

Beheerscyclus Meet- en regelprotocol Havenmond over het jaar 2021



Vorbereiding: Well Engineering Partners B.V.,
Hoogeveen

Auteur: ir. T.A. Chorus

Versie: 1.1

Publicatiedatum: 5 juli 2022

Goedkeuring: J. Jansen, Frisia Zout B.V.
R. Mastaler, Frisia Zout B.V.



Inhoud

1	Inleiding	1
2	Productiecijfers	2
3	Holruimtemetingen	2
4	Bodemdalingsmetingen.....	3
5	Pleistocene bodemdalingssnelheden	4
6	Toetsing belasting aan de gebruikruimte kombergingsgebied	7
7	Toetsing bodemdalingsprognose	9
8	Zoutproductie met 'Hand aan de kraan'.....	10
9	Actualisering dalingsprognose	10
10	Referenties	11
11	Bijlagen	12
	a) Meet- en regelprotocol Havenmond	12
	b) Overzichtsk kaart van meetnet waterpassingen en positie GPS stations	13
	c) Meetresultaten GNSS stations CGPS1 en CGPS2	14
	d) Gemeten- en gemodelleerde bodemdaling komcentrum HVM-02	15
	e) Finale Pleistocene bodemdaling Havenmond.....	16

1 Inleiding

Volgens het Meet-en regelprotocol zoutwinning Havenmond (ref.1) actualiseert Frisia de bodemdalingsprognoses na elke periodieke GNSS-meetcampagne en waterpassing en in elk geval elke twee jaar, voor een zichtperiode van minimaal 50 jaar. De resultaten worden gerapporteerd en ter beschikking gesteld aan de Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) en het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK).

Naar aanleiding van de in september 2021 uitgevoerde meetcampagne (ref.3) wordt de beheerscyclus, omschreven in het Meet- en regelprotocol, voor de eerste keer uitgevoerd. De deelprocessen (stappen) van deze beheerscyclus zullen in dit rapport worden doorlopen.

De cyclus staat afgebeeld in bijlage a). Het Meet- en regelprotocol heeft betrekking op het winningsplan 'Havenmond'.

2 Productiecijfers

Frisia beschikt over injectie- en productiedata op 10-seconde basis per caveerne. Uit deze meetgegevens kan men het geproduceerde zoutvolume en een volumebalans bepalen. Aan de hand van deze volumebalans kan, als alternatief voor holruimtemetingen, het caveerne- en convergentievolume berekend worden. In Tabel 1 en Tabel 2 is een overzicht gegeven van relevante volumes van de HVM-02 caveerne.

Tabel 1. Berekend convergentievolume op 1 januari per jaartal

HVM-02	jan/20	jan/21	jan/22
Opgelost zout volume (m ³)	0	35,106	401,075
Open caveerne volume (m ³)	0	25,813	299,956
Gebonden pekkel volume in sump (m ³)	0	737	8,423
Convergentie volume (m ³)	0	8,553	92,697

Tabel 2. Berekend convergentievolume ten tijde van de periodieke GNSS-metingen

HVM-02	aug/19	sep/20	sep/21
Opgelost zout volume (m ³)	0	0	317,318
Open caveerne volume (m ³)	0	0	241,315
Gebonden pekkel volume in sump (m ³)	0	0	6,664
Convergentie volume (m ³)	0	0	69,339

Het convergentievolume wordt hierbij berekend door het totale open volume (een combinatie van het open caveernevolume en het gebonden pekkelvolume in de sump) af te trekken van het totale opgeloste zoutvolume (ref. 2).

Onzekerheid wat betreft het opgeloste zoutvolume is zeer klein ($\approx 1\%$) vanwege het nauwkeurige data-acquisitiesysteem waarbij drukken, injectie- en productievolumes elke 10 seconden worden geregistreerd. Echter vanwege het grote volume op lange termijn is deze factor niet te verwaarlozen. Het pekkelvolume gebonden in de poreuze sump daarentegen, valt niet nauwkeurig vast te stellen en heeft daardoor een relatief grote onzekerheid ($\approx 20\%$). Het open caveernevolume wordt indirect berekend met behulp van de volumebalans en is in de loop der jaren geïkt aan holruimtemetingen (met name bij caveerne BAS-4) en heeft aangetoond een goede nauwkeurigheid te hebben ($\approx 5\%$). Met behulp van nauwkeurige holruimtemetingen kan deze onzekerheid in de toekomst worden teruggebracht naar $\approx 3\%$; wanneer meerdere holruimtemetingen op HVM-02 zijn uitgevoerd. De onzekerheid in het berekende convergentievolume is gelijk aan de som van de onzekerheden van de drie bepalende factoren. Voor het jaar 2021 komt dat neer op 20.693 m³ (22%). Dat is een relatief hoog percentage dat past bij de opstartfase van cavernes, waarbij het doel is de cavernes te laten groeien in volume. Wanneer de cavernegroei in snelheid afneemt, zal de onzekerheid op het open caveernevolume stabiliseren en, wanneer het convergentievolume verder toeneemt, de totale, relatieve onzekerheid op het convergentie volume afnemen.

3 Holruimtemetingen

In operationele cavernes worden holruimtemetingen verricht volgens het door SodM vastgestelde meetplan. Dit gebeurt wanneer het convergentievolume sinds de laatste holruimtemeting met meer dan 200.000 m³ is toegenomen. Tabel 3 geeft een overzicht van de holruimtemetingen van de HVM-02 caveerne.

Tabel 3. Overzicht holruimtemetingen

HVM-02	19/mrt/21	23/nov/21
Open caveerne volume (m ³)	49,546	215,362

De holruimtemeting van november 2021 was onvolledig. Vanwege de smalle caveernevorm was het niet mogelijk om een goed te meten in het bovenste deel van de caveerne. De verwachting is dat het daadwerkelijke caveernevolume op dat moment 15% tot 25% hoger lag dan tabel 3 aangeeft.

4 Bodemdalingmetingen

Bodemdaling onder de Waddenzee wordt periodiek met GNSS-techniek gemeten aan de hand van in het Pleistoceen gefundeerde peilmerken op diverse representatieve locaties. Daarnaast worden 2 peilmerken nabij de caveerne(s) continu gemeten, deze hebben een signaleringsfunctie om tijdig afwijkingen ten opzichte van de verwachte bodemdaling te kunnen detecteren. Zowel de periodieke als de continue metingen worden berekend ten opzichte van het referentiepeilmerk Zweins (000A2760). Peilmerk Zweins ligt op ca. 14 km afstand van het Havenmondwinningsgebied en wordt beschouwd als een meetpunt dat buiten het beïnvloedingsgebied van bodemdaling door gas- of zoutwinning ligt.

