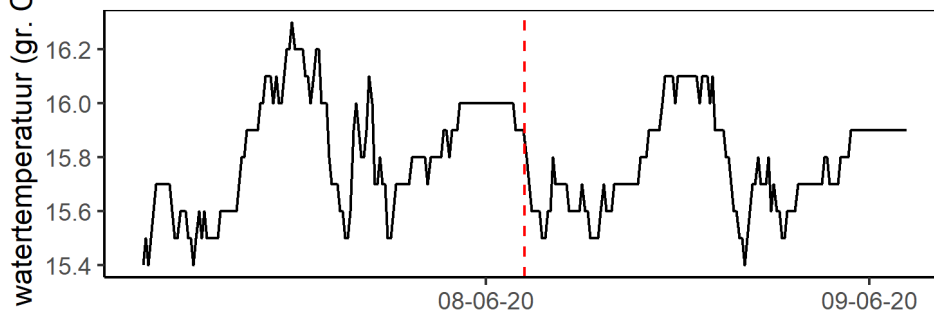
windsnelheid en windrichting Vlissingen (rood = gemiddelde per dag)



waterhoogte Vlissingen



watertemperatuur Vlissingen



2021-05-05

start: 2021-05-05 08:55:00

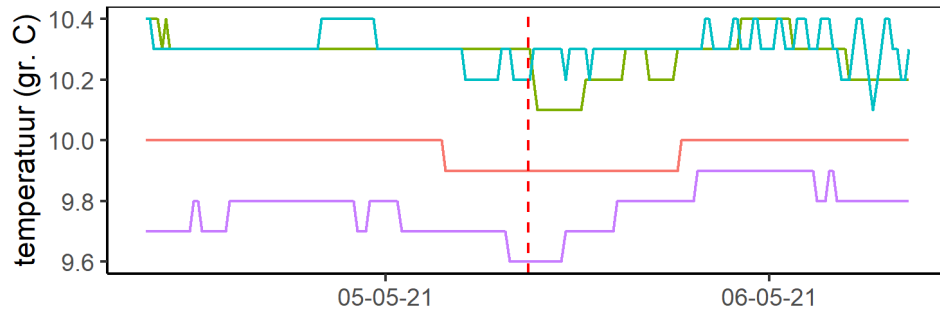
eind: 2021-05-05 08:55:00

probleem: toename aantal kwallen, bandscreen stilgevallen

