

TNO PUBLIEK**Geologische Dienst Nederland**Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrechtwww.tno.nl

T +31 88 866 42 56

TNO-rapport**TNO 2022 R12004****Stijghoogtemetingen raai Provincie Zeeland**

Datum	15 december 2022
Auteur(s)	S.A.R. Bus
Aantal pagina's	40 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	18
Projectnaam	KarDySaG
Projectnummer	060.52146

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2022 TNO

Samenvatting

Ter voorbereiding op de pompproef Zeeland nabij Brouwershaven is in juli 2018 gestart met stijghoogtemetingen in twee raaien van de provincie Zeeland. De hoofdraai bevindt zich vanaf het Grevelingenmeer bij Den Osse richting de Oosterschelde.

Het doel van de metingen is als referentiesituatie voor de pompproef Zeeland nabij Brouwershaven (Bus, 2022).

De gevolgde procedure voor de stijghoogtemetingen van de Provincie bestaat uit vier stappen. In stap nul t/m drie zijn de meetreeksen automatisch en handmatig opgeschoond. De temperatuurmetingen van het grondwater bleken hierbij erg belangrijk. In stap vier gaf correctie met één handmeting per drukmeter een acceptabele fit. Om een zo goed mogelijke fit te krijgen met alle handmetingen zijn uiteindelijk de peilfilters van de Provincie gecorrigeerd met de handmetingen van in totaal vier verschillende datums. Van de Provincie zijn zeventien door TNO-GDN gemonitorde meetreeksen omgezet naar stijghoogten. Vijf van de meetreeksen van de Provincie bevatten drift.

Het defect raken van de drukapparaten door corrosie heeft in zeven meetreeksen gezorgd voor gaten in de meetreeksen. Sinds de overgang naar de Cera-divers zijn geen drukmeters meer defect geraakt. Voor de aankomende metingen verwachten we geen gaten en drift meer in meetreeksen, maar een continue beeld.

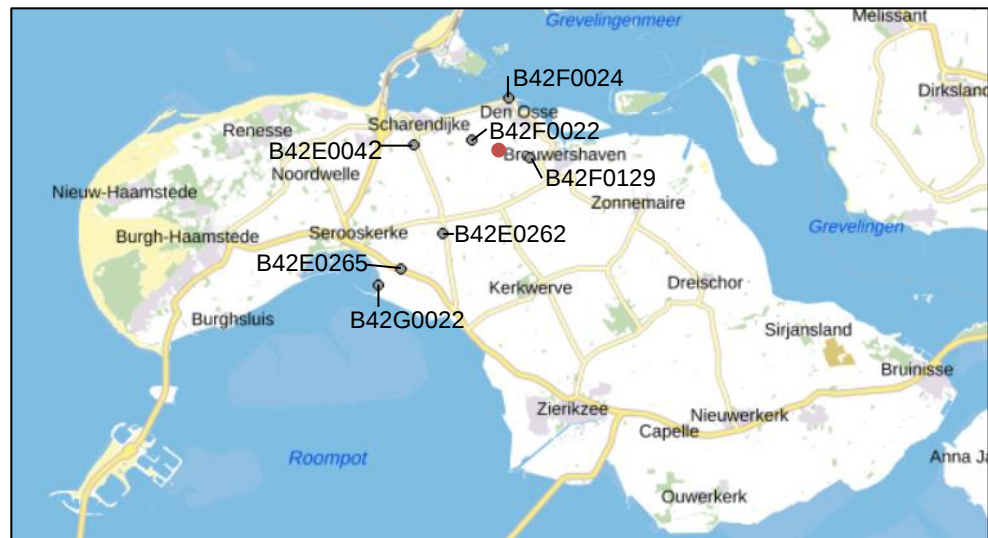
Aanbevolen wordt om de gaten in de meetreeksen op te vullen met 2-wekelijkse metingen uit de DINO-database, meetreeksen uit dezelfde put en/of tijdreeksmodellering.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	4
1.1	Leeswijzer	4
2	Materiaal	5
2.1	Handmeting	5
2.2	Luchtdruk	5
2.3	Drukmetingen in de peilbuizen	5
2.4	Temperatuurmetingen	6
3	Methode	7
4	Resultaten	9
4.1	Stap 0: Compensatie barometrische druk	9
4.2	Stap 1: Automatische verwijdering	9
4.3	Stap 2: Handmatig verwijderd	10
4.4	Stap 3: Correctie met handmetingen	11
4.5	Stap 4: Synthese	14
5	Discussie	15
6	Conclusies en aanbevelingen	19
7	Referenties	20
8	Ondertekening	21
	Bijlage(n)	
	A B42E0042-002 Scharendijke zuid	
	B B42E0042-003 Scharendijke zuid	
	C B42E0042-004 Scharendijke zuid	
	D B42E0262-002 Midden	
	E B42E0265-002 Serooskerke oost	
	F B42E0265-003 Serooskerke oost	
	G B42F0022-002 Scharendijke oost	
	H B42F0022-003 Scharendijke oost	
	I B42F0024-002 Den Osse – Grevelingenmeer	
	J B42F0024-003 Den Osse – Grevelingenmeer	
	K B42F0024-004 Den Osse - Grevelingenmeer	
	L B42F0024-005 Den Osse – Grevelingenmeer	
	M B42F0129-002 Brouwershaven west	
	N B42F0129-003 Brouwershaven west	
	O B42G0022-002 Nabij Oosterschelde	
	P B42G0022-003 Nabij Oosterschelde	
	Q B42G0022-004 Nabij Oosterschelde	
	R Chloride concentratie	

1 Inleiding

Ter voorbereiding op de pompproef Zeeland nabij Brouwershaven is in juli 2018 gestart met stijghoogtemetingen in twee raaien van de provincie Zeeland. Deze raaien bevinden zich vanaf het Grevelingenmeer bij Den Osse (B42F0024) richting de Oosterschelde ten oosten van Serooskerke (B42G0022) (zie Figuur 1).



Figuur 1: Ligging van peilbuizen en pompproef (rode stip)

In zeven bestaande grondwaterputten zijn metingen met absolute drukopnemers uitgevoerd. Deze meten de resultante van de waterdruk en de luchtdruk. Met de separaat gemeten luchtdrukken kunnen absolute drukken omgerekend worden naar de waterdruk ter hoogte van de drukopnemer en vervolgens naar de stijghoogte in de betreffende peilbuis. Dit rapport beschrijft de gevolgde procedure en de resulterende stijghoogtedataset van de door TNO-GDN gemonitorde meetpunten. Deze methode is eerder toegepast bij de stijghoogtemetingen van de pompproef Zeeland nabij Brouwershaven (Bus, 2022).

1.1 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 worden de verschillende aspecten van de stijghoogtemetingen beschreven: de handmetingen, de drukmetingen en defecte drukopnemers.

In Hoofdstuk 3 worden de vier stappen van de methode beschreven. De daarop volgende resultaten van de gevolgde procedure worden in Hoofdstuk 4 beschreven.

In Hoofdstuk 5 is veel aandacht voor de onzekerheid van de meetreeksen.

Het rapport besluit met een aantal conclusies en aanbevelingen (Hoofdstuk 6).

In de bijlagen wordt per individuele meetreeks de gevolgde procedure en de resultaten beschreven.

2 Materiaal

2.1 Handmeting

De handmetingen zijn uitgevoerd met een dompelklokje. Om een handmeting te kunnen uitvoeren moet eerst de drukopnemer uit het peilfilter gehaald worden.

De handmetingen zijn direct in het veld in Diver-Office (Van Essen, 2016) ingevoerd door dezelfde waarnemer, waardoor er een tijdstip geregistreerd is.

2.2 Luchtdruk

De luchtdruk is gemeten met twee absolute drukopnemers (barodivers) van het type Mini-Diver. Deze barodivers hebben een meetbereik van 7,5 m waterkolom. De druk van de barometrische drukopnemer wordt geregistreerd in waterkolom (cmH₂O), om dit om te rekenen naar millibar of hectopascal moet dit vermenigvuldigd worden met 0,980665 mbar/cmH₂O (Van Essen, 2016).

Alle waterdrukmetingen zijn gecorrigeerd met de luchtdruk gemeten bij put B42F0129 (Brouwershaven west) op 500 m van de pompproeflocatie. Deze luchtdrukmeting is op 1-8-2018 gestart met elk kwartier een meting.

2.3 Drukmetingen in de peilbuizen

Alle drukmetingen zijn uitgevoerd met Mini-Diver DI501 en vanaf 28-5-2020 met Cera-Divers. De Mini-Divers zijn gemaakt van roestvaststaal 316L en de Cera-Diver van het keramische materiaal zirkoonoxide. De Mini-Diver is gevoelig voor spleetcorrosie. Zirkoonoxide corrodeert niet en kan in zeewater toegepast worden (Van Essen, 2016).

De drukmeters hebben een typische nauwkeurigheid van 0,5 cm (zie Tabel 1). De drukmeters zijn uitgelezen met Diver-Office 9.2.0.17. en 11.2.0.10.

Tabel 1: Eigenschappen Mini-Diver en Cera-Diver voor zoet water (Van Essen, 2016)

Eigenschap	Mini-Diver DI501	Cera-Diver DI701	Toelichting
Meetbereik waterkolom (m H ₂ O)	10	10	maximaal meetbereik
Maximale nauwkeurigheid (cmH ₂ O)	± 2,5	± 2	het maximale verschil tussen de gemeten en toegepaste druk na fabriekskalibratie
Typische Nauwkeurigheid (cm H ₂ O)	± 0,5	± 0,5	'>67% van de metingen vallen binnen 0,05% van het volledige meetbereik (10 mH ₂ O)'
Lange termijn stabiliteit (cm H ₂ O)	± 2	± 4	gedurende een periode waarin een constante druk wordt uitgeoefend bij een constante temperatuur
Resolutie (cm H ₂ O)	0,2	0,2	de kleinste drukverandering die een verandering in de Diver-meting produceert
Afbeeld resolutie (cm H ₂ O)	0,058	0,058	de kleinste druktoename die de Diver kan meten
Maximale druk (m H ₂ O)	15	15	hierboven raakt de sensor defect.

2.4 Temperatuurmetingen

De Diver-logger meet de temperatuur van het grondwater met een typische nauwkeurigheid van 0,1 °C en maximaal 0,2 °C met een resolutie van 0,01 °C. De reactietijd (90% van de eindwaarde) is 3 minuten in water (Van Essen, 2016).

3 Methode

De metingen zijn gecorrigeerd op basis van vijf stappen die in Python scripts zijn vastgelegd. Deze stappen zijn in dit hoofdstuk beschreven. Deze methode is eerder toegepast bij de stijghoogtemetingen van de pompproef Zeeland nabij Brouwershaven (Bus, 2022). Dit rapport is zelfstandig leesbaar, daarom is hieronder de methode beschreven.

Stap 0: Compensatie barometrische druk

Het grondwater is gemeten met absolute drukopnemers. Deze meten het totaal van de druk door de waterkolom in de peilbuis boven de drukopnemer en de luchtdruk die boven die waterkolom aanwezig is. Door de luchtdruk van de totale druk af te trekken, wordt de waterdruk verkregen. Dit is uitgevoerd met het TNO-GDN script plotMon.py.

Stap 1: Automatische verwijdering

De meetfrequentie is vijftien minuten. De drukopnemers zijn zeven keer uitgelezen. Tijdens het uitlezen zijn lage drukken geregistreerd, omdat de drukopnemers dan uit de buis worden gehaald. Deze lage drukken zijn automatisch gecorrigeerd door alles kleiner dan 5 mbar te verwijderen. In corrections.csv is dit per filter opgegeven. Dit is uitgevoerd met het script raai.py.

Stap 2: Handmatig verwijderd:

- Als er een handmeting is, dan moet er een temperatuurpiek zijn ($>0,5$ graden na drie minuten (reactietijd temperatuur)), want dat bevestigt dat de drukopnemer eruit is gehaald;
- drukdata verwijderd tot maximaal 1,5 uur rondom handmeting of temperatuurpiek;
- drukdata verwijderd indien drukverschil $> 1,00$ mbar (ongeveer 1 cm waterkolom, afhankelijk van temperatuur en zoutgehalte) of patroon zichtbaar in andere locaties;
- drukken zijn verwijderd, indien de metingen onzeker zijn. De onderbouwing hiervan is per verwijderde meting beschreven in corrections.csv.
- Bij elke visueel zichtbare uitschieter is de desbetreffende dag uitgelicht;

Bovenstaande is uitgevoerd met het script raai.py.