Een overzichtsk kaart van de meetlocaties en waterpastrajecten is zichtbaar in bijlage b). In Tabel 4 is een overzicht gegeven van de periodiek berekende differentiestaten van de peilmerken ten opzichte van referentiepunt Zweins en ten opzichte van start zoutwinning in september 2020. Een overzicht van de continue GNSS-monitoring is gegeven in Tabel 5, waarin het 16-weken voortschrijdend gemiddelde is berekend. De afstanden van de peilmerken tot het komcentrum van HVM-02 (X = 155.193 m RD, Y = 580.265 m RD) zijn weergegeven in deze tabellen. Een lange termijn grafiek van de continue GNSS-monitoring van meetpunten CGPS1 en CGPS2 is gepresenteerd in bijlage c).

Tabel 4. Overzicht differentiestaten periodieke GNSS-metingen Waddenzee en Harlingen

Naam peilmerk	Puntnummer	Eerste meet datum	Coördinaten		Afstand tot komcentra (m)	Totaal gemeten daling t.o.v. sep-20	
			X (m)	Y (m)		sep-20 (mm)	sep-21 (mm)
Zweins	000A2760	aug/19	169,406	578,653	14,304	0.0	0.0
WPM0A4020	000A4020	aug/19	156,616	576,535	3,992	0.0	-0.7
WPM01	11004	aug/19	156,079	582,682	2,574	0.0	-1.8
WPM02	12004	aug/19	152,764	580,803	2,488	0.0	-5.0
WPM04	14004	aug/19	153,572	579,786	1,690	0.0	-2.7
WPM05	15004	aug/19	153,548	578,643	2,310	0.0	-2.9
WPM06	16004	aug/19	155,635	579,815	631	0.0	-4.0
WPM07	000A02908	aug/19	157,037	576,976	3,771	0.0	-1.3
WPM08	000A02907	aug/19	157,894	578,812	3,067	0.0	-0.7

Tabel 5. Overzicht continue GNSS-monitoring Waddenzee

Naam meetpunt	Eerste meet datum	Coördinaten		Afstand tot komcentra	Totaal gemeten daling t.o.v. sep-20	
		X (m)	Y (m)		sep-20 (mm)	sep-21 (mm)
CGPS1	okt/18	154,275	579,493	1,199	0.0	-3.1
CGPS2	okt/18	155,110	580,961	701	0.0	-5.4
Zweins	okt/18	169,406	578,653	14,304	0.0	0.0

De gemeten bodemdaling bedraagt slechts enkele millimeters waardoor externe factoren en meetfouten een relatief grote invloed kunnen hebben. In augustus 2019 heeft de eerste periodieke GNSS-meting plaatsgevonden. De verschillen tussen de meetresultaten van augustus 2019 en september 2020 (beiden voordat zoutwinning in het gebied heeft plaatsgevonden) variëren tussen de -1.7 en +0.9 mm. Uit berekeningen met continue monitoring voor de Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. (NAM) blijkt dat het 95% betrouwbaarheidsinterval van de resultaten uit GNNET (de netwerkmodellering waarin de Havenmond GPS-opstellingen in op zijn genomen) op 1.2 mm zit (ref.3). Dit wil zeggen dat 95% van de berekende resultaten binnen een bandbreedte van 2.4 mm schommelen. Om deze reden worden gedurende een langere tijdreeks, doorgaans 7 dagen, metingen uitgevoerd waardoor in de meeste gevallen een sub-millimeternauwkeurigheid bereikt kan worden. Externe factoren zoals het nazetten van peilmerken of effecten van gaswinning zijn hiermee echter niet uitgesloten.

De meest voor de hand liggende uitschieter in september 2021 was peilmerk WPM02 (12004) die de grootste daling van de peilmerken vertoonde met een 5.0 mm daling op een afstand van 2.5 km van het komcentrum HVM-02. Vergelijkbare peilmerken WPM01 en WPM05 op respectievelijk 2.6 en 2.3 km afstand laten een daling van 1.8 en 2.9 mm zien. Het is daardoor aannemelijk dat peilmerk WPM02 beïnvloed is door externe factoren.

5 Pleistocene bodemdalingssnelheden

De Pleistocene bodemdalingssnelheid $S(J)$ van een kombergingsgebied kan op twee manieren bepaald worden. Bij de eerste methode wordt de bodemdalingssnelheid berekend met behulp van het convergentievolumen op basis van de productiecijfers en holruimtemetingen. Bij de tweede methode wordt de bodemdalingssnelheid berekend aan de hand van een kommodel dat met behulp van de periodieke GNSS-metingen is geoptimaliseerd. De Pleistocene bodemdaling $S(J)$ wordt bepaald per 1 januari van elk kalenderjaar. Omdat de periodieke GNSS-metingen uitgevoerd zijn in september van het kalender jaar, geeft een combinatie van beide methoden het beste resultaat. Hierbij wordt een kommodel geoptimaliseerd ten tijde van de periodieke GNSS-metingen, en worden de geoptimaliseerde komparameters toegepast om een kommodel te maken met het convergentievolumen op 1 januari.

De vorm en omvang van de bodemdalingsskom van een convergerende caverne kan worden beschreven met een cirkel symmetrisch Gaussisch model (ref.2) volgens:

$$w(x, y) = w_{max} \exp(-\gamma r^\delta)$$

In deze formule is $w(x, y)$ de daling op locatie (x, y) , w_{max} de maximum bodemdaling in het centrum (x_0, y_0) van de dalingskom, γ (gamma) een empirische parameter die de afvlakking van de kom bepaalt, δ (delta) een empirische parameter die de steilheid van de kom bepaalt en r de horizontale afstand van een willekeurige positie (x, y) tot het centrum van de kom (x_0, y_0) . Optimalisatie vindt plaats door komparameters w_{max} , γ en δ te berekenen met de kleinste kwadraten rekenmethode waardoor er een 'best fit' ontstaat van het kommodel ten opzichte van de GNSS-metingen.

