

## 5.1.2.e

PER E-MAIL

Rijkswaterstaat Grote Projecten en Onderhoud  
Gebouw Westraven  
18e verdieping Westraven  
T.a.v. [REDACTED]  
Postbus 2232  
3500 GE UTRECHT

**Datum**

8 februari 2023

**Contactpersoon**

[REDACTED]

**Ons kenmerk**

11209150-006-GEO-0001

**Doorkiesnummer**

+ [REDACTED]

**E-mail**

[REDACTED]@deltares.nl

**Aantal pagina's**

1 van 26

**Onderwerp**

Waterdruk voor ontwerp vervangende fundering toerit Prinses Margrietunnel

Geachte heer [REDACTED],

## 1 Inleiding

### 1.1 Algemeen

Op dinsdag 13 december 2022 stelde een weginspecteur van Rijkswaterstaat schade aan het asfalt vast bij moot 26 van de Noordelijke toerit van de Prinses Margrietunnel. Moot 26 bleek opgedreven. Dit proces is het door plaatsen van ballast gestabiliseerd en waarna voor de overige delen van de toeritten ook veiligheidsverhogende ballast is aangebracht. Rijkswaterstaat heeft Deltares gevraagd een advies uit te brengen voor de aan te houden stijghoogte voor het ontwerp van de vervangende paalfundering.

### 1.2 Situatie

De onderzijde van de diepste delen van de toeritten en de zinktunnel bevinden zich in het Pleistocene zand, hier direct boven bevindt zich over het geheel gezien een slecht doorlatende laag, de Drenthe klei. Hier weer boven bevindt zich een Holocene