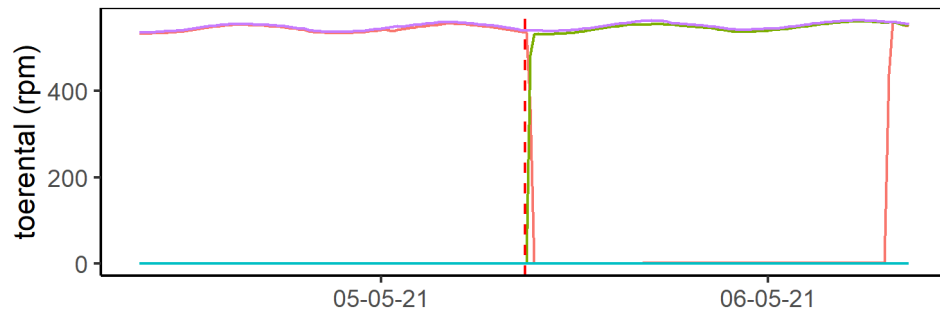
maatregel: bandscreen op hoge snelheid

Sloecentrale data

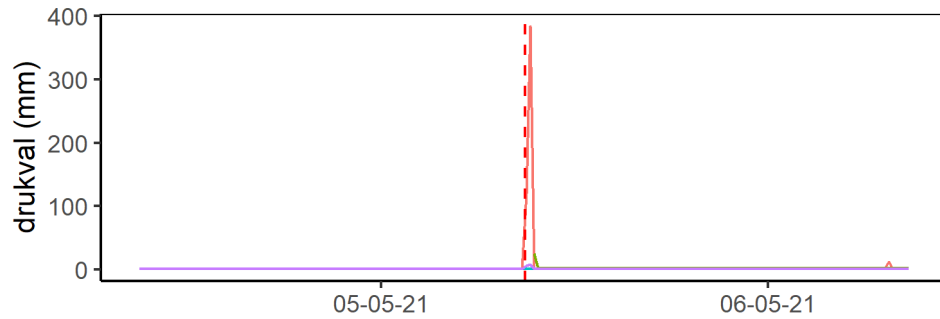
watertemperatuur na bandzeven



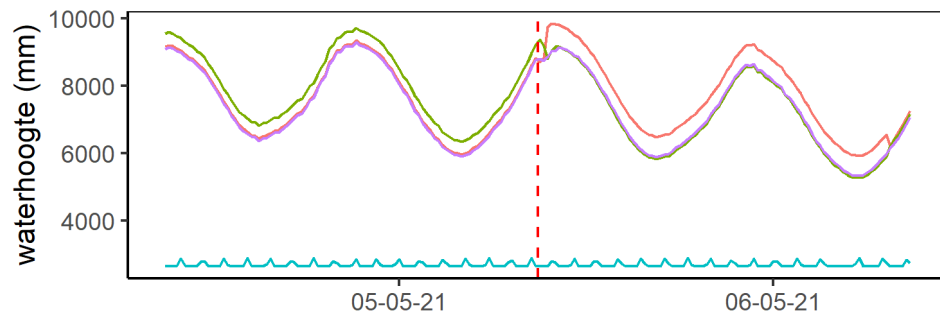
toerental pompen

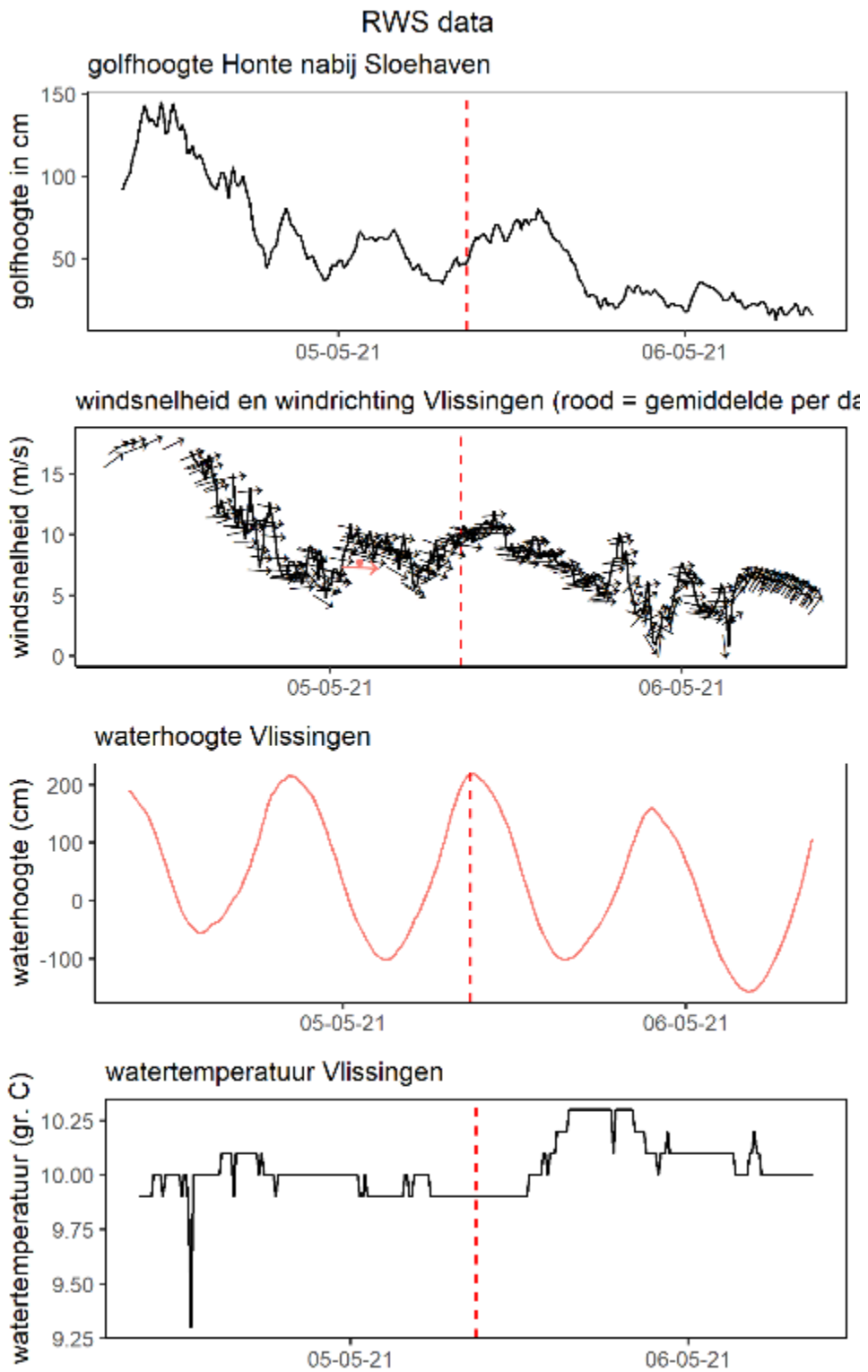