Stap 3: Correctie met handmeting:

De waterdruk is in een hoogte van de waterkolom omgezet, die samen met de plaatshoogte (diepte van drukmeter t.o.v. referentiehoogte) de stijghoogte oplevert.

- Per drukmeter is gecorrigeerd met één handmeting;
- Bij elke vervanging van de drukmeter is gecorrigeerd met één handmeting in dezelfde periode;
- Gecorrigeerd met de eerste handmeting op het tijdstip na de start van de drukmeting. Tenzij sterke daling of stijging in druk $> 1,5$ cm in 15 minuten, dan is gecorrigeerd met de tweede of derde handmeting;
- Hierbij is handmeting gebruikt waarbij alle andere handmetingen de drukverschillen $< 1,5$ cm, tenzij dit bij geen enkele handmeting mogelijk is; in dat geval is een handmeting gekozen in een periode met weinig stijghoogtefluctuatie;

Bovenstaande is uitgevoerd met het script Correctie.py.

Stap 4: Synthese

De vergelijking met handmetingen en stijghoogten van andere peilfilters.

4 Resultaten

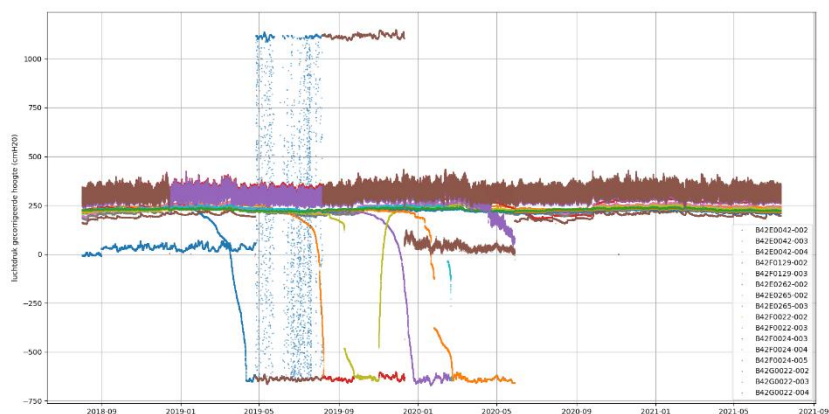
Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de resultaten van de verwerking van de drukmetingen. Elke stap uit de methode is beschreven. In de bijlagen A - Q zijn de resultaten per peilfilter weergegeven. In Bijlage R staan de filterdiepten.

4.1 Stap 0: Compensatie barometrische druk

Alle stijghoogtemetingen starten op 1-8-2018. Vanaf deze datum zijn er elk kwartier lucht- en waterdrukken gemeten.

In Figuur 2 zijn alle luchtdruk gecorrigeerde drukken weergegeven. Twee drukmeters geven extreem hoge drukken groter dan 1.000 mbar. Zes drukmeters laten een daling richting -600 mbar zien. Beide extremen zijn het gevolg van defecte drukapparaten. Daarom zijn deze Mini-Diver drukmeters vervangen door nieuwe Mini-Divers. Het defect raken van deze drukapparaten heeft in zeven meetreeksen gezorgd voor gaten (zie Tabel 2).

Vanaf 28-5-2020 zijn de Mini-Divers, vervangen door Cera-Divers, behalve in B42F0022-003. Cera-Divers zijn geschikt voor gebruik in brak- en zeewater milieus. Sindsdien zijn geen extreem hoge of lage drukken meer gemeten.



Figuur 2: Alle luchtdruk gecorrigeerde metingen, zonder correctie met handmetingen

4.2 Stap 1: Automatische verwijdering

De meetreeksen zijn automatisch opgeschoond door alle waarden kleiner dan 5 mbar te verwijderen. Deze zijn verwijderd, omdat de waterdruk niet lager kan worden dan de luchtdruk. Daarnaast hebben deze metingen een veel grotere dynamiek dan in de andere perioden.

In Tabel 2 is zichtbaar dat in veertien meetreeksen automatisch één meting tot acht maanden aan metingen is verwijderd. Zie bijlage A - Q voor de correctie per peilfilter.

Tabel 2: Aantal verwijderde drukmetingen in stap 1 (automatisch) en 2 (handmatig).

NITG-code	Gaten	stap 1 Automatisch verwijderd (< 5 mbar)	stap 2 Handmatig verwijderd	Stap 3 Handmetingen (14-12-2018, 28-05-2020)	Verschil handmeting door drift
B42E0042-002		2019: 2 maanden	2019: 5 maanden	Ja	4 en 3 cm
B42E0042-003		2019: 5 maanden	2019: 3 maanden	Ja	3 cm
B42E0042-004	2019: 3 maanden	2019: 1 meting		Ja	8 cm
B42E0262-002	2019: 3 maanden	<100 mbar 2019: 4 maanden	2019: 1 maand 2020: 5 maanden	Ja	2 cm
B42E0265-002			2019: 1 meting	Ja	Nee
B42E0265-003		2020: 2 metingen		Ja	Nee
B42F0022-002		2019: 2 maanden 2020: 2 metingen	2019: 2 maanden	Ja	2 en 4 cm
B42F0022-003		<220 mbar 2020: 3 maanden	2019: 1 maand 2020: 2 maanden	Nee, 1-8-2018 Ja, 28-5-2020	Nee
B42F0024-002		2020: 1 meting		Ja	Nee
B42F0024-003		2018: 5 maanden 2019: 5 maanden	2019: 4 maanden	Start 6-8-2019 Ja, 28-5-2020	Nee
B42F0024-004	2019: 5 maanden	2020: 5 maanden	2019: 4 maanden	Ja	Nee
B42F0024-005		2020: 1 meting		Ja	Nee
B42F0129-002	2019: 3 maanden	2019: 8 maanden	2018: 4 maanden	nee, 1-8-2018 ja, 28-5-2020	Nee
B42F0129-003		2019: 1 maand 2020: 5 maanden	2019: 2 maanden	Ja, 14-12-2018 Nee, 4-11-2020	Nee
B42G0022-002		2019: 1 meting 2020: 2 metingen		Ja	Nee
B42G0022-003		2019: 1 meting 2020: 1 meting	2020: 2 maanden	Ja	Nee
B42G0022-004	2018: 1 maand 2019: 4 maanden	2019: 4 maanden		Ja	Nee

4.3 Stap 2: Handmatig verwijderd

In Tabel 2 is zichtbaar dat in elf meetreeksen handmatig perioden zijn verwijderd. In corrections.xlsx staan de exacte perioden en onderbouwing van verwijdering. Zie bijlage A - Q voor de correctie per peilfilter.

Handmatig zijn verwijderd:

- Meetreeksen met een daling naar waarden kleiner dan 5 mbar. Handmatig is de daling voorafgaand verwijderd, met als eindmeting de laatste piek. Het gaat om B42E0042-002 (Bijlage A), B42E0042-003 (Bijlage B), B42F0022-002 (Bijlage G) en B42F0129-003 (Bijlage N), B42G0022-003 (Bijlage P);
- Meetreeksen met drukken groter dan 1.000 mbar. Dit zijn B42E0262-002 (Bijlage D) en B42F0024-003 (Bijlage J);
- Meetreeksen met een afwijkende gecorrigeerde druk en dynamiek ten opzichte van de overige perioden. Dit is B42E0262-002 (Bijlage D);
- Afwijkende patronen tussen meetreeksen van dezelfde grondwaterput. Dit zijn B42F0022-003 (Bijlage H) en B42F0024-004 (Bijlage K).

4.4 Stap 3: Correctie met handmetingen

Alle meetreeksen zijn gecorrigeerd met twee handmetingen, omdat door het defect raken van divers met meerdere drukmeters is gemeten.

In Tabel 2 is zichtbaar dat veertien meetreeksen zijn gecorrigeerd met de tweede handmeting op 14-12-2018. De stijghoogten fluctueren dusdanig ($> 1,5$ cm in 15 minuten), dat een tijdsverschil van meer dan een kwartier tussen de eerste handmeting (op 1-8-2019) en de eerste drukmeting een minder goede fit geeft. Twee peilfilters gaven wel de beste fit met de eerste handmeting, op basis van meerdere handmetingen op dezelfde reeks. Het gaat om B42F0022-003 en B42F0129-002. De meetreeks van B42F0024-003 start na correctie één jaar later op 6-8-2019.

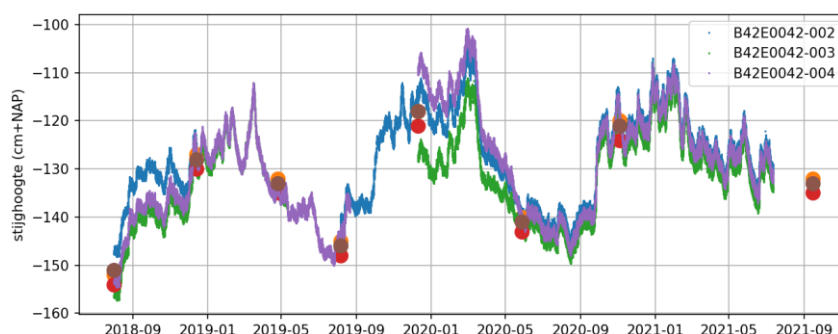
Op 28-5-2020 zijn de Mini-Divers vervangen door Cera-Divers. In Tabel 2 is zichtbaar dat de handmeting van 28-5-2020 is gebruikt om zowel de periode hiervoor als daarna te corrigeren. Het moment van het vervangen met Cera-Divers is gekozen, want anders ontstaan sprongen in de reeksen. Alleen B42F0129-003 geeft een betere fit met de handmeting van 4-11-2020.

In Figuur 3 en Bijlage A-C zijn de stijghoogten met handmetingen van B42E0042 weergegeven. De peilfilters 2 t/m 4 hebben dezelfde dynamiek. In de handmetingen is, na inzoomen, zichtbaar dat de verticale drukverschillen respectievelijk 3 en 2 cm zijn.

In Figuur 3 is, na inzoomen, zichtbaar dat het nulpunt verloopt (drift) voor:

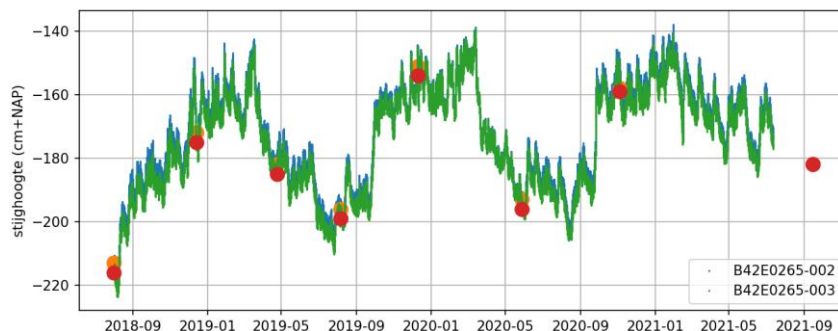
- filter B42E0042-002 (blauw) in de periode augustus t/m december 2018 en augustus t/m december 2019;
- filter B42E0042-003 (groen) in de periode december 2019 t/m mei 2020;
- filter B42E0042-004 (paars) in de periode december 2019 t/m mei 2020.

Dat is, na inzoomen, zichtbaar door het stijghoogteverschil met de handmeting aan het begin van de periode, omdat de reeks gecorrigeerd is met de handmeting aan het einde van deze periode.



Figuur 3: Stijghoogten B42E0042 Scharendijke zuid (002: blauw/oranje, 003: groen/rood, 004: paars/bruin)

In Figuur 4 zijn de stijghoogten met handmetingen van B42E0265 weergegeven. De peilfilters 2 en 3 hebben dezelfde dynamiek. In de handmetingen is, na inzoomen, zichtbaar dat het verticale drukverschil 3 cm is.