zandlaag met daarboven tot aan het maaiveld is over het geheel gezien een Holocene slecht doorlatende laag aanwezig. Direct naast en onder de toeritten en zinktunnel is Antropogene grond aanwezig. Dit betreft onder de toeritten en de tunnel een zandlaag en naast de toeritten en de zinktunnel de grondaanvulling van de bouwputten en zinksleuf. De waterdruk onder de toeritten wordt beheerst door de stijghoogte in het Pleistocene zand.

## 1.3 Aanpak

Als eerste wordt met behulp van het grondwatermodel een analyse gemaakt van de te verwachten maximale stijghoogten onder de toeritten van de tunnel. Vervolgens worden conform de NEN1990 de karakteristieke en rekenwaarden van de stijghoogten bepaald op basis van een extreme waardeanalyse op de beschikbare langjarige peilbuismetingen in de nabije omgeving. In het laatste hoofdstuk worden de geadviseerde waarden voor het ontwerp gepresenteerd.

# 2 Maximale stijghoogten op basis van modelberekeningen

## 2.1 Methode

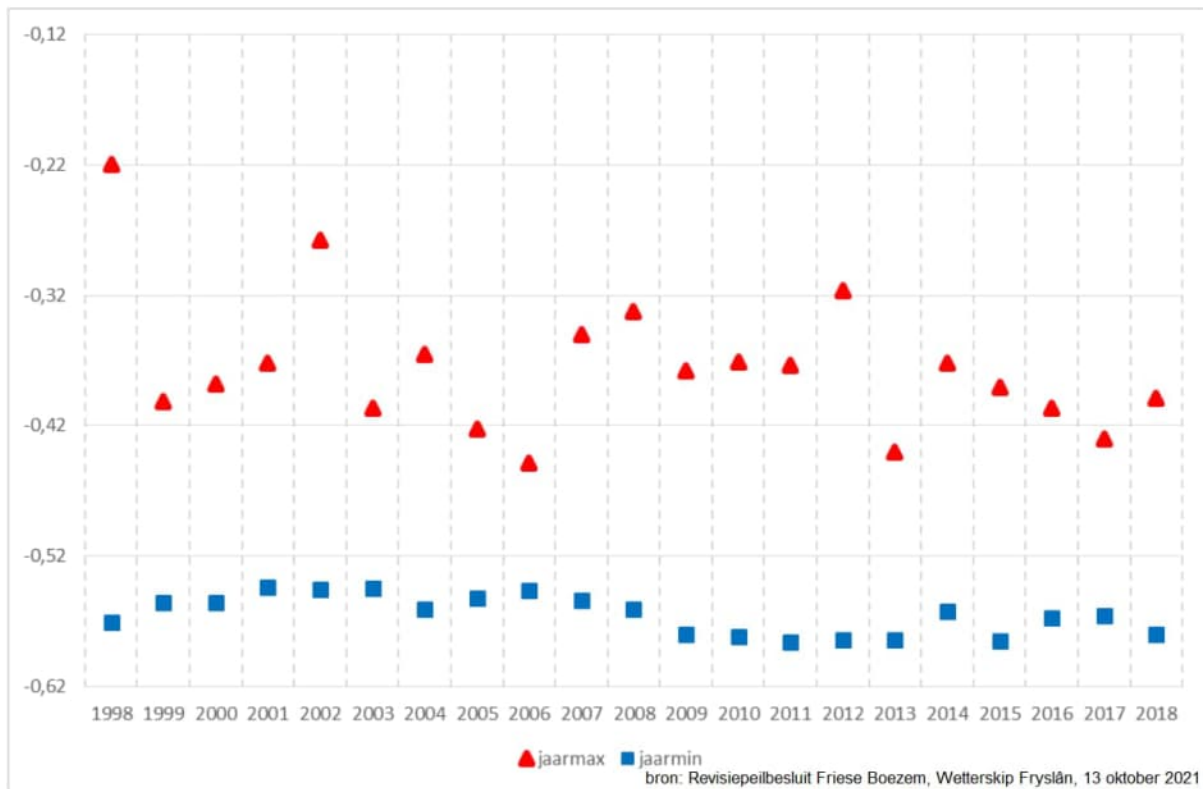
De berekeningen voor de bepaling van de waterdruk onder de weg zijn uitgevoerd met het grondwatermodel dat voor het bemalingsadvies is opgezet. Dat is een stationair model dat bij benadering uitgaat van de gemiddelde stijghoogten van het grondwater in de diverse watervoerende lagen.