drukval bandzeven



waterhoogte na bandzeven





2021-06-11

start: 2021-06-11 09:59:00

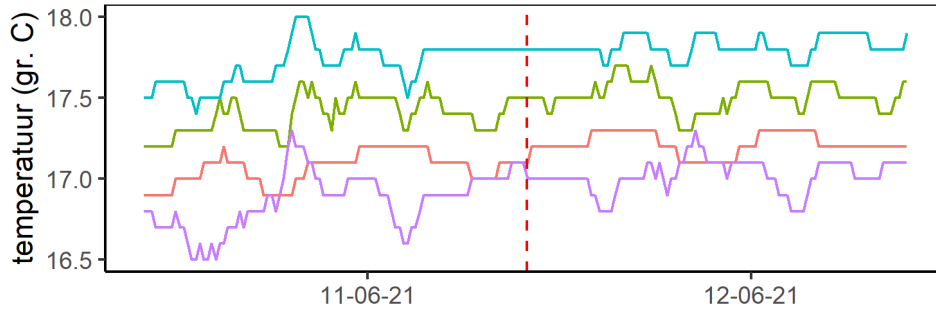
eind: 2021-06-11 09:59:00

probleem: toename aantal kwallen, bandscreen stilgevallen

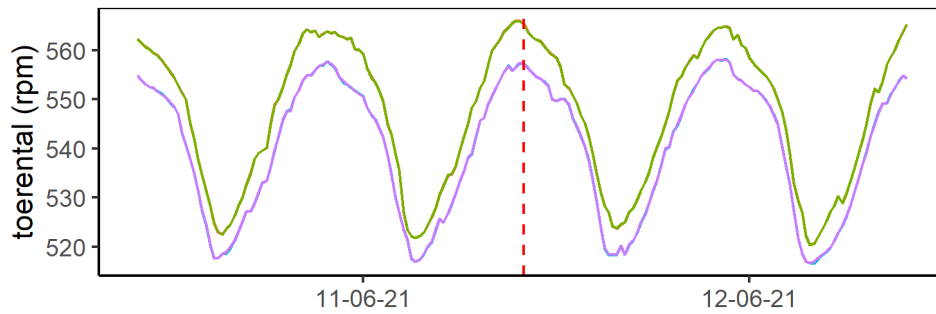
maatregel: bandscreen afsputten, sproeiers nakijken