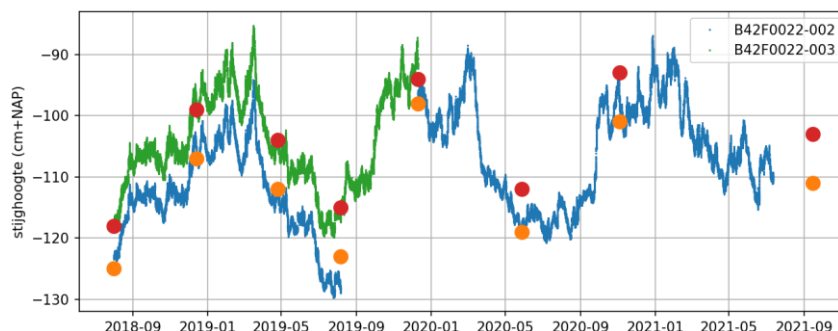


Figuur 4: Stijghoogten B42E0265 Serooskerke oost (002: blauw/oranje, 003: groen/rood)

In Figuur 5 zijn de stijghoogten met handmetingen van B42F0022 weergegeven. De peilfilters 2 en 3 hebben dezelfde dynamiek. In de handmetingen is, na inzoomen, zichtbaar dat het verticale drukverschil 8 cm is.

In Figuur 5: Stijghoogten B42F0022 Scharendijke oost (002: blauw met handmetingen in oranje, 003: groen met handmetingen in rood) is, na inzoomen, zichtbaar dat het nulpunt verloopt (drift) voor:

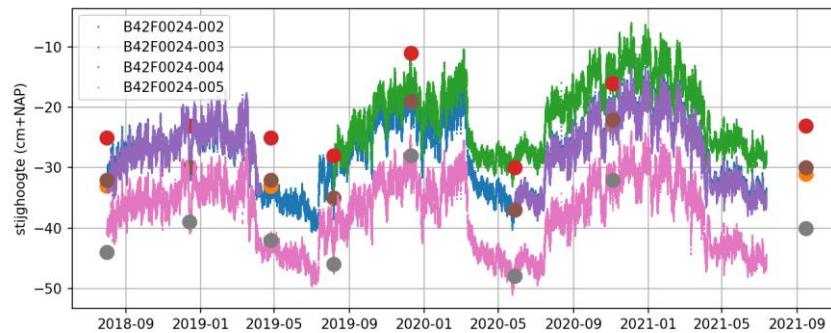
- B42F0022-002 in de periode juli-augustus 2019.



Figuur 5: Stijghoogten B42F0022 Scharendijke oost (002: blauw met handmetingen in oranje, 003: groen met handmetingen in rood)

In Figuur 6 zijn de stijghoogten met handmetingen van B42F0024 weergegeven. De peilfilters 2 t/m 5 hebben dezelfde dynamiek. In de handmetingen is, na inzoomen, zichtbaar dat de verticale drukverschillen respectievelijk 7, 7 en 10 cm zijn. In peilfilter 2 en 4 is geen tot maximaal 1 cm stijghoogteverschil gemeten.

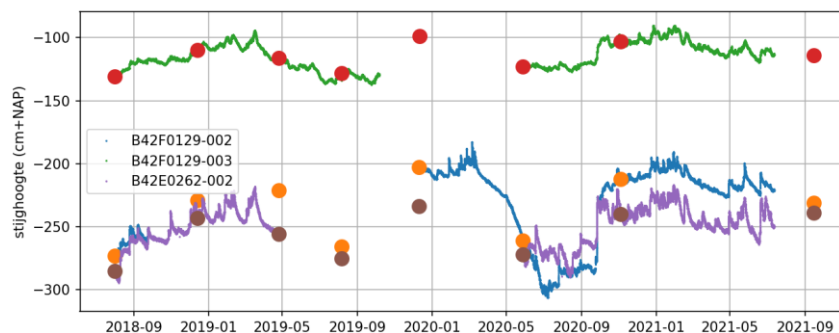
Als naar de metingen uit de DINOdatabase wordt gekeken van de periode 1976 tot 1993, dan is hier sprake van een filterverwisseling: 003=002 en 003=002. In peilfilter 3 is, na inzoomen, drift zichtbaar in de periode voorafgaand aan de Cera-Diver op 28-5-2020.



Figuur 6: Stijghoogten B42F0024 Den Osse – Grevelingenmeer (002: blauw/oranje, 003: groen/rood, 004: paars/bruin, 005: roze/grijs) Let op: Filterverwisseling 003 =002, 003=002.

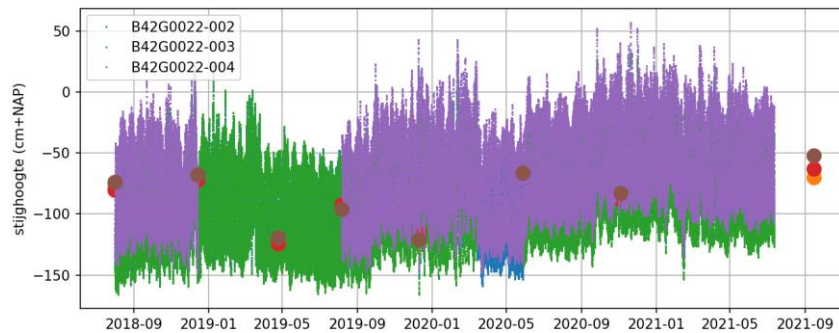
In Figuur 7 zijn de stijghoogten met handmetingen van B42F0129 Brouwershaven west en B42E0262 midden weergegeven. De peilfilters 2 en 3 van B42F0129 reageren verschillend (zie bijlage R voor de filterdieptes). In de handmetingen is zichtbaar dat het verticale drukverschil meer dan 100 cm is.

B42F0129-002 heeft een andere dynamiek dan B42E0262-002. Om te controleren of de metingen van B42E0262-002 betrouwbaar zijn is in Figuur 10 een vergelijking gemaakt met de DINO-database metingen. Deze 2-wekelijkse metingen uit dezelfde periode komen goed overeen met de drukmetingen.



Figuur 7: Stijghoogten B42F0129 Brouwershaven west (002: blauw/oranje, 003: groen/rood) en B42E0262-002 Midden (paars/bruin)

In Figuur 8 zijn de stijghoogten met handmetingen van B42G0022 weergegeven. De peilfilters 2 t/m 4 hebben dezelfde dynamiek. In de handmetingen is, na inzoomen, zichtbaar dat de verticale drukverschillen tussen filter 2 en 3 verwaarloosbaar zijn en filter 4 is circa 5 cm lager.



Figuur 8: Stijghoogten B42G0022 nabij Oosterschelde (002: blauw/oranje, 003: groen/rood, 004: paars/bruin)

4.5 Stap 4: Synthese

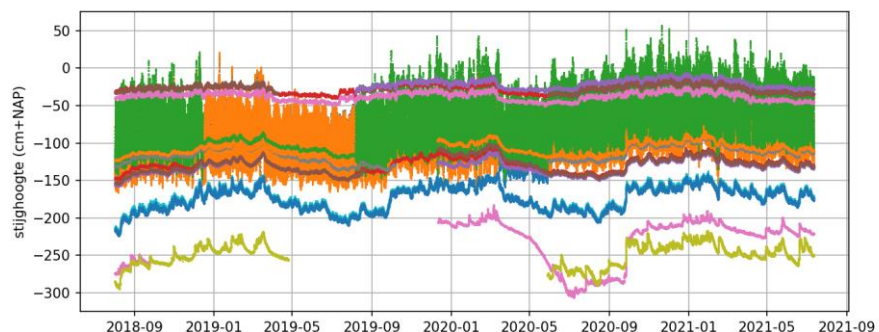
In Figuur 9 zijn alle gecorrigeerde stijghoogten weergegeven. In Bijlage R staat de top en basis van de filters. De stijghoogteverschillen variëren tussen -10 en -290 cm+NAP.

In de peilfilters 2 t/m 4 van B42G0022 (zie Figuur 9, groen en oranje lijnen met grootste amplitude) is de invloed van het Oosterschelde getij, na inzoomen, zichtbaar. De dynamiek in deze peilfilters wijken af van de rest. De Oosterschelde heeft een amplitude van 125 cm in de periode 2 t/m 6 augustus 2018.

In peilfilters 2 en 3 van B42F0022 Scharendijke oost (zie Figuur 9, rond 110 m-NAP) is een amplitude van één cm in de periode 2 t/m 6 augustus 2018. Het Grevelingenmeer heeft een amplitude van 2 cm in deze periode

Peilfilter B42F0129-002 (mosterd gele lijn in Figuur 9) bereikt de laagste stijghoogten. Opvallend is de plotselinge verlaging van dit peilfilter van december 2019 tot oktober 2020.

Peilfilter B42F0129-003 Brouwershaven west (blauw in Figuur 9) heeft stijghoogten in dezelfde range als B42F0022 en B42E0042 in respectievelijk Scharendijke oost en west.



Figuur 9: Alle stijghoogten

5 Discussie

Dit hoofdstuk gaat over de resulterende onzekerheid in de meetreeksen.

Reactiesnelheid peilfilter

Om een handmeting te kunnen doen moet de drukmeter uit de buis gehaald worden. Het peil in de buis daalt door het verwijderen van de drukmeter en stijgt bij het terughangen van de drukmeter. Er is vanuit gegaan dat binnen de meetinterval het peil weer gestegen is. Dit effect is niet in het veld gecontroleerd met het uitvoeren van twee handmetingen: (1) direct na het verwijderen van de drukmeter, in tussentijd uitlezen van de drukmeter, en (2) direct voor het terughangen. Op basis van de stijghoogten van de pompproef Brouwershaven (met meetfrequentie één minuut), is geconcludeerd dat de reactiesnelheid van het peilfilter snel genoeg is (maximaal drie minuten). Aanbevolen wordt om in de toekomst twee handmetingen per peilfilter uit te voeren.

Automatische en handmatige verwijdering

Door de hoge meetfrequentie van elke vijftien minuten zijn veel metingen automatisch en handmatig verwijderd. Tijdens het verwijderen was, na inzoomen, zichtbaar dat er naast de uitleesmomenten van de drukmeters, op andere momenten metingen door derden zijn verricht. Dit betreft maaiveldhoogtemetingen en stijghoogtemetingen.

Drift

In vijf peilfilters is drift zichtbaar in de periode voorafgaand aan de Cera-Diver op 28-5-2020. Het gaat om een afwijking van twee tot maximaal acht cm. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door spleetcorrosie.

Keuze handmetingen

Aangezien op 28-5-2020 alle drukmeters zijn vervangen is ervoor gekozen om deze handmeting te gebruiken om zowel de meetreeks hierna én ervoor te corrigeren. Dit wijkt af van de standaard procedure. Hiermee wordt de fout van de drift verplaatst van het begin naar het eind van de metingen. Normaliter lijkt een drift in de tijd toe te nemen, zodat de laatste metingen minder betrouwbaar zijn dan de eersten. Er is niet gekozen om twee handmetingen aan het begin van de meetperiode te gebruiken. Dit aangezien meerdere meetreeksen drift vertoonden, waardoor er sprongen in de meetreeks ontstaan bij de overgang op de nieuwe drukmeter. Hiervan is afgeweken, aangezien de reeksen zoveel artefacten vertonen is gekozen om niet de handmeting aan het begin van de meetreeks van de Mini-Diver, maar juist de handmeting aan het einde te kiezen. Hierdoor ontstaat er geen extra sprong in de meetreeks bij de overgang naar Cera-Divers.

Mini-Divers in zout water

Doordat de Mini-Divers niet geschikt zijn voor zoutwater, zijn de metingen niet stabiel ten opzichte van de handmetingen. Dit veroorzaakt grotere afwijking in de dynamiek, dan in zoet water.

Nieuwe Mini-Divers gaven vanaf het begin soms onbetrouwbare data, waardoor bij afwijkingen groter dan vijf centimeter, de hele reeks is verwijderd. Dit veroorzaakt extra gaten in de meetreeks.

Chloride concentraties

De gemeten chloride concentraties in het verleden variëren van 11.698 tot 15.761 mg/l in respectievelijk B42F0129-002 Brouwershaven west en B42F0022-002 Scharendijke oost (zie Bijlage R). Verschillen in chloride concentraties zorgen voor zoetwaterstijghoogte verschillen tot 60 cm. De verwachting is dat de chloride concentraties fluctueren over de tijd en seizoensgebonden zijn. Dit is mede gebaseerd op het feit dat in de temperatuurmetingen een seizoenspatroon zichtbaar is, waardoor de herkomst van het grondwater waarschijnlijk varieert.