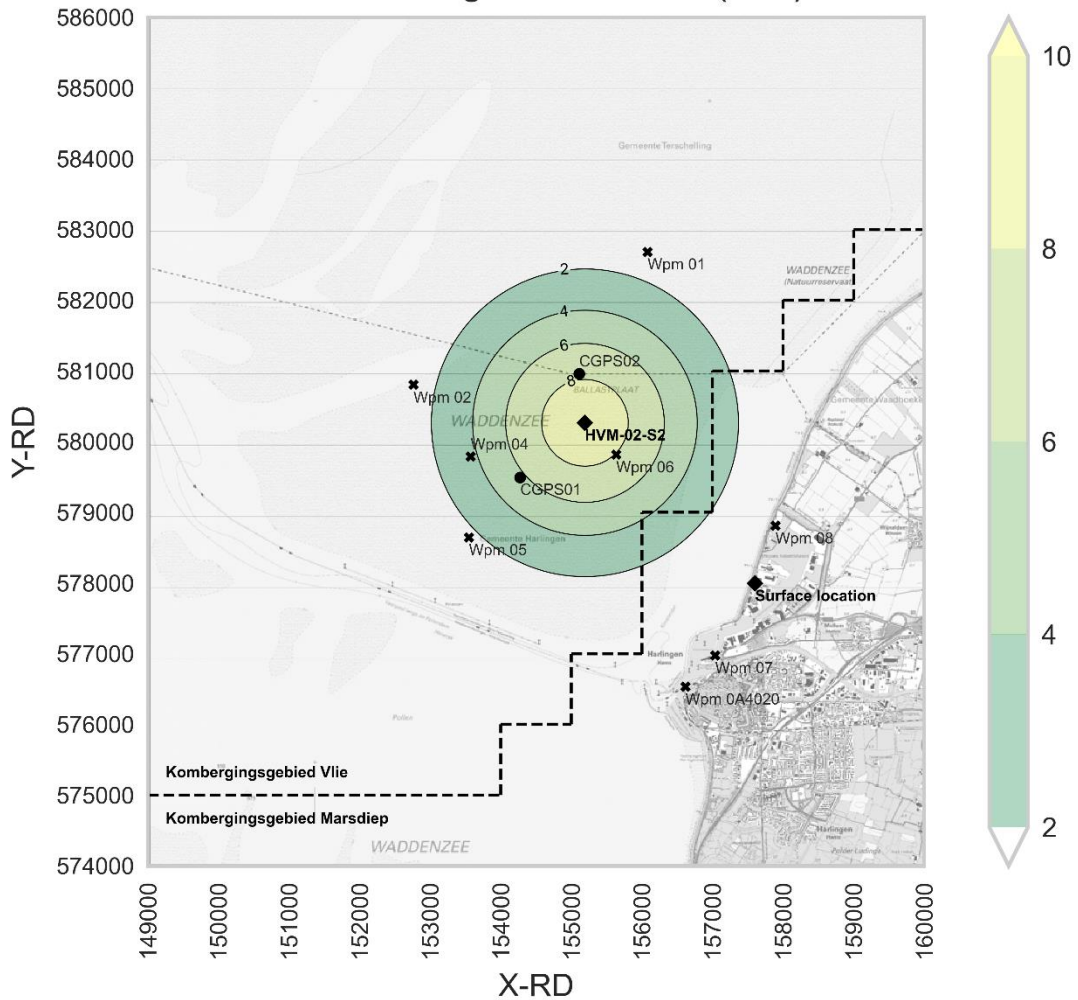
Het optimaliseren van komparameters voor september 2021 blijkt echter lastig te zijn. Omdat de gemeten bodemdaling klein is (waardoor externe factoren en/of meetfouten grote invloed kunnen hebben) is er voor gekozen om voor deze beheerscyclus geen verdere optimalisatie van komparameters γ en δ uit te voeren. In plaats daarvan worden komparameters $\gamma = 4.35 \cdot 10^{-7}$ en $\delta = 1.96$ toegepast gebaseerd op kommodellen van Barradeel en Barradeel II (ref.2). In bijlage d) is een grafische weergave gegeven van het kommodel en de GNSS-metingen. In Tabel 6 heeft een overzicht van de komparameters en bijbehorende kom- en convergentie volumes in September 2021.

Tabel 6. Komparameters, kom- en convergentie volume September 2021

September 2021	HVM-02 kom
X-coördinaat (m RD)	155,193
Y-coördinaat (m RD)	580,265
Gamma	4.35E-07
Delta	1.960
W_{\max} (mm)	5.5
Gemodelleerd komvolume (m ³)	54,350
Convergentie volume (m ³)	69,339
Daling / convergentie volume (mm/m ³)	7.79E-05
Komvolume / convergentie volume (%)	78.4%
Kleinste kwadraten afwijking (mm)	0.99

De verhouding tussen het komvolume en het convergentievolumen bouwt, op basis van ervaring van Barradeel en Barradeel II, in de loop der productie tijd op richting de 95%. Voor lange termijn dalingsprognoses wordt bij voorkeur rekening gehouden met een verhouding van 100% waarbij $V_{\text{kom}} = V_{\text{con}}$. Het volume van de bodemdalingskom kan niet groter worden dan het volume van de caverneconvergentie. Gedurende de eerste jaren ligt het percentage echter lager, door gesteenterek zal een deel van het convergentievolumen vertraagd gemeten worden aan het maaiveld. Een toepassing van de 78.4% komvolume / convergentie volumeverhouding uit september 2021 op het convergentievolumen van 1 januari 2022 resulteert in een bodemdalingskomvolume van 72.658 m³. In figuur 1 is een kaart gepresenteerd met de gemodelleerde Pleistocene bodemdaling op 1 januari 2022.

Gemodelleerde contourenkaart Pleistoceen bodemdaling Januari 2022 zoutwinning Havenmond (mm)



Figuur 1. Gemodelleerde Pleistocene bodemdaling januari 2022

De Pleistocene bodemdalingssnelheid $S(J)$ wordt berekend door het komvolume dat binnen het bodemdalingsgebied ligt te delen door de oppervlakte van dat gebied. De oppervlakte van kobergingingsgebied Vlie bedraagt 668 km^2 , die van kobergingingsgebied Marsdiep 712 km^2 . Tabel 7 geeft een overzicht van de komvolumes en bodemdalingssnelheden per kobergingingsgebied.

Tabel 7. Bodemdalingssnelheden per kobergingingsgebied voor het jaar 2021

Kobergingingsgebied	Komvolume	Percentage	Gemiddelde
			bodemdalingsnelheid
	m^3	%	mm/jaar
Vlie	66,556	91.6%	0.10
Marsdiep	5,453	7.5%	0.01
Vaste land	650	0.9%	n.v.t.
Totaal	72,658		

6 Toetsing belasting aan de gebruiksruimte kombergingsgebied

De belasting van de gebruiksruimte $B(J)$ van een kalenderjaar J wordt gedefinieerd als:

$$B(J) = \frac{S(J-3) + S(J-2) + S(J-1) + S(J) + S(J+1) + S(J+2)}{6}$$

Hierbij worden de toekomstige dalingssnelheden $S(J+1)$ en $S(J+2)$ ontleend aan de bodemdalingsprognose gebaseerd op de actueel geldige productieprognose. Voor deze kortetermijn bodemdalingsprognose wordt $V_{\text{kom}} = 95\% V_{\text{con}}$ gehanteerd zoals omschreven in hoofdstuk 5.