Sloecentrale data

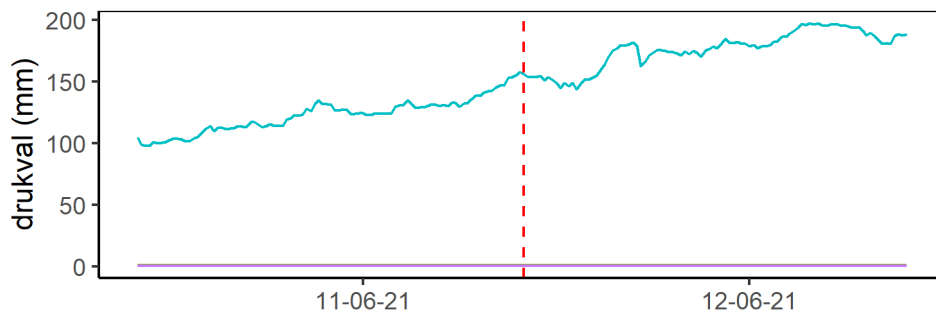
watertemperatuur na bandzeven



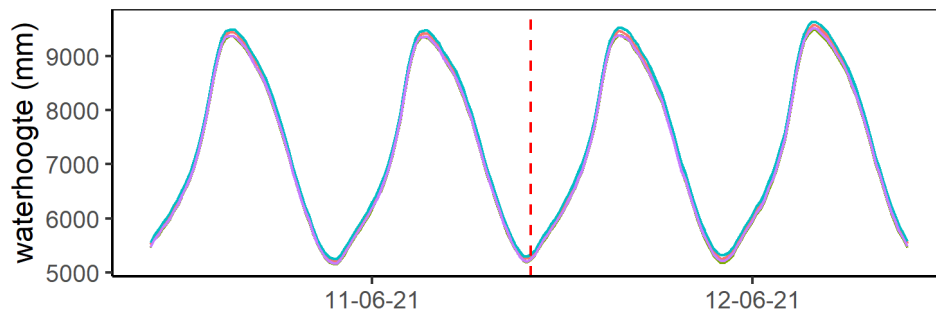
toerental pompen



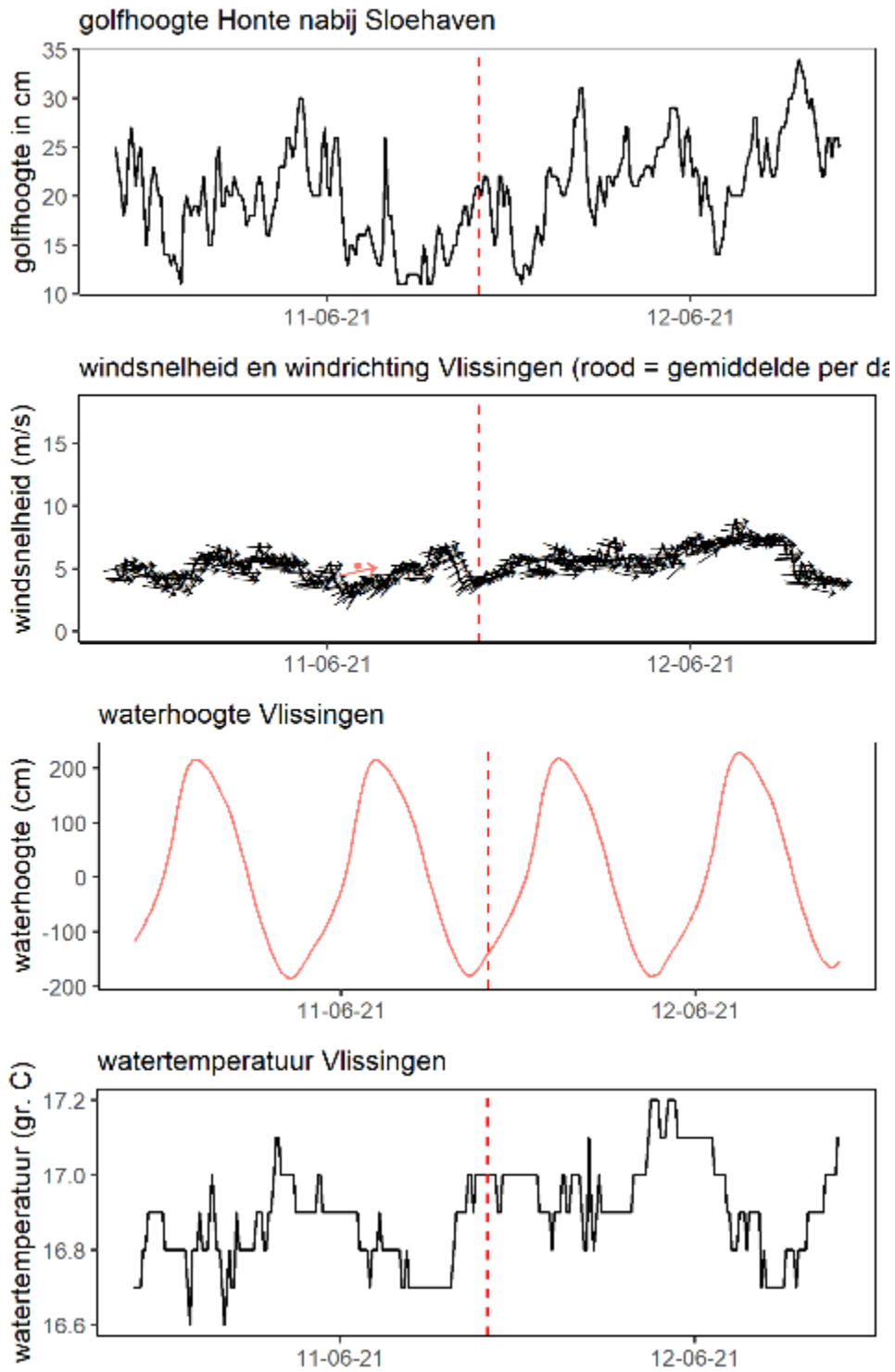
drukval bandzeven



waterhoogte na bandzeven