Voor de bepaling van de waterdruk onder de toeritten is de stijghoogte in het zandpakket onder de Drenthe klei maatgevend. De bovenzijde van dat zandpakket ligt bij de tunnel op circa NAP -13 m. De stijghoogte in dat pakket kan in de tijd variëren en dus lager, maar ook hoger worden dan het gemiddelde zoals dat met het model is berekend. Voor het ontwerp van de weg zijn vooral de hoogste stijghoogten maatgevend. De vraag is hoeveel de hoogste stijghoogten boven het gemiddelde kunnen uitkomen. Verhoging van de stijghoogte in het zandpakket onder de Drenthe klei kan worden veroorzaakt door ondermeer stijging van de oppervlaktewaterpeilen, toename van de neerslag en stopzetten van grondwaterwinningen in de nabije omgeving.

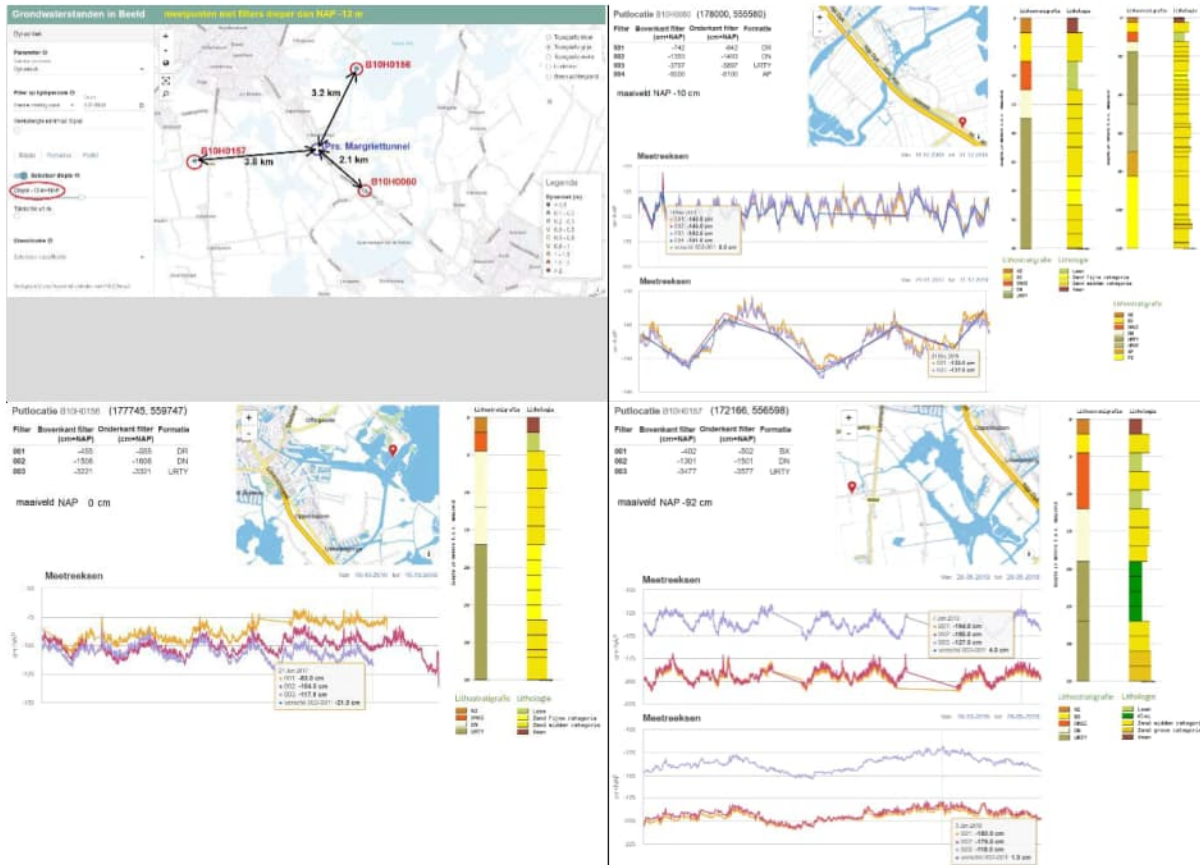
Volgens het grondwaterregister van Provincie Friesland zijn er geen relevante grondwaterwinningen in de nabije omgeving van de Prinses Margriettunnel (Figuur 1). Uit gegevens van het waterschap blijkt dat het streefpeil van de Friese boezem NAP -0,52 m is en de als normaal beschouwde variatie daarvan ligt tussen NAP -0,29 m en NAP -0,66 m. De maximaal gemeten waterstand in de laatste 25 jaar ligt daar met NAP -0,22 m iets boven (Figuur 2). De polderwatersloten rondom de tunnelingang aan de noordzijde van het kanaal hebben een streefpeil in de zomer van NAP -1,50 m en in de winter van NAP -1,70 m. Aan de zuidzijde van het kanaal zijn zomer- en winter-streefpeilen beide NAP -1,95 m. Door hevige neerslag kunnen de waterpeilen in deze sloten tijdelijk meer stijgen dan de maximale stijging van het waterpeil in de Friese boezem. Door de kleiige en venige deklaag is het effect van deze peilvariaties op de stijghoogte in de onderliggende zandlagen een stuk kleiner. Figuur 3 geeft voor drie meetpunten met filters in het watervoerend pakket onder de Drenthe klei het verloop van de stijghoogte in dat pakket van de afgelopen jaren. De maximaal gemeten stijghoogten in deze meetpunten zijn ongeveer 25 cm hoger dan de gemiddeld gemeten stijghoogten. In de zandlagen daarboven en daaronder zijn de stijghoogtevariaties vergelijkbaar van grootte. De stijghoogten zijn in de winter hoger dan gemiddeld en in de zomer lager dan gemiddeld.



Figuur 1 Locatie grondwaterwinningen in de nabije omgeving van de Prinses Margriet tunnel.



Figuur 2 Jaarmaxima en jaarminima gemiddelde boezemwaterstand (tijdvak 1998-2018).