De belasting door zoutwinning en gaswinning dient binnen de beschikbare gebruiksruimte G van het betreffende kombergingsgebied te blijven. De gebruiksruimte G wordt gedefinieerd door het meegroeivermogen M van het kombergingsgebied en de relatieve zeespiegelstijging Z_{rZSS} als:

$$G(J) = M - Z_{rZSS}(J)$$

Het meegroeivermogen M voor zowel kombergingsgebied Vlie als kombergingsgebied Marsdiep is vastgesteld op 5 mm/jaar. Voor zeespiegelstijging wordt er rekening gehouden met 2.4 mm/jaar tot 2026 (beleidsscenario), toenemend tot 4.5 mm/jaar in 2050 (richtscenario) (ref.4). Gaswinning van het Zuidwal-gasveld in begin 2021 is stilgelegd. Tot en met 2020 was er sprake van een gaswinning bodemdaling snelheid van 0.42 mm/jaar in kombergingsgebied Vlie (ref.5). Na-ijlende bodemdaling is voor enkele jaren verwacht, alhoewel de kwantiteit daarvan nog onbekend is. Op dit moment geldt er nog een reservering voor toekomstige gaswinning onder het kombergingsgebied Vlie.

Een overzicht waarin de belasting in 2021 is berekend voor kombergingsgebied Vlie is gegeven in Tabel 7 en voor kombergingsgebied Marsdiep in Tabel 8. In deze overzichten wordt een inschatting gemaakt van na-ijlende gaswinning bodemdaling. Aangezien de belasting wordt berekend aan de hand van een 6-jaarlijks gemiddelde is er in 2018 en 2019 al sprake van een zoutwinning belasting terwijl in 2020 pas de productie gestart is.

Tabel 8. Belasting kombergingsgebied Vlie 2021. *: Inschatting na-ijlende gaswinning bodemdaling

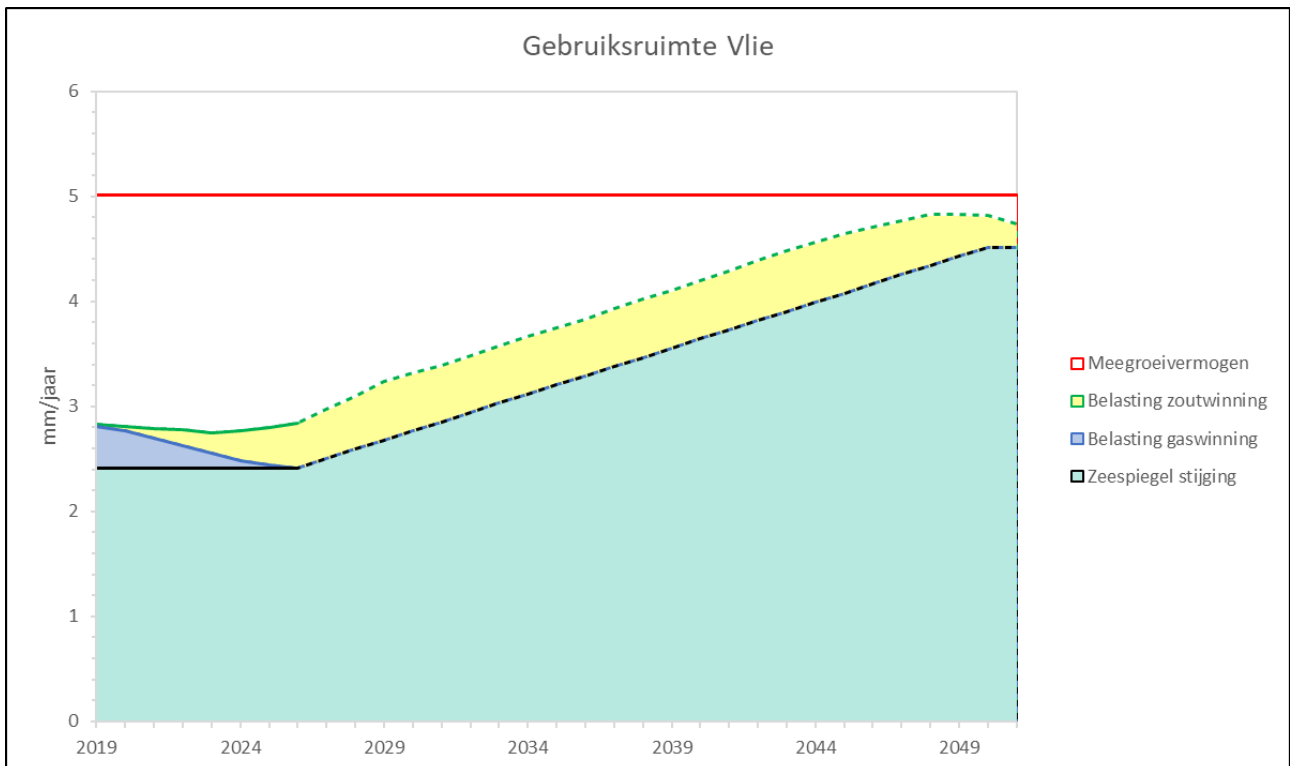
Kombergingsgebied Vlie			(J-3)	(J-2)	(J-1)	(J)	(J+1)	(J+2)
Jaar	J	-	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Meegroeivermogen	M	mm/jaar	5	5	5	5	5	5
Zeespiegelstijging	Z_{rZSS}	mm/jaar	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
Gebruiksruimte	G	mm/jaar	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
Bodemdalingsnelheid gaswinning	S_{gas}	mm/jaar	0.42	0.42	0.42	0.28*	0.14*	0*
Belasting gaswinning	B_{gas}	mm/jaar	0.42	0.40	0.35	0.28	0.21	0.14
Bodemdalingsnelheid zoutwinning	S_{zout}	mm/jaar	0	0	0	0.12	0.19	0.28
Belasting zoutwinning	B_{zout}	mm/jaar	0	0.02	0.05	0.10	0.15	0.19
Belasting totaal	B	mm/jaar	0.42	0.41	0.40	0.38	0.36	0.33