RWS data



2022-05-05

start: 2022-05-05 16:52:00

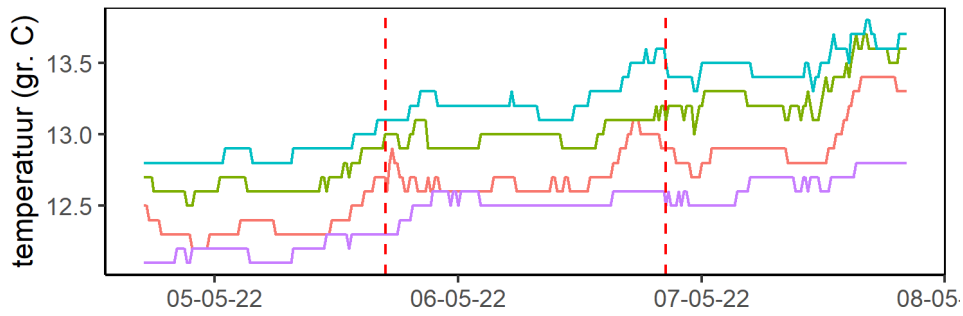
eind: 2022-05-06 20:30:00

probleem: toename aantal kwallen, bandscreen en koelwaterpomp stilgevallen

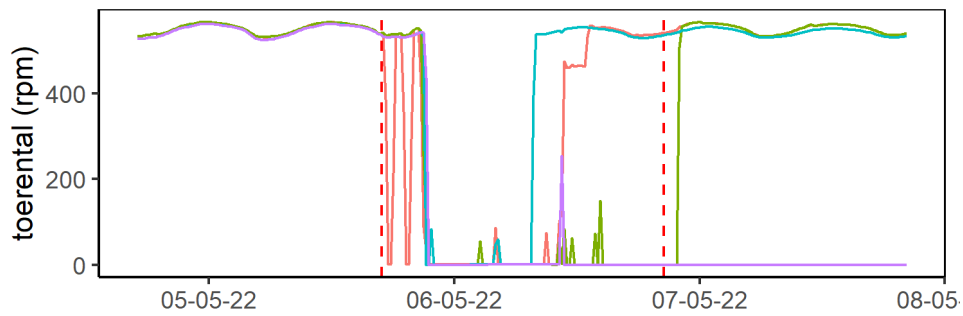