De actuele dichtheid van het grondwater is niet gemeten en daardoor konden de stijghoogten niet worden omgerekend naar de omgevingsstijghoogte. Aanbevolen wordt om de elektrische geleidbaarheid of waterkwaliteit van de peilfilters op meerdere momenten te meten.

Gaten

Er is gemeten met twee verschillende typen drukopnemers. In de periode van 1-8-2018 t/m 20-8-2020 zijn alle Mini-Divers, behalve in B42E0265-002 defect geraakt en vervangen. Vanaf 28-5-2020, het startmoment van de Cera-Diver zijn de metingen stabiel. Dit kan verklaard worden, doordat in alle peilfilters sprake is van zout grondwater volgens de DINO-database (zie Bijlage R). Sinds de overgang naar de Cera-divers zijn geen drukmeters meer defect geraakt. Voor de aankomende metingen verwachten we geen gaten meer in de meetreeksen, maar een continue beeld. Bovendien kunnen deze gaten worden opgevuld door handmetingen uit DINO-database, meetreeksen uit dezelfde put en/of tijdreeksmodellering.



Figuur 10: B42E0262 DINO-database 2-wekelijkse metingen met 15 minuten drukmetingen (rood).

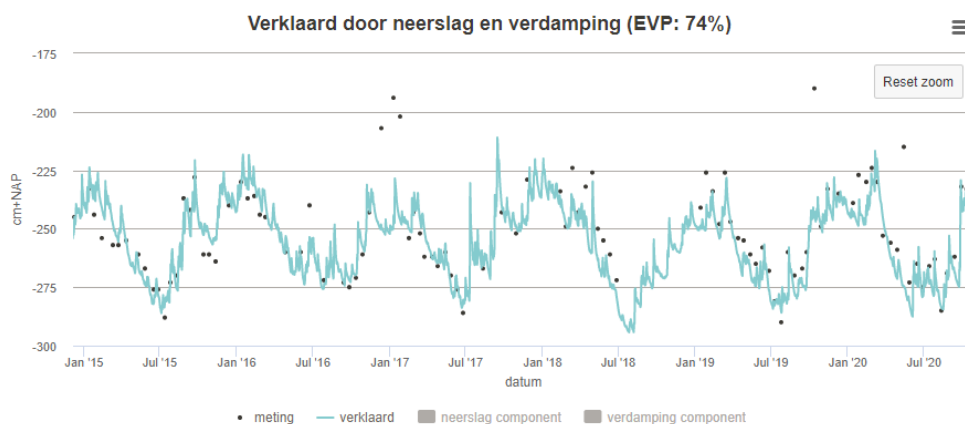
Nauwkeurigheid

De verwachting is dat de gecorrigeerde stijghoogtemetingen zonder correctie van chloride concentraties een nauwkeurigheid hebben van circa één cm, behalve waar drift een rol speelt.

Tijdreeksmodellen

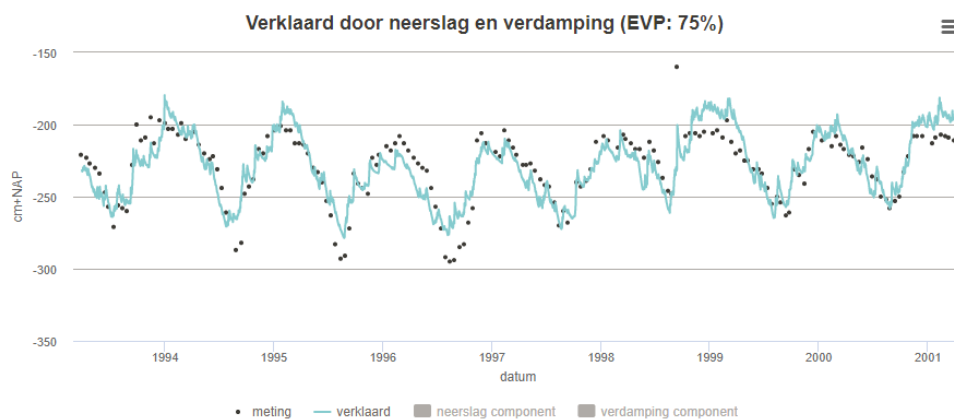
Om inzicht te krijgen of het mogelijk is om de gaten in de meetreeksen op te vullen met tijdreeksmodellen is Grondwatertools.nl geraadpleegd. Tijdreeksmodellen lijken hiervoor geschikt te zijn.

In Figuur 11 is een tijdreeksmodel gemaakt van B42E0262-002 met twee wekelijkse meetgegevens, van de peilfilters 1, 2 en 3 kan 77 tot 71% worden verklaard door neerslag en verdamping.

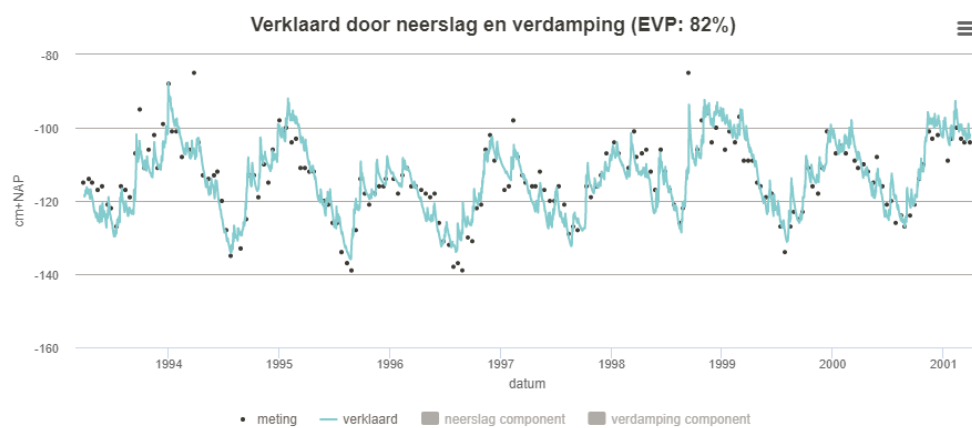


Figuur 11: Tijdreeksmodel B42E0262-002 (28-10-1976 tot 17-10-2020, Grondwatertools.nl)

In Figuur 12 en Figuur 13 is het resultaat van tijdreeksmodellen van B42F0129 getoond. Op basis van neerslag en verdamping kan 75 tot 82% van de stijghoogten worden verklaard.



Figuur 12: Tijdreeksmodel B42F0129-002 (29-3-1993 t/m 29-3-2001, Grondwatertools.nl)



Figuur 13: B42F0129-003 (29-3-1993 t/m 29-3-2001, Grondwatertools.nl)

6 Conclusies en aanbevelingen

In deze rapportage zijn de zeventien drukmetingen in twee raaien van de provincie Zeeland gecorrigeerd en omgezet naar stijghoogtemetingen.

De meetreeksen zijn automatisch en handmatig opgeschoond. De temperatuurmetingen van het grondwater bleken hierbij erg belangrijk. Om een zo goed mogelijke fit te krijgen met alle handmetingen zijn uiteindelijk de peilfilters gecorrigeerd met de handmetingen van twee tijdstippen.

Het grondwater op de projectlocatie is zout. De actuele dichtheid van het grondwater is niet gemeten en daardoor konden de stijghoogten niet worden omgerekend naar de omgevingsstijghoogte. Aanbevolen wordt om de elektrische geleidbaarheid of waterkwaliteit van de peilfilters op meerdere momenten te meten.

Aanbevolen wordt om in de toekomst de reactiesnelheid van het peilfilter te bepalend door twee handmetingen te doen: (1) direct na het verwijderen van de drukmeter, in tussentijd uitlezen van de drukmeter, en (2) direct voor het terughangen. Dit aangezien het peil in het filter daalt door het verwijderen van de drukmeter en vervolgens weer stijgt als de drukmeter wordt terughangen.

Aanbevolen wordt om de gaten in de meetreeksen op te vullen met 2-wekelijkse metingen uit de DINO-database, meetreeksen uit dezelfde put en/of tijdreeksmodellering. Met name voor B42E0262 en B42F0129 wordt aanbevolen tijdreeksmodellen te gebruiken, aangezien deze reeksen afwijkende patronen hebben.

7 Referenties

Bus, S.A.R., 2022. Stijghoogtemetingen van de pompproef Zeeland nabij Brouwershaven. TNO-rapport TNO 2022 R11861.

Van Essen, 2016. Handleiding Diver.
<https://www.vanessen.com/images/PDFs/Diver-ProductManual-nl.pdf>.

8 Ondertekening

Naam en paraaf tweede lezer

A. Lourens

Ondertekening

Autorisatie vrijgave

MSc S.A.R. Bus
Auteur

Drs. D. Maljers
Research manager

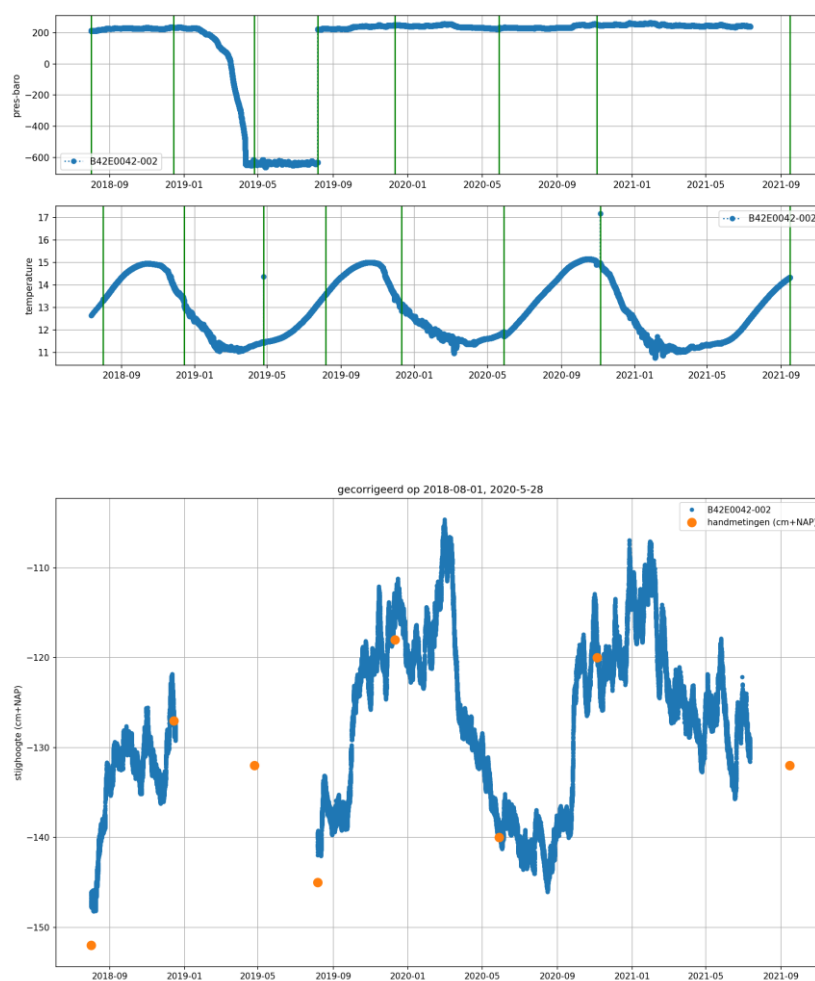
A B42E0042-002 Scharendijke zuid

B42E0042 Gemiddelde stijghoogte

Maaiveld (m+NAP): -0.60

Filter BKF (m+NAP) OKF (m+NAP) Formatie Waarde

002	-8.40	-9.40	HL	-1.43	●
003	-17.40	-18.40	HL	-1.31	●
004	-28.70	-29.70	HL	-1.33	●



Figuur 14: Stijghoogten gecombineerd met DINO-database metingen (oranje)