Tabel 9. Belasting kombergingsgebied Marsdiep 2021

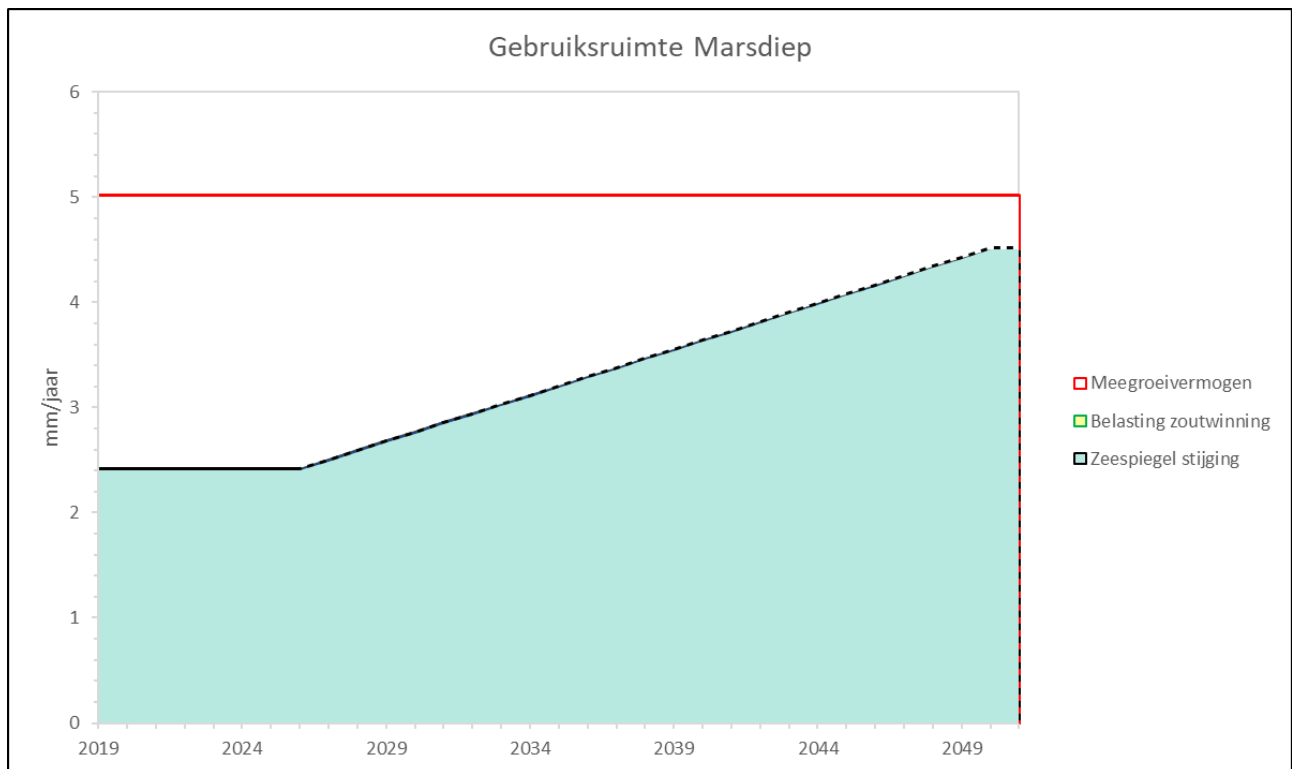
Kombergingsgebied Marsdiep			(J-3)	(J-2)	(J-1)	(J)	(J+1)	(J+2)
Jaar	J	-	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Meegroeivermogen	M	mm/jaar	5	5	5	5	5	5
Zeespiegelstijging	Z _{rZSS}	mm/jaar	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
Gebruiksruimte	G	mm/jaar	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
Bodemdalingsnelheid	S	mm/jaar	0	0	0	0.01	0.01	0.02
Belasting	B	mm/jaar	0	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01

Gebaseerd op het productiescenario van het winningsplan Havenmond kan ook een schatting gemaakt worden van de toekomstige belastingen. Hierbij wordt de start van de winning, ten opzichte van het winningsplan, naar 2020 verzet. Ook is HVM-02 als eerste in productie genomen in plaats van HVM-01. Zoals omschreven in hoofdstuk 5 wordt voor lange-termijn dalingsprognoses rekening gehouden met $V_{kom} = 100\% V_{con}$. De resulterende gebruiksruimte figuren zijn gepresenteerd in Figuur 2 en Figuur 3.

Na 2026 is er sprake van een richtscenario waarbij nog geen gebruiksruimte is vastgesteld. Wel kan er een inschatting gemaakt worden van de gebruiksruimte door middel van een lineaire stijging van de verwachte zeespiegelstijging tussen 2026 (2.4 mm/jaar) en 2050 (4.5 mm/jaar). Er worden hieraan geen rechten dan wel plichten aan ontleend.



Figuur 2. Gebruiksruimte Vlie. Inschatting gebruiksruimte na 2026 (stippellijnen)



Figuur 3. Gebruiksruimte Marsdiep. Inschatting gebruiksruimte na 2026 (stippellijnen)

7 Toetsing bodemdalingsprognose

Toetsing van de bodemdalingskomvorm kan in deze beheerscyclus nog niet geanalyseerd worden. Zoals in hoofdstuk 5 omschreven is, is de bodemdaling te klein om kom parameters γ en δ te optimaliseren. Wel kan het gemeten Pleistocene bodemdalingsvolume vergeleken worden met de bodemdalingsprognose uit het winningsplan Havenmond. Wanneer de start van zoutwinning wordt verzet naar 2020 in plaats van 2015, zoals aangegeven in het winningsplan, zou in 2020 een Pleistocene bodemdaling van 4 mm plaatsvinden in het diepste punt. In 2021 zou een daling van 25 mm plaatsvinden, equivalent aan een komvolume van 248.181 m³. De daadwerkelijk gemeten bodemdaling zit daar flink onder. In 2020 is nog geen bodemdaling gemeten, in 2021 is een komvolume berekend van 92.697 m³ dat equivalent is aan een kom met een diepste punt van 9 mm.

De daadwerkelijke bodemdaling loopt achter op de bodemdalingsprognose vanwege twee redenen. Ten eerste is, zoals in hoofdstuk 5 omschreven, sprake van een vertragende werking van bodemdaling door gesteente rek. In 2021 is 78.4% van het komvolume / convergentie volume gemeten, terwijl in de bodemdalingsprognose conservatief rekening wordt gehouden met 100%. Ten tweede is het daadwerkelijke convergentievolume gedurende de eerste jaren van caverneontwikkeling lager dan de bodemdalingsprognose van het winningsplan. Dit komt omdat er in de bodemdalingsprognose van het winningsplan een simplificatie van de cavernegroei is toegepast waarbij het cavernevolumen lineair groeit. In werkelijkheid groeit de caverne het snelst gedurende de eerste productie jaren waarna een stabiel cavernevolumen bereikt wordt. Wanneer het cavernevolumen groeit, neemt het convergentievolumen minder snel toe. Dit heeft als gevolg dat minder bodemdaling zal optreden in het begin en meer bodemdaling zal plaatsvinden op het einde van de productieperiode, ten opzichte van het winningsplan. Dit kan een effect hebben van ≈ 0.25 mm/jaar (lagere bodemdalingssnelheid) gedurende de eerste jaren en ≈ 0.10 mm/jaar (hogere bodemdalingssnelheid) gedurende de laatste jaren van een productieperiode.