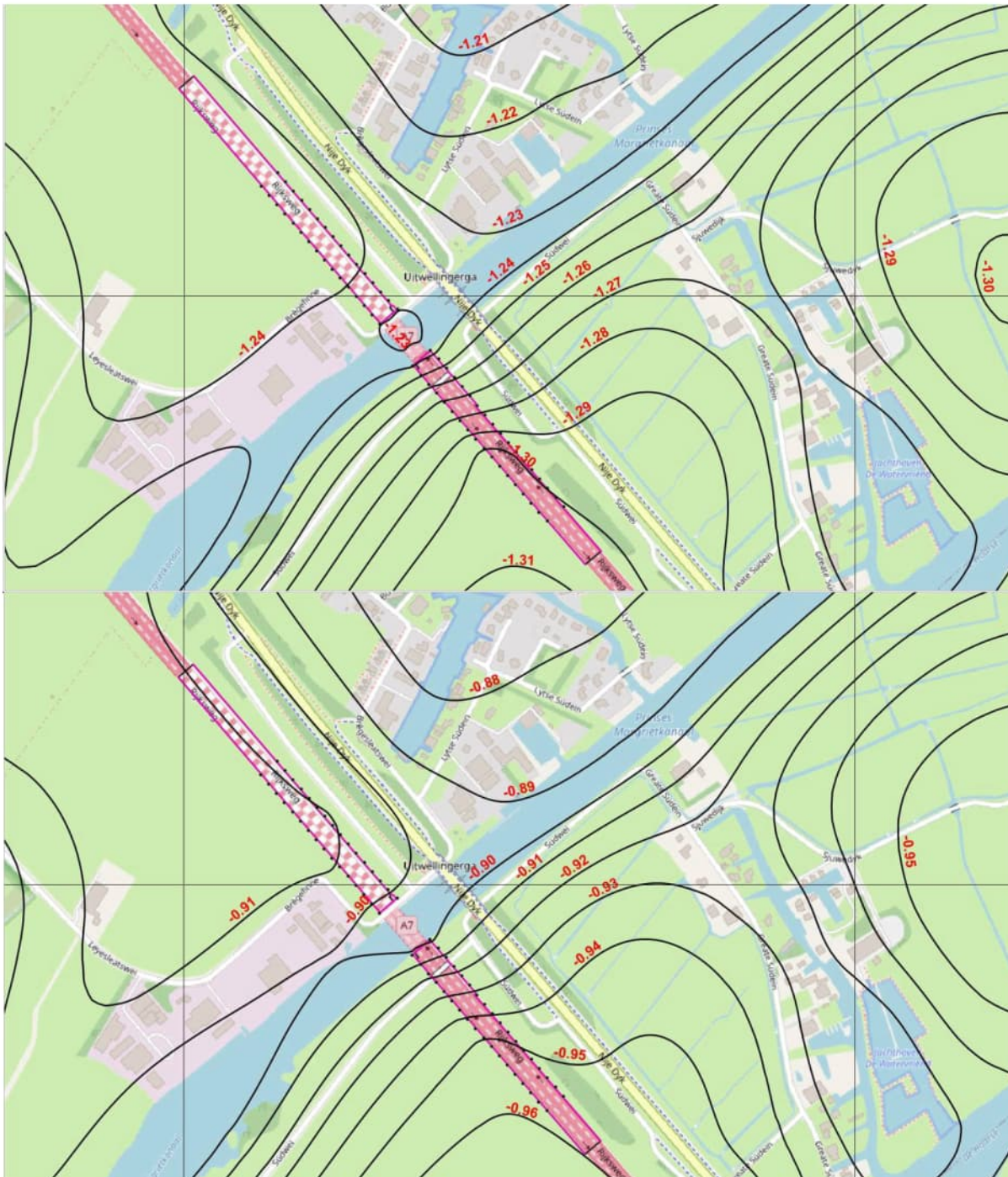


Figuur 3 Tijdreeksen van stijghoogten in het zandpakket onder de Drenthe klei van meetpunten in de omgeving van de Prinses Margriet tunnel. Linksboven de ligging van deze meetpunten en de afstand tot de tunnel.

## 2.2 Berekende stijghoogten

De bovenbeschreven effecten op de stijghoogtevariatie zijn met het model vertaald in een fictief maximum stijghoogtescenario. Daarbij zijn de boezempeilen op NAP -0,22 m gezet, de winterpeilen van de polders met 0,5 m verhoogd en de randstijghoogten van het model met 0,25 m verhoogd. Het effect van de toename van de neerslag is verdisconteerd in de verhoogde waterpeilen.

Figuur 4 geeft een overzicht van de stationair berekende stijghoogte aan de onderzijde van de tunnel. Het bovenste plaatje geeft de berekende gemiddelde situatie. Het onderste plaatje de stationair berekende fictieve maximum situatie.