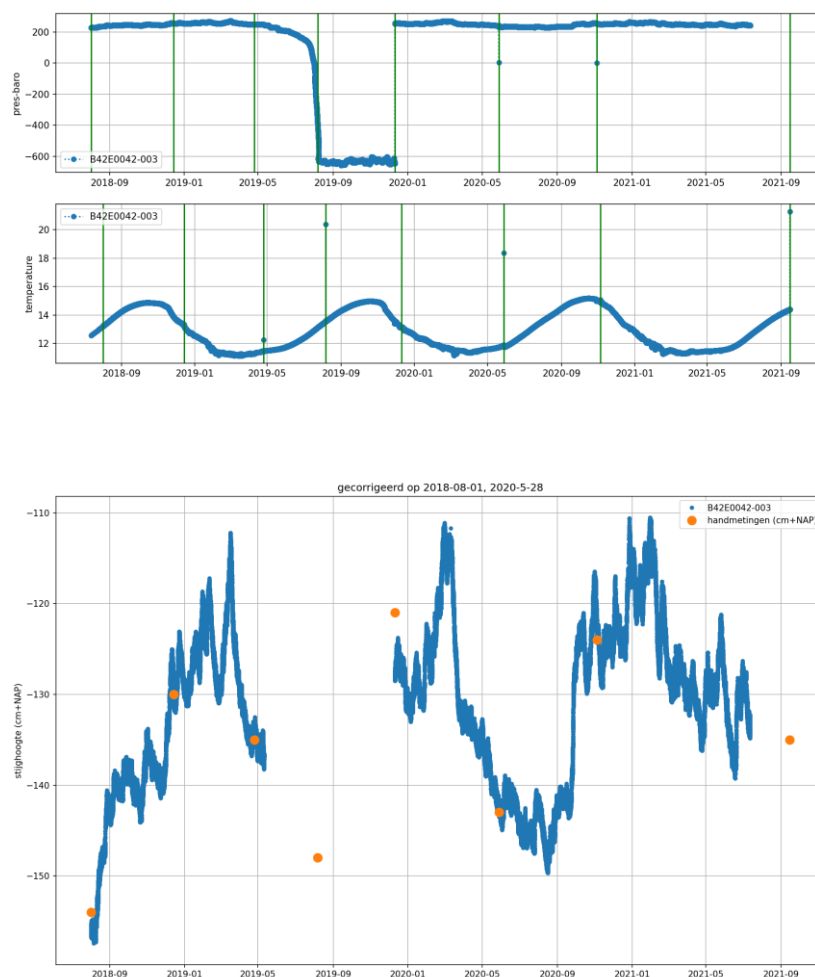
B B42E0042-003 Scharendijke zuid

B42E0042 Gemiddelde stijghoogte

Maaiveld (m+NAP): -0.60

Filter BKF (m+NAP) OKF (m+NAP) Formatie Waarde

002	-8.40	-9.40	HL	-1.43	●
003	-17.40	-18.40	HL	-1.31	●
004	-28.70	-29.70	HL	-1.33	●



Figuur 15: Stijghoogten gecombineerd met DINO-database metingen (oranje)

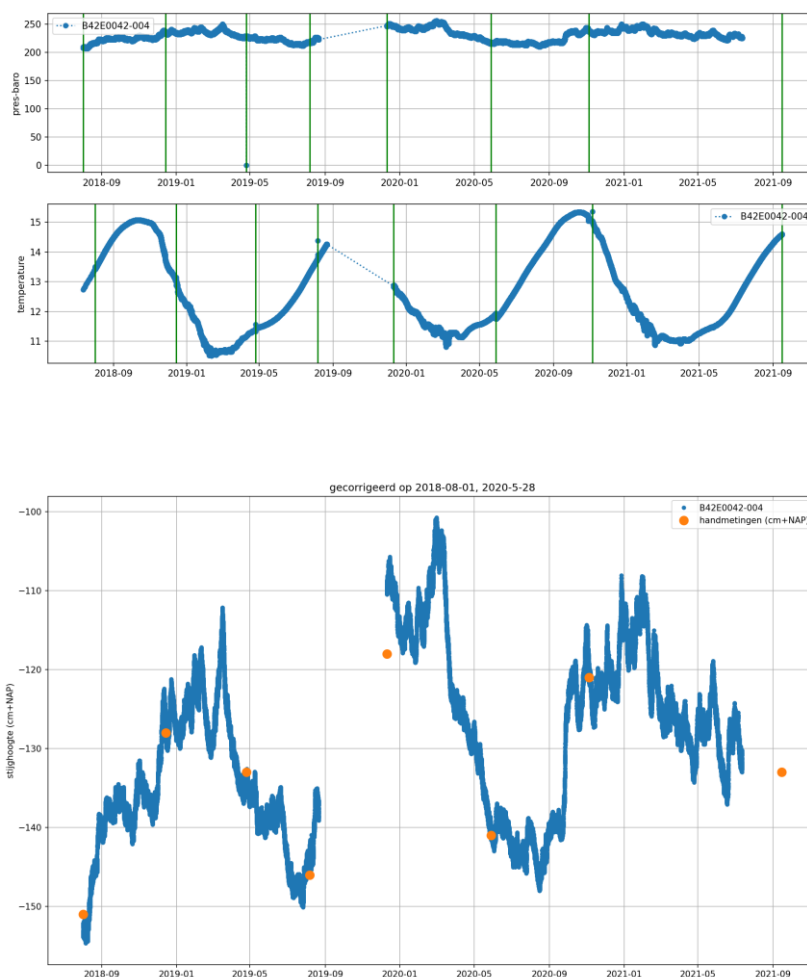
C B42E0042-004 Scharendijke zuid

B42E0042 Gemiddelde stijghoogte

Maaiveld (m+NAP): -0.60

Filter BKF (m+NAP) OKF (m+NAP) Formatie Waarde

002	-8.40	-9.40	HL	-1.43	●
003	-17.40	-18.40	HL	-1.31	●
004	-28.70	-29.70	HL	-1.33	●



Figuur 16: Stijghoogten gecombineerd met DINO-database metingen (oranje)

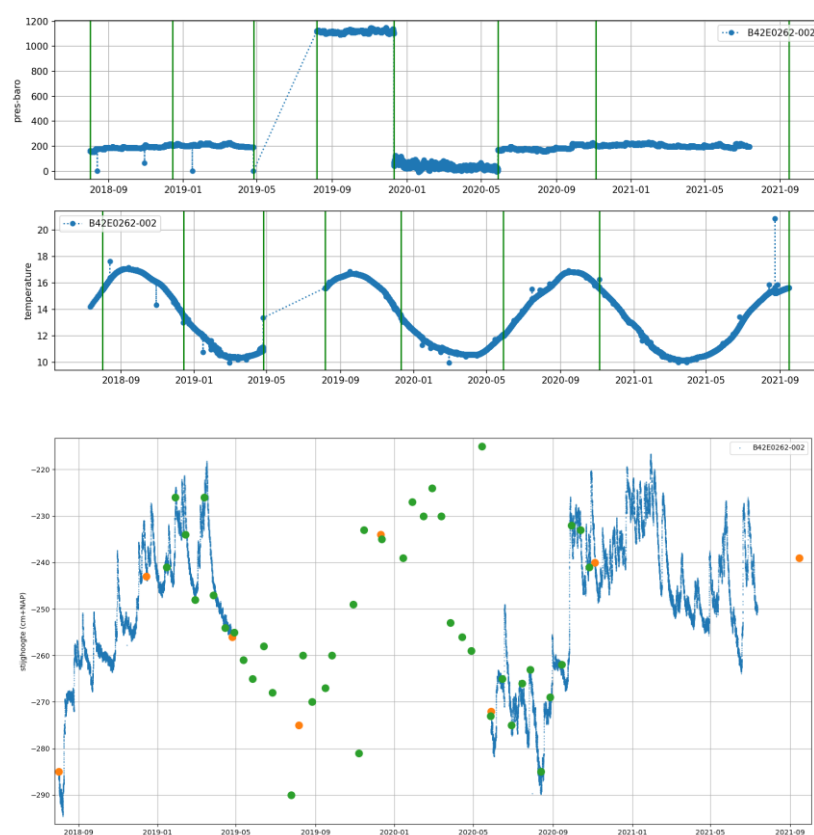
D B42E0262-002 Midden

B42E0262 Gemiddelde stijghoogte

Maaiveld (m+NAP): -1.50

Filter BKF (m+NAP) OKF (m+NAP) Formatie Waarde

001	-15.50	-16.50	HL	-2.60	●
002	-30.40	-31.40	BX	-2.61	●
003	-45.20	-46.20	MS	-2.03	●



Figuur 14: Stijghoogten gecombineerd met DINO-database metingen (groen)

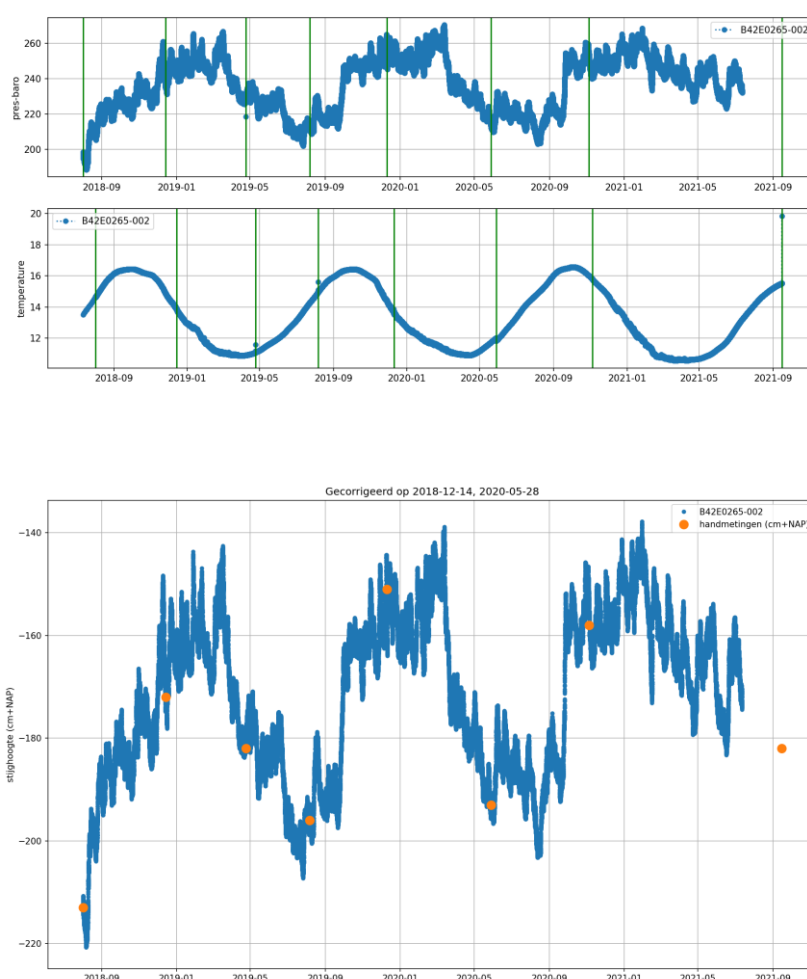
E B42E0265-002 Serooskerke oost

B42E0265 Gemiddelde stijghoogte

Maaiveld (m+NAP): -1.10

Filter BKF (m+NAP) OKF (m+NAP) Formatie Waarde

001	-19.40	-20.40	EE	-1.74	
002	-29.60	-30.60	EE	-1.82	
003	-39.70	-40.70	MS	-1.96	



Figuur 18: Stijghoogten gecombineerd met DINO-database metingen (oranje)