8 Zoutproductie met 'Hand aan de kraan'

Volgens het 'Hand aan de kraan' principe zal Frisia de zoutwinning verminderen bij een dreigende overschrijding van de gebruiksruimte. Hierbij hoort een remwegscenario waarmee de bodemdalingssnelheid en de belasting van het kombergingsgebied tijdig wordt gereduceerd om binnen de vastgestelde gebruiksruimte te blijven. Op basis van hoofdstukken 6 en 7 kan het volgende worden geconcludeerd:

- De gemeten en gemodelleerde bodemdaling blijft in 2021 binnen de gebruiksruimte van kombergingsgebieden Vlie en Marsdiep.
- In kombergingsgebieden Vlie en Marsdiep is voldoende gebruiksruimte beschikbaar voor voortzetting van de zoutwinning.
- Er zijn op dit moment geen benodigdheden om het productiescenario aan te passen.

9 Actualisering dalingsprognose

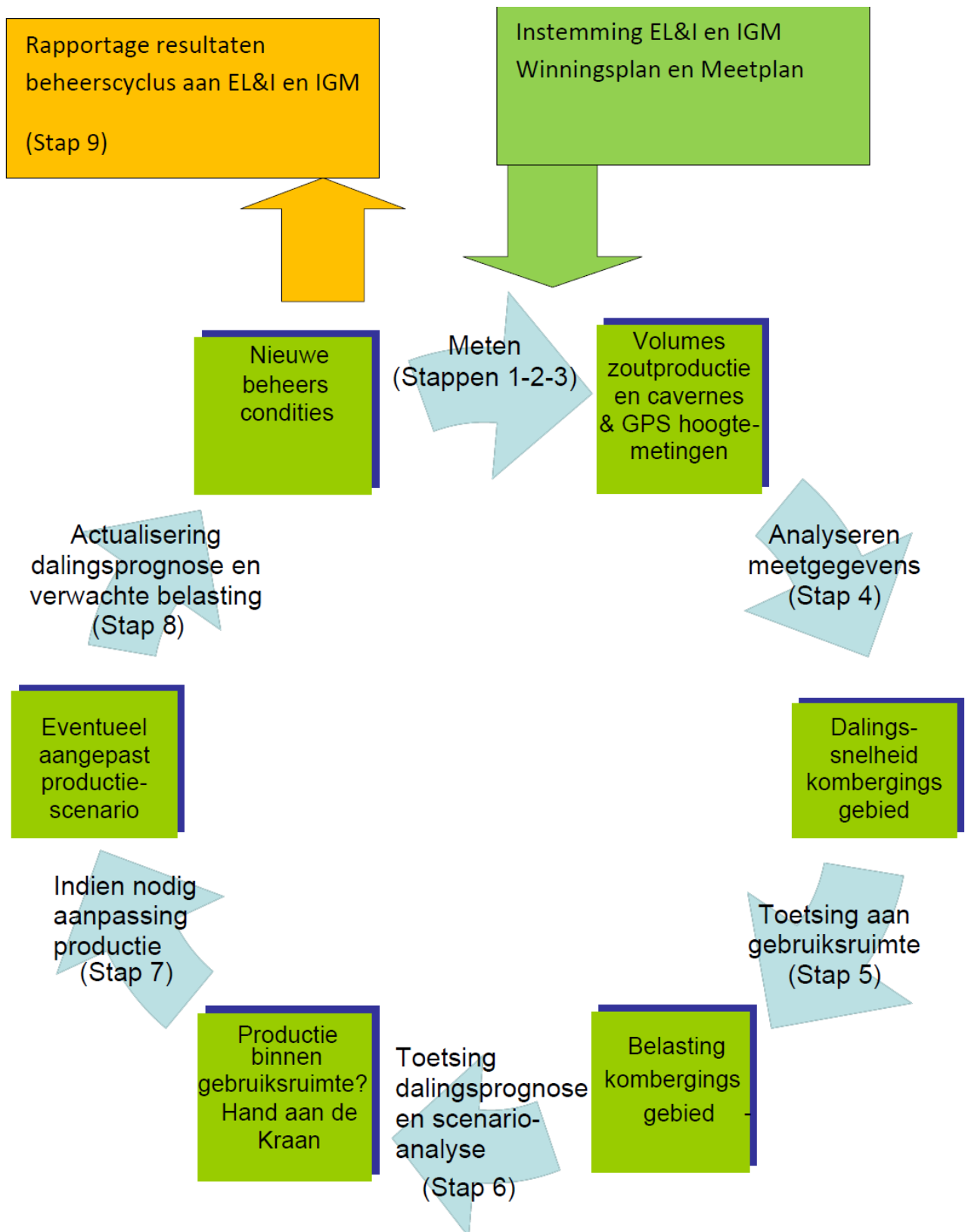
Er zijn geen nieuwe vervolgsenario's voor zoutproductie vastgesteld. De lange termijn belasting van de kombergingsgebieden is gegeven in Figuur 2 en Figuur 3. In bijlage e) is de finale Pleistocene bodemdaling gepresenteerd, gebaseerd op het winningsplan.