maatregel: bandscreen op hoge snelheid

Sloecentrale data

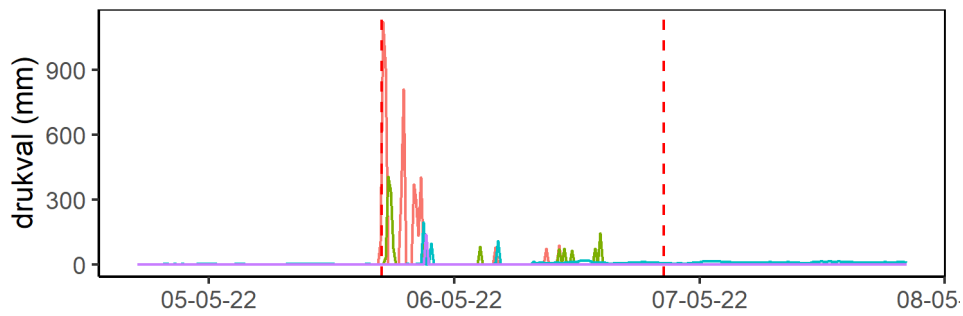
watertemperatuur na bandzeven



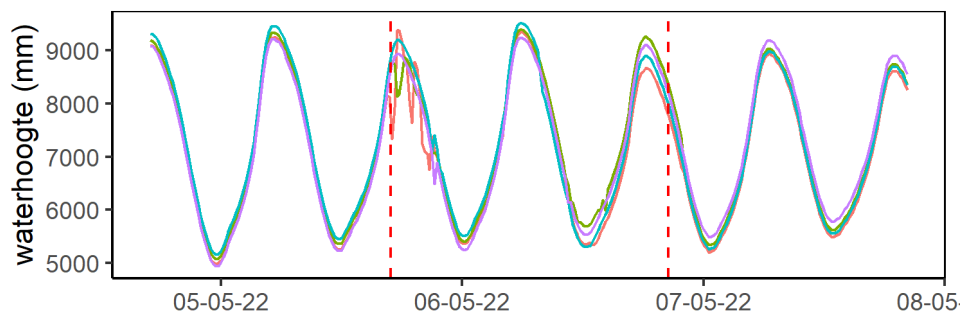
toerental pompen



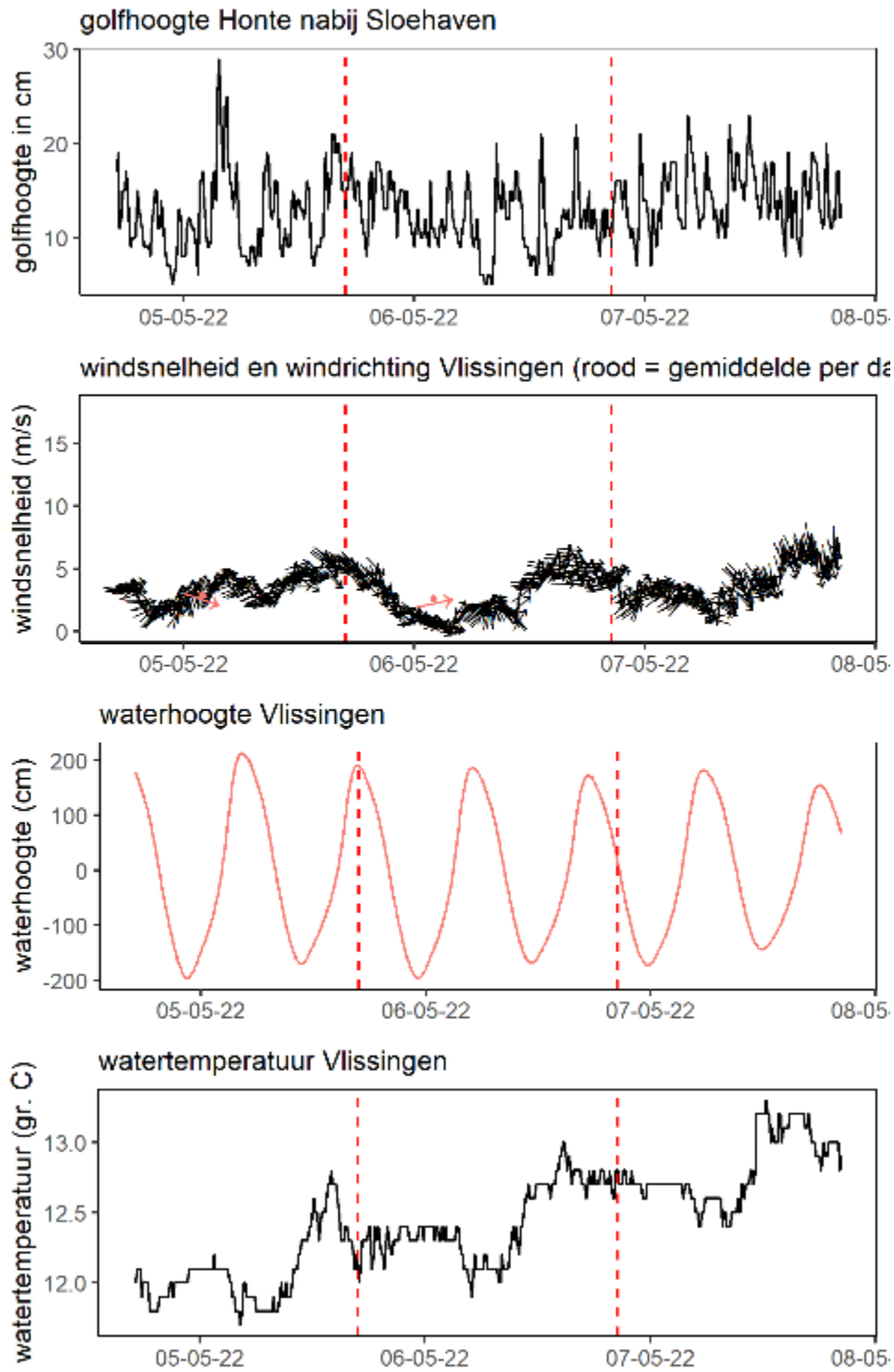
drukval bandzeven