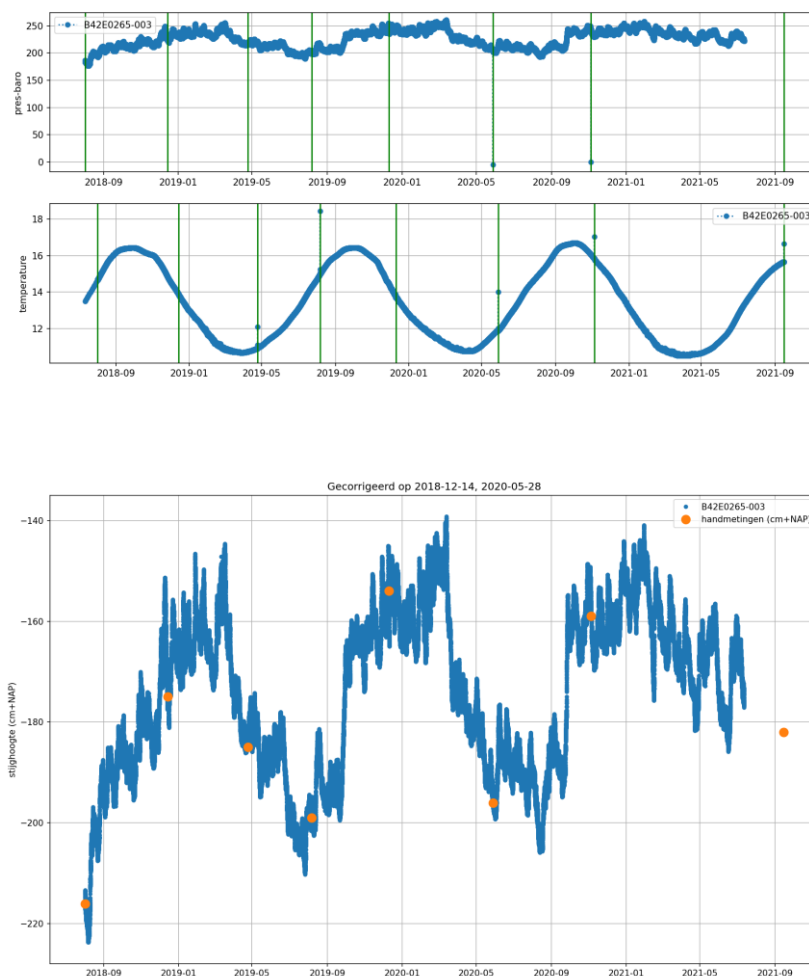
F B42E0265-003 Serooskerke oost

B42E0265 Gemiddelde stijghoogte

Maaiveld (m+NAP): -1.10

Filter BKF (m+NAP) OKF (m+NAP) Formatie Waarde

001	-19.40	-20.40	EE	-1.74	
002	-29.60	-30.60	EE	-1.82	
003	-39.70	-40.70	MS	-1.96	



Figuur 19: Stijghoogten gecombineerd met DINO-database metingen (oranje)

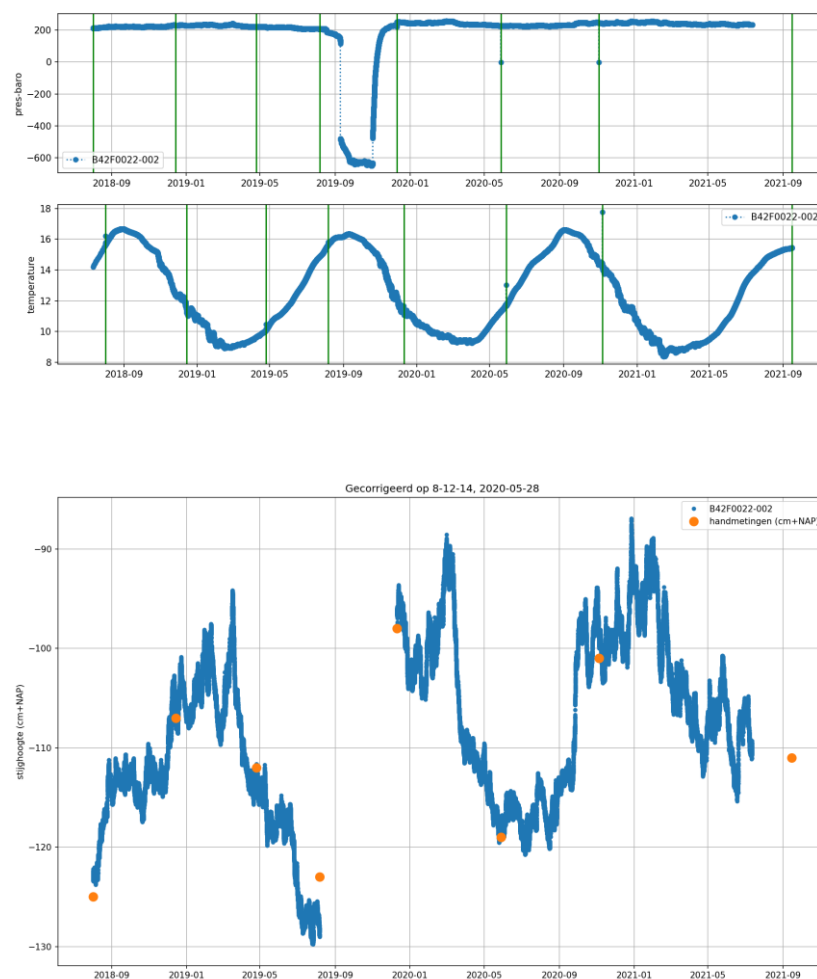
G B42F0022-002 Scharendijke oost

B42F0022 Gemiddelde stijghoogte

Maaiveld (m+NAP): -1.25

Filter BKF (m+NAP) OKF (m+NAP) Formatie Waarde

001	-19.60	-20.60	BX	-1.09	●
002	-29.60	-30.60	EE	-1.24	●
003	-39.60	-40.60	PZWA	-1.14	●



Figuur 20: Stijghoogten gecombineerd met DINO-database metingen (oranje)

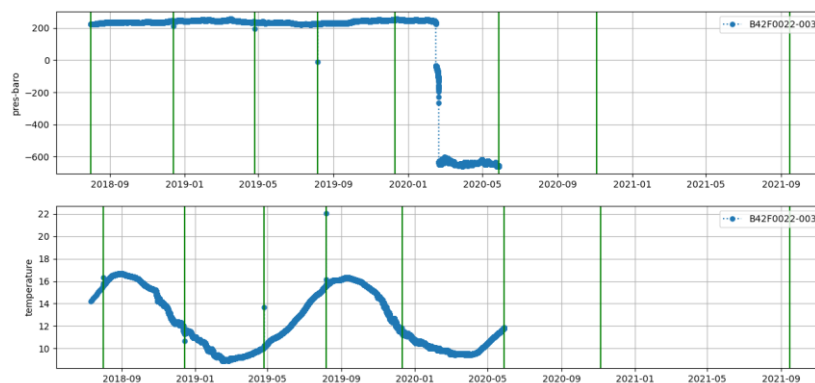
H B42F0022-003 Scharendijke oost

B42F0022 Gemiddelde stijghoogte

Maaiveld (m+NAP): -1.25

Filter BKF (m+NAP) OKF (m+NAP) Formatie Waarde

001	-19.60	-20.60	BX	-1.09	●
002	-29.60	-30.60	EE	-1.24	●
003	-39.60	-40.60	PZWA	-1.14	●



Verwijderd:

- Handmatig: Alle metingen na 10-12-2019 13:30 uur, o.b.v. stijghoogteverschil met B42F0022-002 > 5 cm. Let op: de bijbehorende handmeting op 10-12-2019 heeft waarschijnlijk een afleesfout, want deze heeft een verschil van 4 cm in plaats van 7 of 8 cm met de handmetingen van B42F002-002.



Figuur 21: Stijghoogten gecombineerd met DINO-database metingen (oranje)

I B42F0024-002 Den Osse – Grevelingenmeer

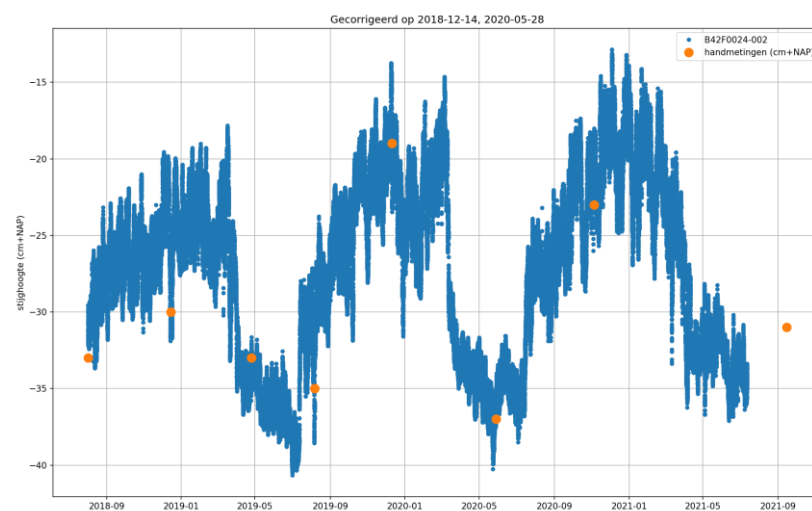
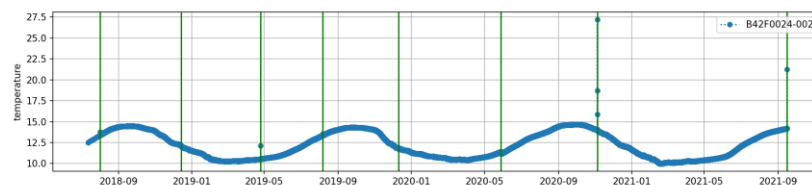
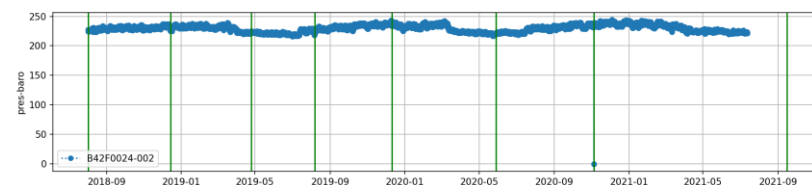
Let op: Filterverwisseling B42F0024-002 = B42F0024-003.

B42F0024 Gemiddelde stijghoogte

Maaiveld (m+NAP): 0.70

Filter BKF (m+NAP) OKF (m+NAP) Formatie Waarde

002	-19.00	-20.00	BX	-0.25	●
003	-27.50	-28.50	EE	-2.16	●
004	-33.30	-34.30	PZWA	-0.22	●



Figuur 22: Stijghoogten gecombineerd met DINO-database metingen (oranje)

J B42F0024-003 Den Osse – Grevelingenmeer

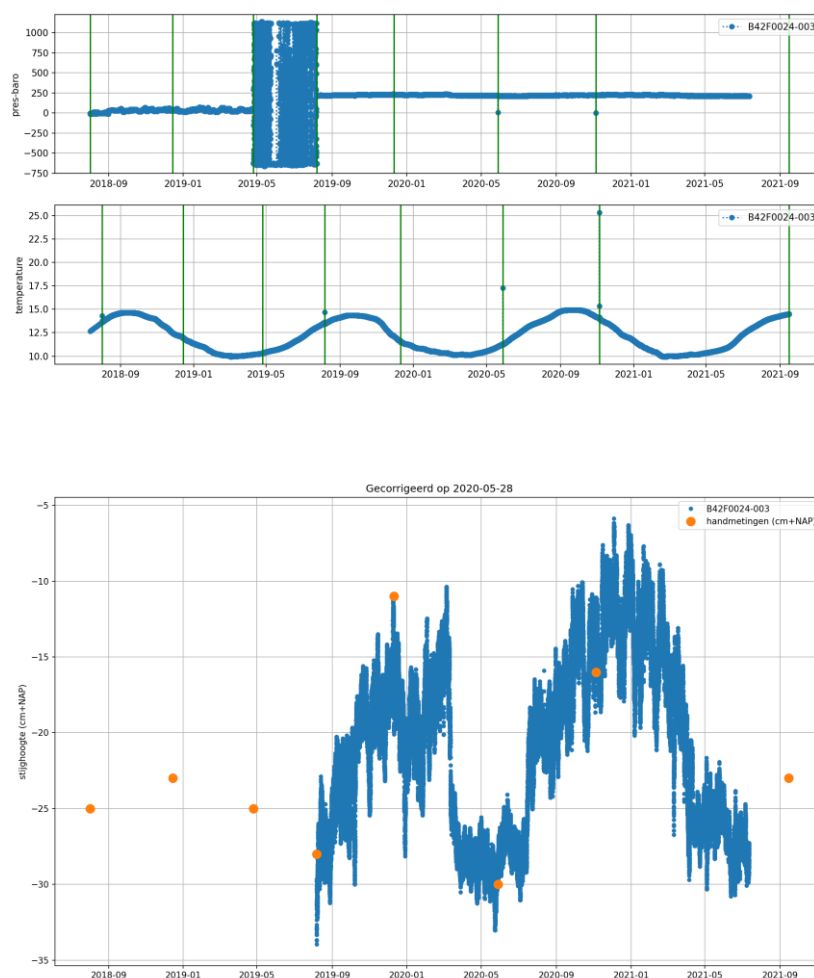
Let op: Filterverwisseling B42F0024-002 = B42F0024-003.