10 Referenties

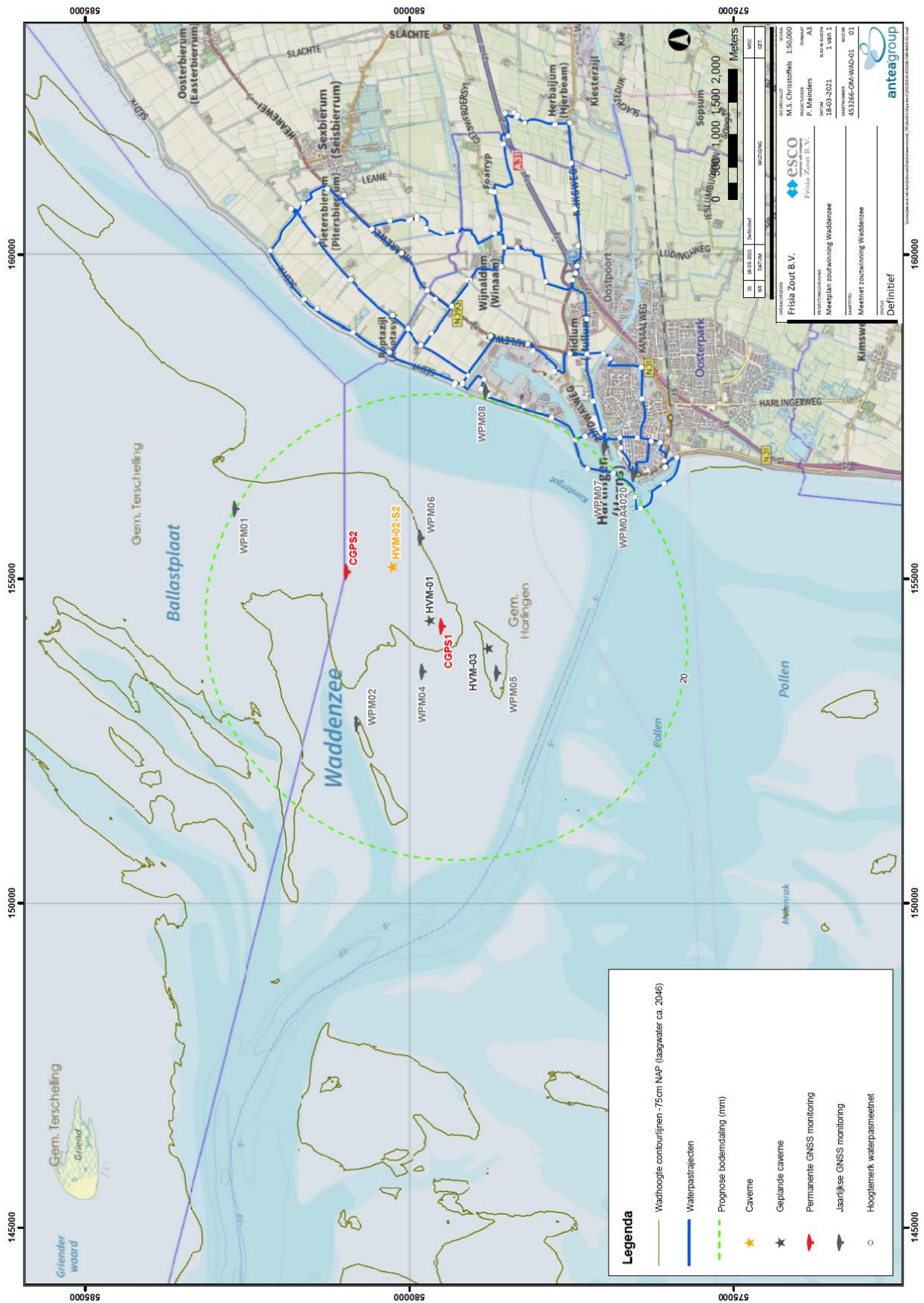
1. Meet- en regelprotocol zoutwinning 'Havenmond' in de Waddenzee v.2, Frisia Zout B.V., 18 oktober 2012
2. Technische Bijlage bij Meet- en regelprotocol zoutwinning 'Havenmond' v.3.3, Frisia Zout B.V., 11 November 2015
3. Monitoring bodemdaling zoutwinning Waddenzee Jaarrapportage 2021 revisie 01, Antea Group, 25 maart 2022
4. Advies beleids- en richtscenario relatieve zeespiegelstijging Waddenzee, Universiteit Utrecht, 18 december 2020
5. Bodemdaling statusrapport 2020 – Drenthe Overijssel Friesland versie 1.1, Vermilion Energy Netherlands B.V., 1 juli 2020

11 Bijlagen

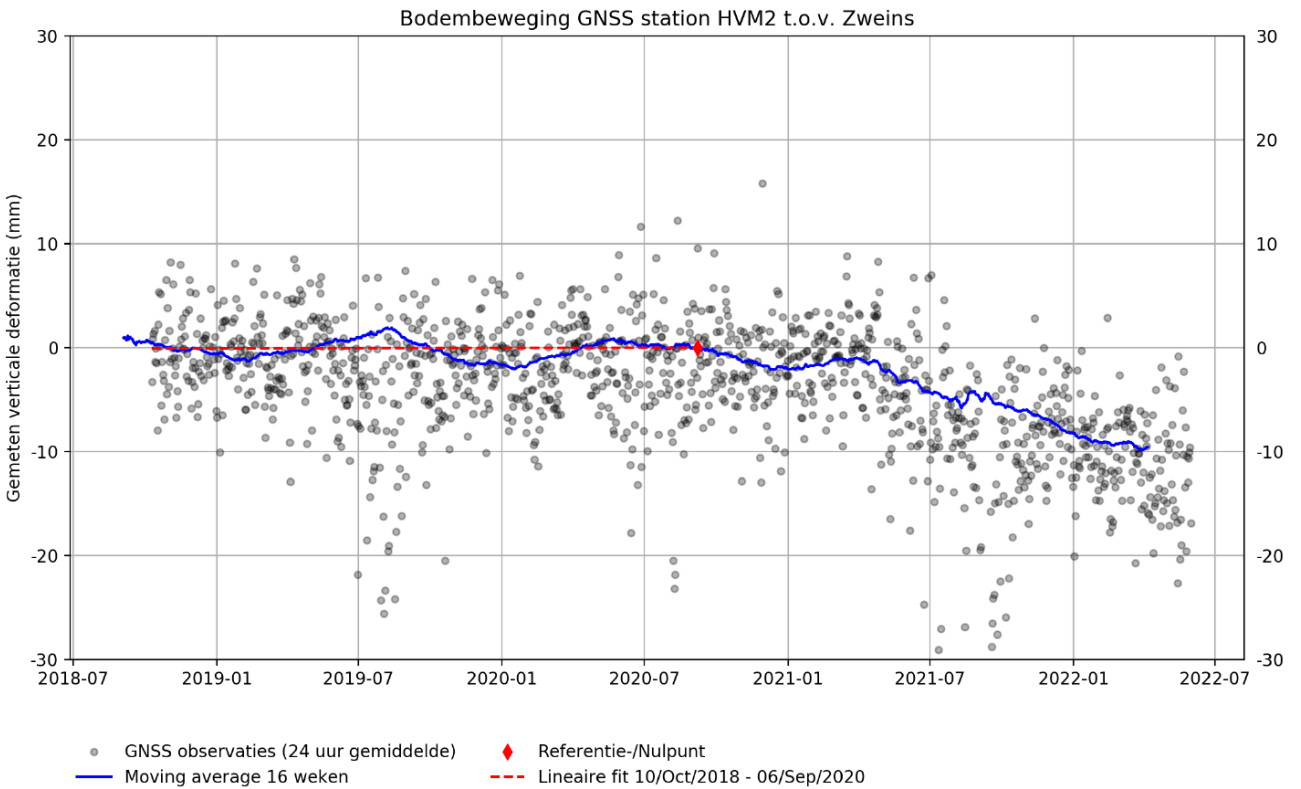
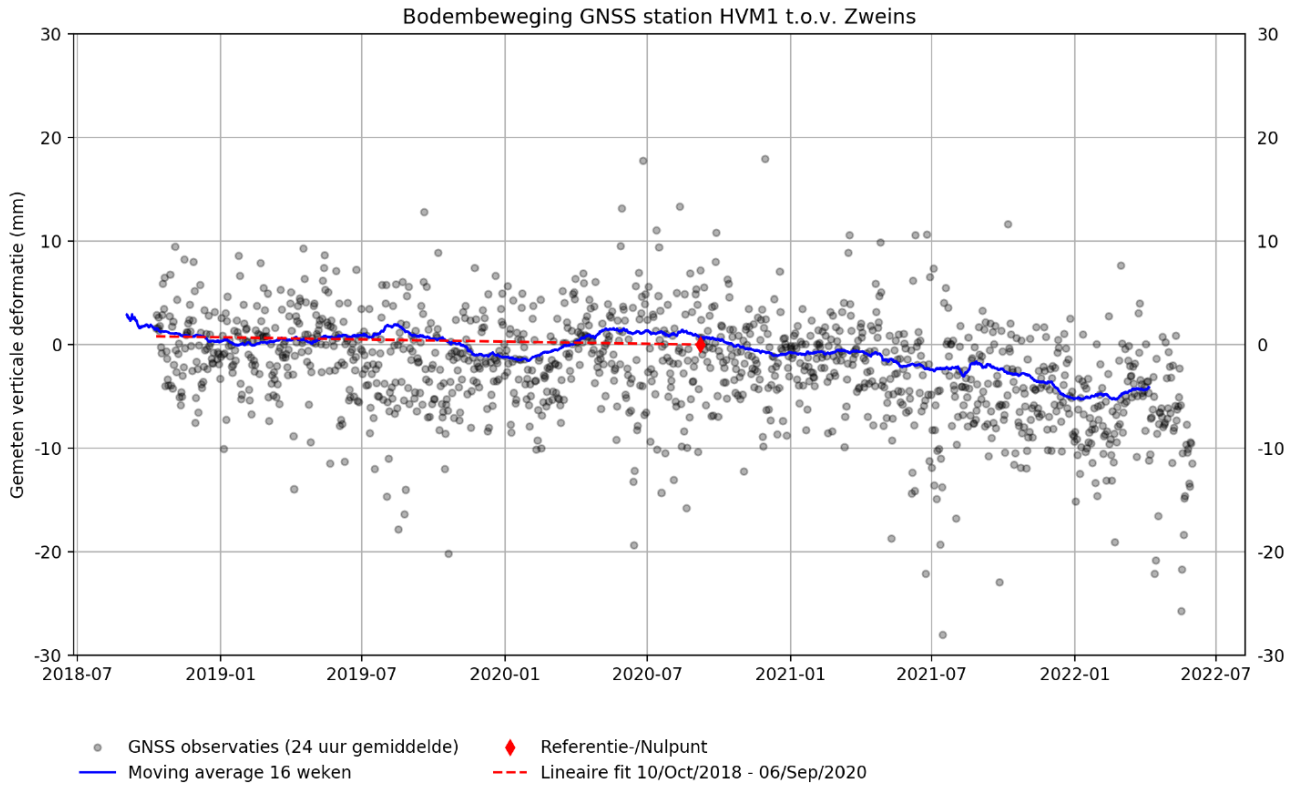
a) Meet- en regelprotocol Havenmond