waterhoogte na bandzeven



RWS data

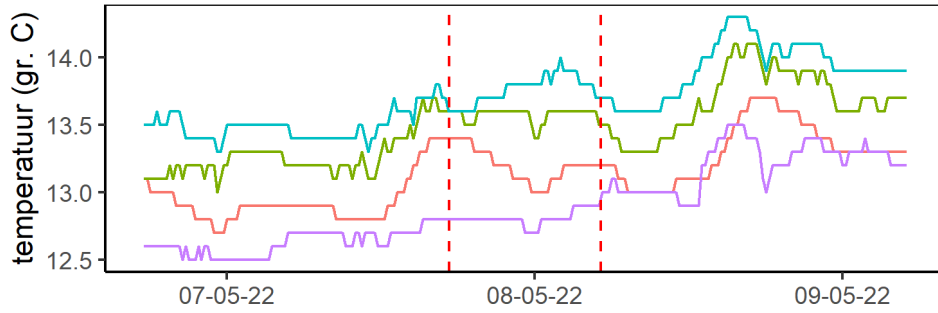


2022-05-07

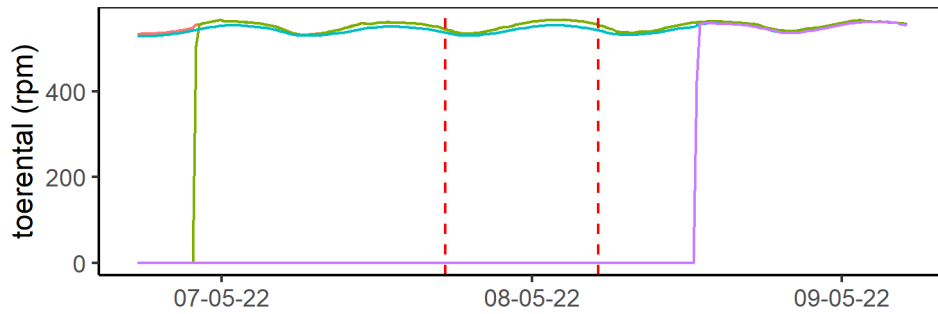
start: 2022-05-07 17:20:00
eind: 2022-05-08 05:09:00
probleem: toename aantal kwallen
maatregel: bandscreen afsputten