B42F0024 Gemiddelde stijghoogte

Maaiveld (m+NAP): 0.70

Filter BKF (m+NAP) OKF (m+NAP) Formatie Waarde

002	-19.00	-20.00	BX	-0.25	●
003	-27.50	-28.50	EE	-2.16	●
004	-33.30	-34.30	PZWA	-0.22	●



Figuur 23: Stijghoogten gecombineerd met DINO-database metingen (oranje)

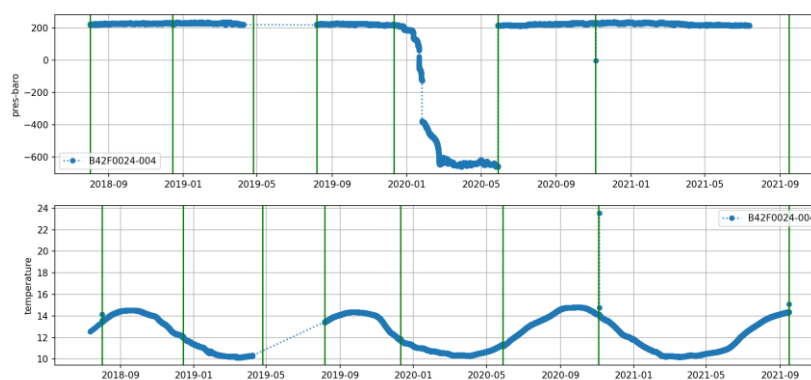
K B42F0024-004 Den Osse - Grevelingenmeer

B42F0024 Gemiddelde stijghoogte

Maaiveld (m+NAP): 0.70

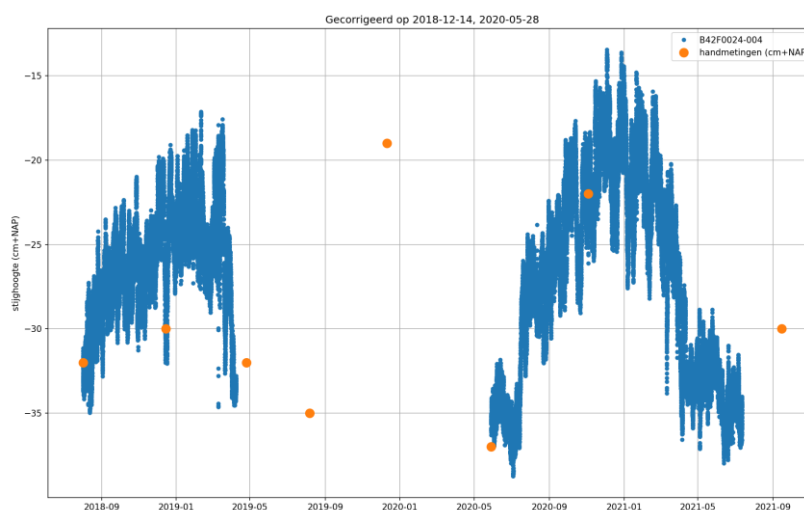
Filter BKF (m+NAP) OKF (m+NAP) Formatie Waarde

002	-19.00	-20.00	BX	-0.25	
003	-27.50	-28.50	EE	-2.16	
004	-33.30	-34.30	PZWA	-0.22	



Handmatig verwijderd:

- Alle metingen in de periode 6-8-2019 t/m 10-12-2019, o.b.v. andere patroon ten opzichte van stijghoogten B42F0022-002.



Figuur 24: Stijghoogten gecombineerd met DINO-database metingen (oranje)

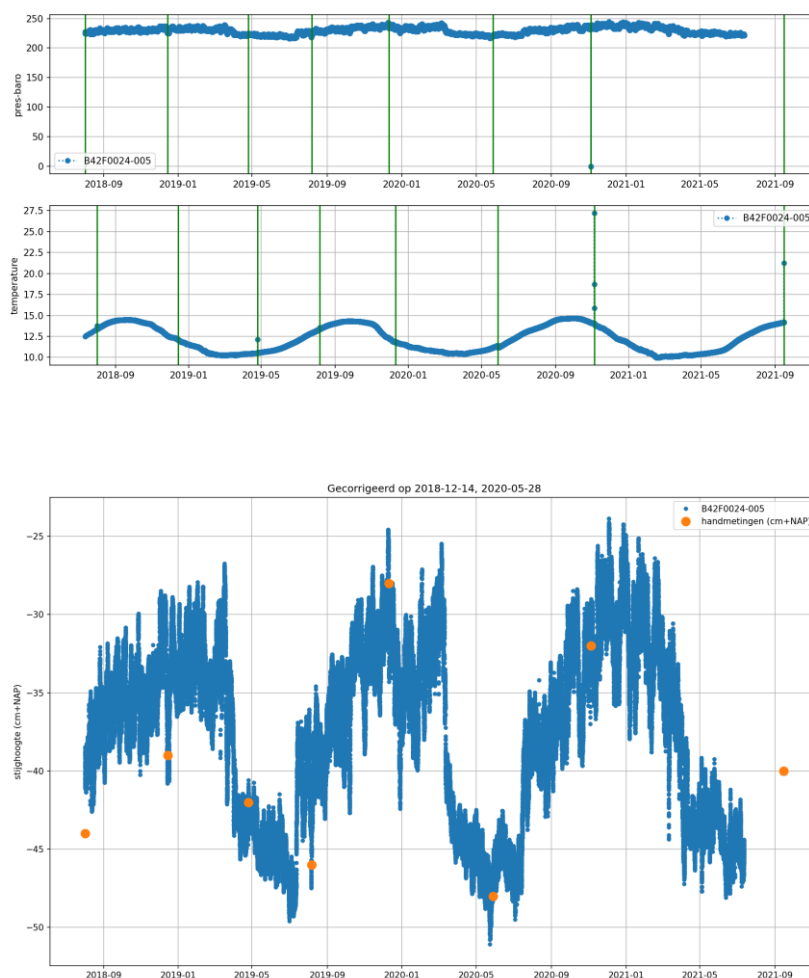
L B42F0024-005 Den Osse – Grevelingenmeer

B42F0024 Gemiddelde stijghoogte

Maaiveld (m+NAP): 0.70

Filter BKF (m+NAP) OKF (m+NAP) Formatie Waarde

002	-19.00	-20.00	BX	-0.25	
003	-27.50	-28.50	EE	-2.16	
004	-33.30	-34.30	PZWA	-0.22	



Figuur 25: Stijghoogten gecombineerd met DINO-database metingen (oranje)

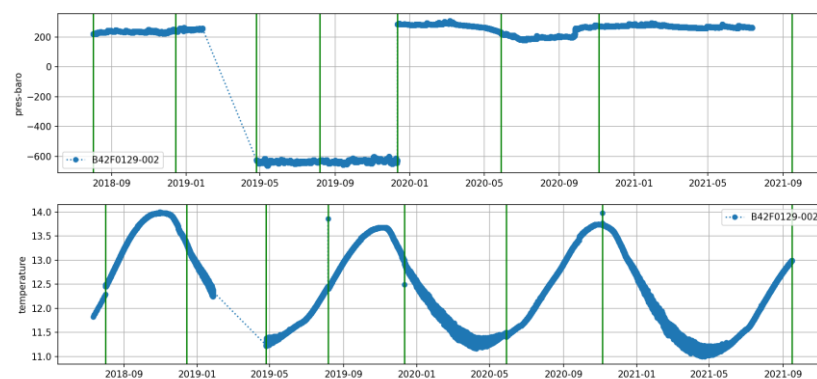
M B42F0129-002 Brouwershaven west

B42F0129 Gemiddelde stijghoogte

Maaiveld (m+NAP): -0.60

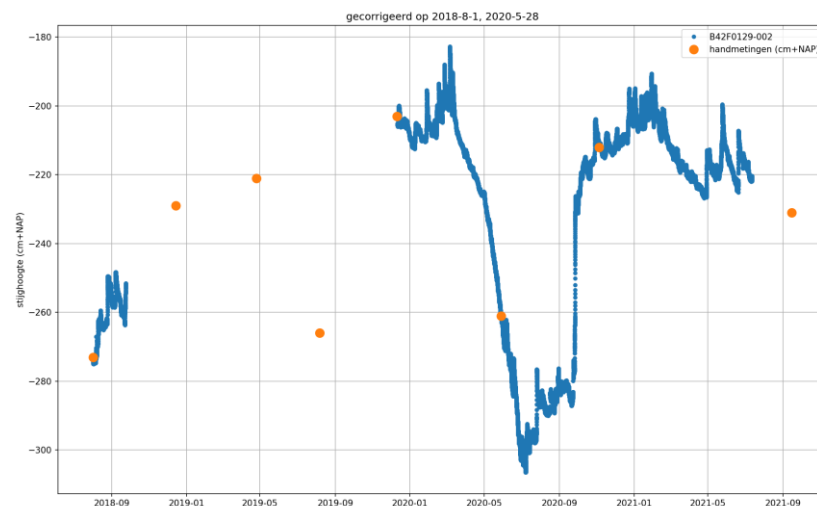
Filter BKF (m+NAP) OKF (m+NAP) Formatie Waarde

001	-2.93	-3.93	HL	-2.26	●
002	-7.33	-8.33	HL	-0.38	●
003	-19.61	-20.61	BX	-1.13	●



Handmatig verwijderd:

- Alle metingen in de periode 24-9-2018 t/m 24-04-2019, o.b.v. andere patroon ten opzichte van stijghoogten B42E0262-003 en afwijking van handmeting op 14-12-2018.



Figuur 26: Stijghoogten gecombineerd met DINO-database metingen (oranje)

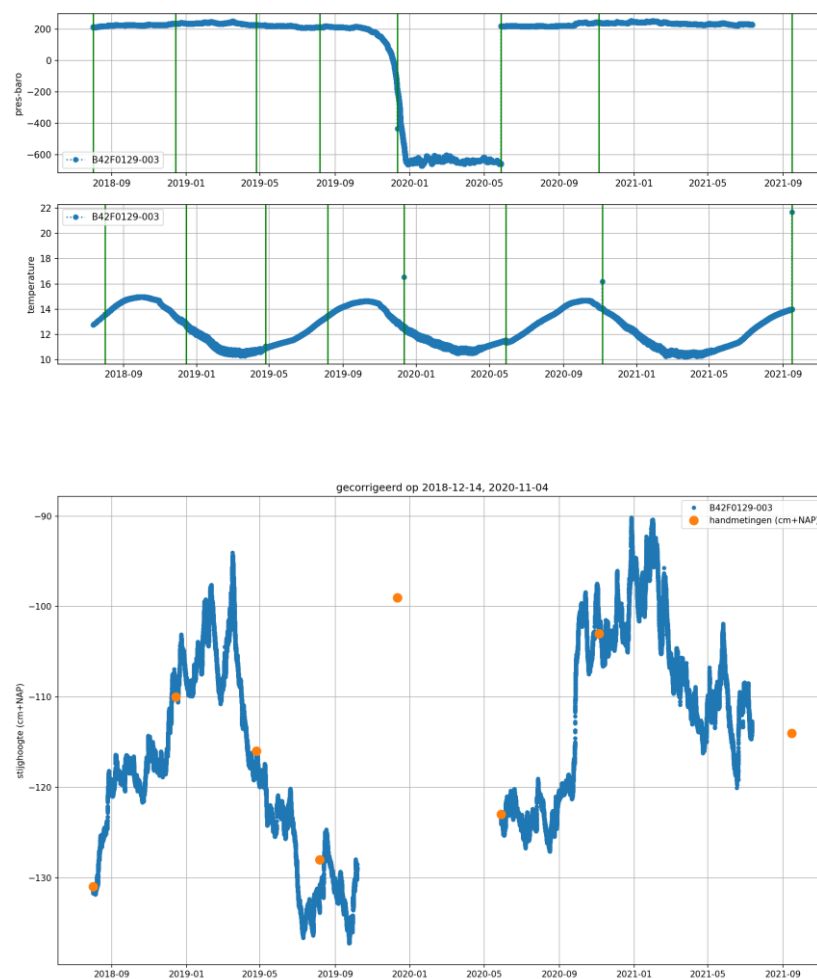
N B42F0129-003 Brouwershaven west

B42F0129 Gemiddelde stijghoogte

Maaiveld (m+NAP): -0.60

Filter BKF (m+NAP) OKF (m+NAP) Formatie Waarde

001	-2.93	-3.93	HL	-2.26	●
002	-7.33	-8.33	HL	-0.38	●
003	-19.61	-20.61	BX	-1.13	●



Figuur 27: Stijghoogten gecombineerd met DINO-database metingen (oranje)