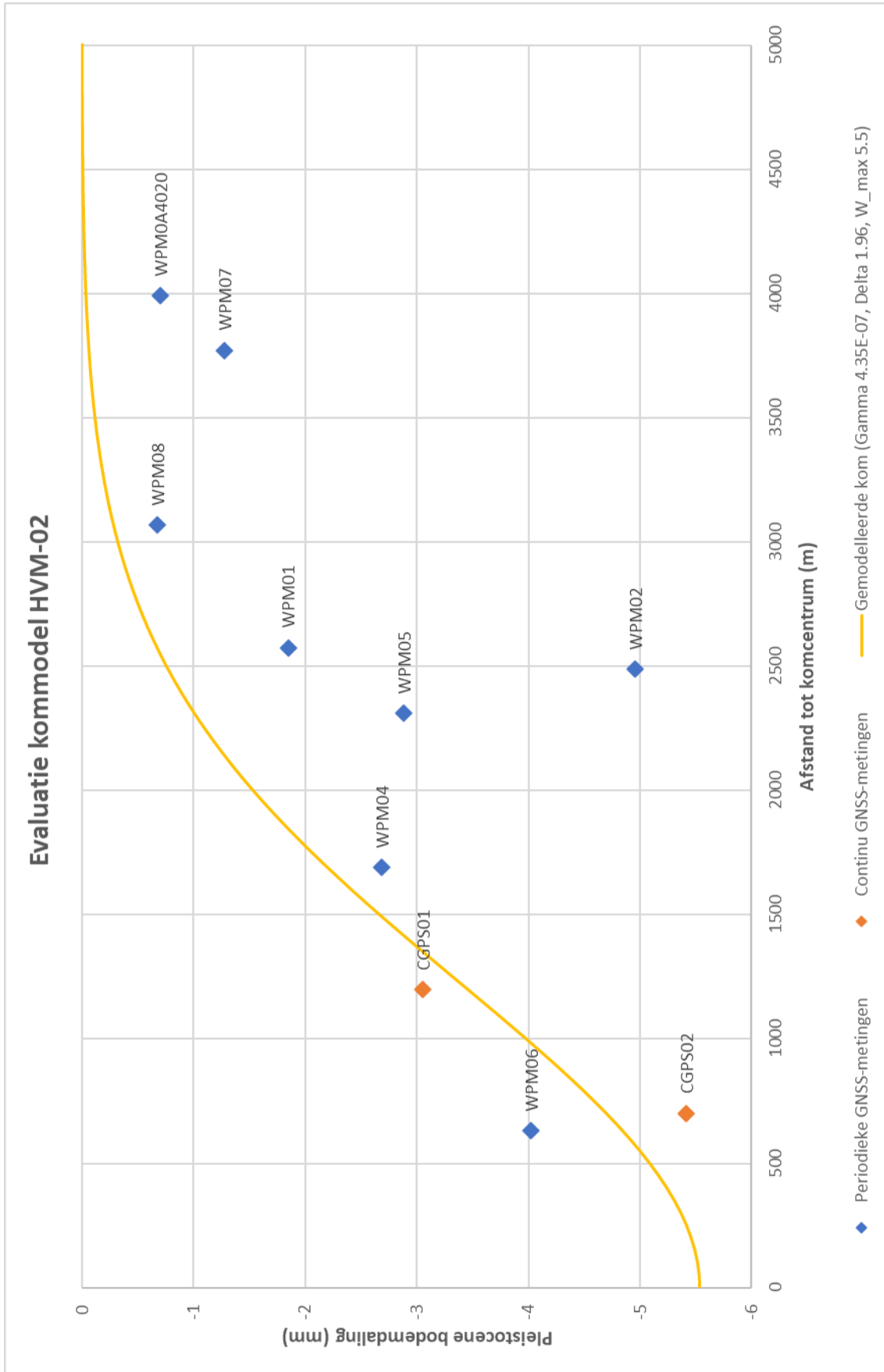
b) Overzichtskaart van meetnet waterpassingen en positie GPS stations



c) Meetresultaten GNSS stations CGPS1 en CGPS2



d) Gemeten- en gemodelleerde bodemdaling komcentrum HVM-02



e) **Finale Pleistocene bodemdaling Havenmond**

Prognose bodemdalingskom 4 cavernes (in mm)