Sloecentrale data

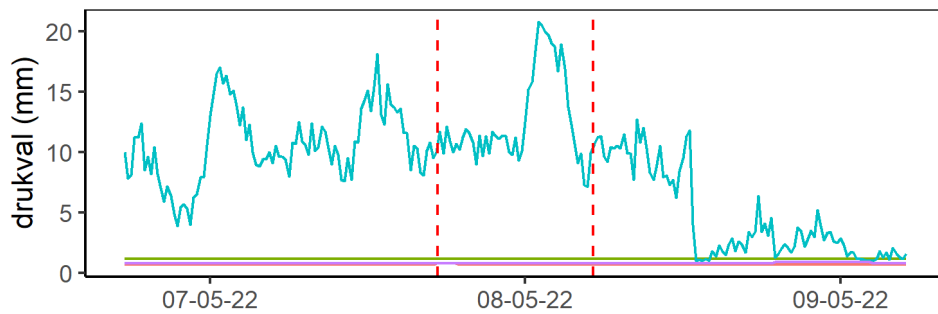
watertemperatuur na bandzeven



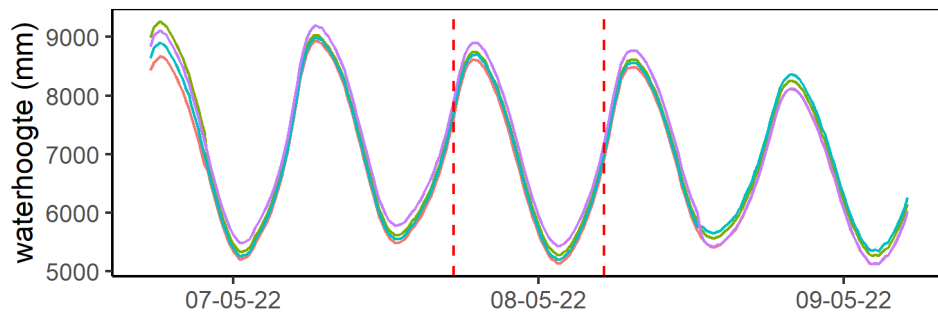
toerental pompen



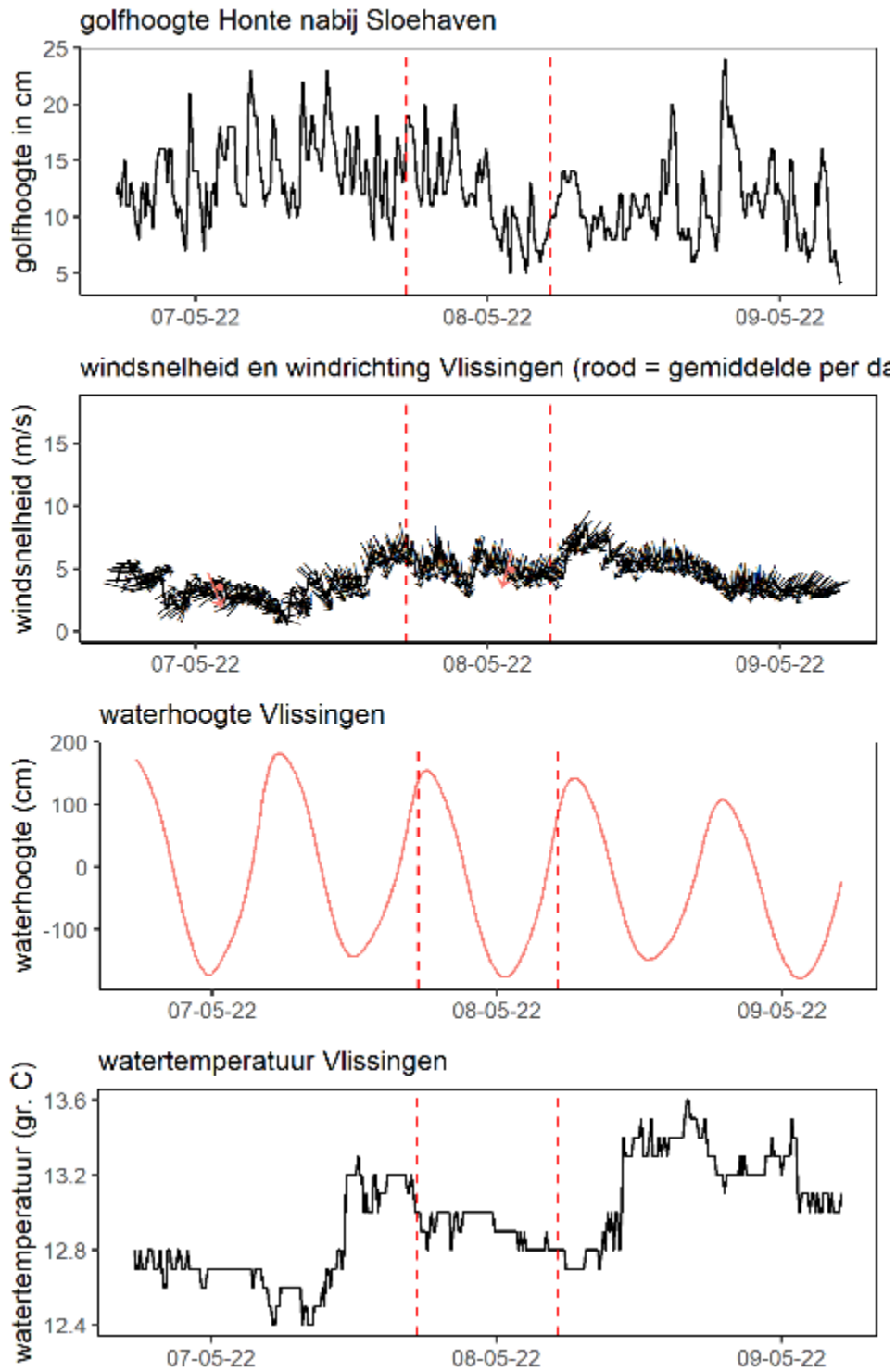
drukval bandzeven



waterhoogte na bandzeven



RWS data



Wageningen Marine Research
T: +31 (0)317 48 70 00
E: marine-research@wur.nl
www.wur.nl/marine-research

Bezoekers adres:

- Ankerpark 27 1781 AG Den Helder
- Korringaweg 7, 4401 NT Yerseke
- Haringkade 1, 1976 CP IJmuiden

Wageningen Marine Research levert met kennis, onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek en advies een wezenlijke bijdrage aan een duurzamer, zorgvuldiger beheer, gebruik en bescherming van de natuurlijke rijkdommen in zee-, kust- en zoetwatergebieden.



Wageningen Marine Research is onderdeel van Wageningen University & Research. Wageningen University & Research is het samenwerkingsverband tussen Wageningen University en Stichting Wageningen Research en heeft als **missie**: 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'