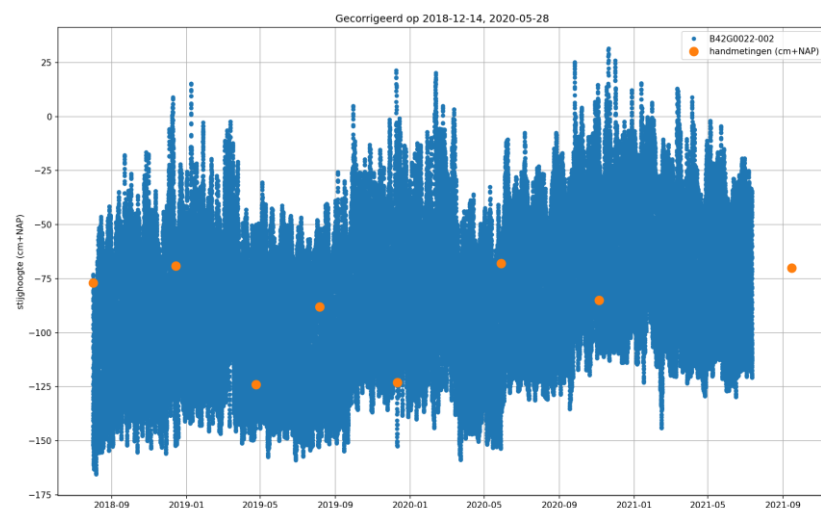
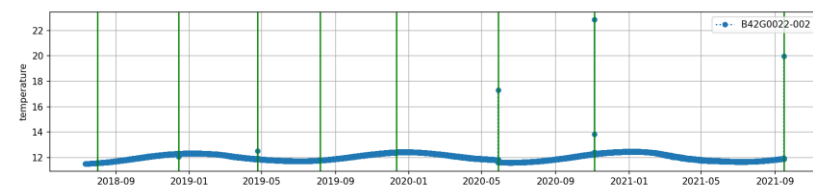
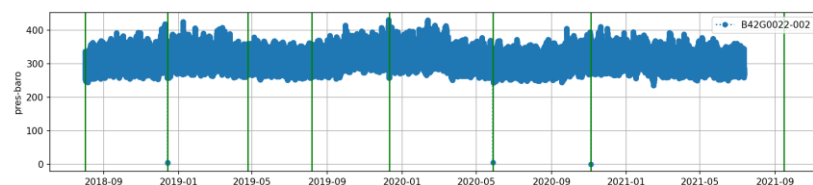
O B42G0022-002 Nabij Oosterschelde

B42G0022 Gemiddelde stijghoogte

Maaiveld (m+NAP): 2.98

Filter BKF (m+NAP) OKF (m+NAP) Formatie Waarde

001	-23.90	-24.90	PZWA	-0.91	●
002	-34.10	-35.10	PZWA	-0.89	●
003	-46.50	-47.50	MS	-1.01	●



Figuur 28: Stijghoogten gecombineerd met DINO-database metingen (oranje)

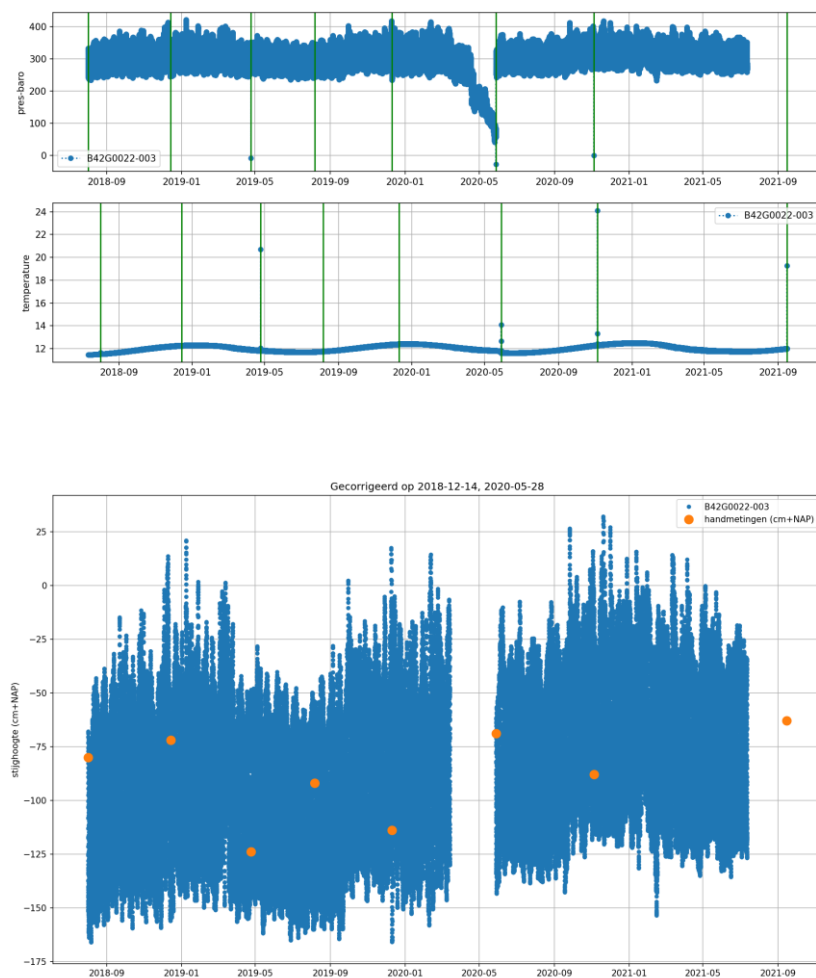
P B42G0022-003 Nabij Oosterschelde

B42G0022 Gemiddelde stijghoogte

Maaiveld (m+NAP): 2.98

Filter BKF (m+NAP) OKF (m+NAP) Formatie Waarde

001	-23.90	-24.90	PZWA	-0.91	●
002	-34.10	-35.10	PZWA	-0.89	●
003	-46.50	-47.50	MS	-1.01	●



Figuur 29: Stijghoogten gecombineerd met DINO-database metingen (oranje)

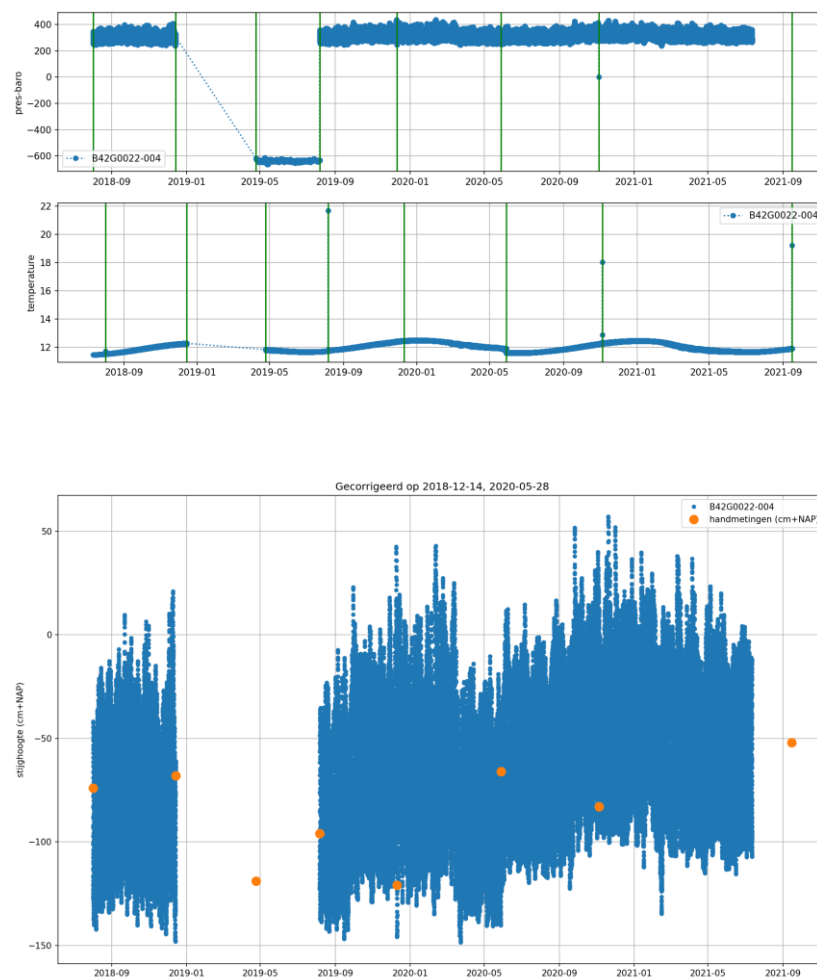
Q B42G0022-004 Nabij Oosterschelde

B42G0022 Gemiddelde stijghoogte

Maaiveld (m+NAP): 2.98

Filter BKF (m+NAP) OKF (m+NAP) Formatie Waarde

001	-23.90	-24.90	PZWA	-0.91	●
002	-34.10	-35.10	PZWA	-0.89	●
003	-46.50	-47.50	MS	-1.01	●



Figuur 30: Stijghoogten gecombineerd met DINO-database metingen (oranje)

R Chloride concentratie

Tabel 3: peilbuizen met chloride concentratie

PUT	BUIS	Top filter (m NAP)	Basis filter (m NAP)	Chloride (mg/l)
B42F0129	1	-2.93	-3.93	482
B42F0129	2	-7.33	-8.33	11698
B42F0129	3	-19.61	-20.61	15761
B42F0024	1	-2.5	-2.7	13849
B42F0024	2	-19	-20	13949
B42F0024	3	-27.5	-28.5	16526
B42F0024	4	-33.3	-34.3	16775
B42F0024	5	-40.8	-41.8	16224
B42F0024	6	-55.7	-56.7	14221
B42F0024	7	-67.7	-68.7	13121
B42F0024	8	-79	-80	13640
B42F0024	9	-88	-89	15647
B42F0024	10	-193.3	-194.3	14690
B42F0024	11	-202.3	-203.3	14690
B42F0024	12	-212.3	-213.3	14690
B42E0042	1	-1.9	-2.1	15000
B42E0042	2	-8.4	-9.4	15000
B42E0042	3	-17.4	-18.4	16000
B42E0042	4	-28.4	-29.4	16000
B42E0042	5	-43.6	-44.6	17500
B42F0022	1	-19.6	-20.6	15100
B42F0022	2	-29.6	-30.6	15700
B42F0022	3	-39.6	-40.6	13900
B42E0262	1	-15.5	-16.5	15100
B42E0262	2	-30.4	-31.4	13000
B42E0262	3	-45.2	-46.2	12000
B42E0265	1	-19.4	-20.4	17390
B42E0265	2	-29.6	-30.6	15277
B42E0265	3	-39.7	-40.7	14668
B42G0022	1	-23.9	-24.9	17390
B42G0022	2	-34.1	-35.1	17553
B42G0022	3	-46.5	-47.5	17335
B42G0022	4	-59.3	-60.3	16931
B42G0022	5	-67.7	-68.7	16725
B42G0022	6	-86	-87	18090
B42G0022	7	-106.8	-107.8	14337

B42G0022	8	-115.8	-116.8	14625
B42G0022	9	-125.8	-126.8	14703
B42G0022	10	-133.8	-134.8	14360
B42G0022	11	-141.8	-142.8	14170
B42G0022	12	-155.8	-156.8	13690