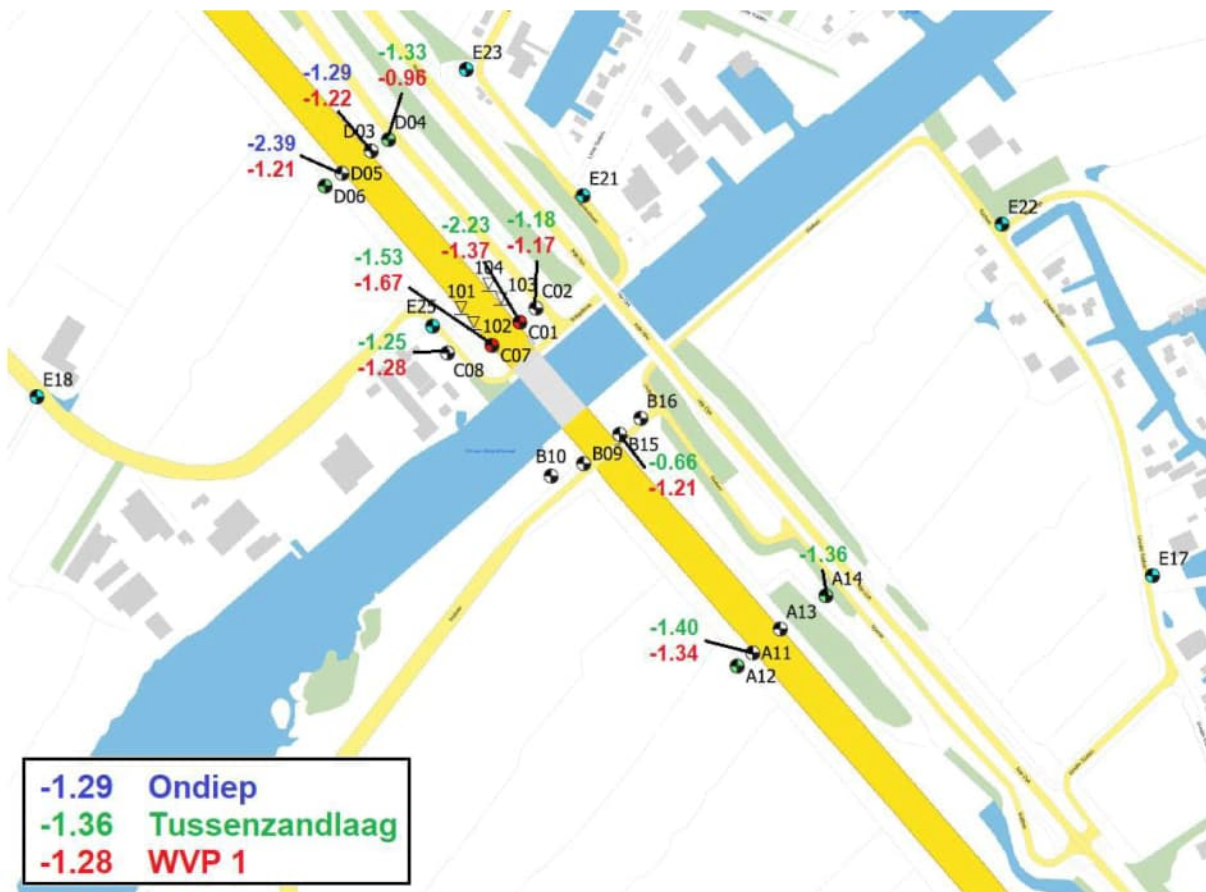
**Figuur 4** Stationair berekende stijghoogte aan de onderzijde van de tunnel. Boven: uitgaande van een gemiddelde situatie; onder: uitgaande van een maximum situatie. Waarden in m +NAP. De zwarte punten langs de toeritten van de tunnel geven de mootscheidingen aan.

Voor de gemiddelde situatie loopt de berekende stijghoogte aan de zuidzijde van het kanaal iets op in de richting van het kanaal, van NAP -1,30 m tot NAP -1,24 m bij de tunnelingang. Aan de noordzijde is de berekende stijghoogte met NAP -1,23 m nog een fractie hoger. De variatie van de berekende stijghoogte aan de noordzijde van het kanaal is kleiner dan aan de zuidzijde.

De berekende stijghoogte van de fictieve maximum situatie geeft een vergelijkbaar beeld met een circa 0,33 m hogere stijghoogte. Kanttekening daarbij is dat deze tijdelijke extreme situatie is berekend met een stationair model. De rekenresultaten geven daarmee een

overschatting van het tijdelijk aanwezige effect die de stijghoogte in het zandpakket onder de tunnel omhoog doet gaan.

Inmiddels is rondom de tunnel een monitoringsnetwerk aangelegd, waarvan de eerste resultaten beschikbaar zijn (Figuur 5). De eerste meetwaarden zijn niet allemaal consistent. Sommige waarnemingen roepen wat vragen op en behoeven enige toetsing op correctheid en betrouwbaarheid. De meetwaarden van de stijghoogten in het pakket onder de Drenthe klei, met meetfilters op ca NAP -13 m, geven vergelijkbare stijghoogten, of lager, als de stationair berekende stijghoogten voor de gemiddelde situatie uit Figuur 4. Het gemeten boezemwaterpeil bij het 7 km afstand gelegen meetpunt Terherne was op dat moment met NAP -0,54 m (bron: waterinfo.rws.nl) ongeveer de streefwaarde.



Figuur 5 Eerste metingen (25 januari – 2 februari 2023) van het ingerichte monitoringsnetwerk. De gegeven meetwaarden zijn van 2 februari 2023 tussen 21:00 en 22:00 uur. De rode getallen zijn de metingen in het watervoerend pakket onder de Drenthe klei.

### 2.3 Stijghoogten onder tunnel

De berekende gemiddelde stijghoogte onder de Prinses Margrietunnel bedraagt NAP -1,23 m met een marginaal verloop in lengterichting van de weg. De onzekerheidsmarge van de resultaten van het model wordt daarbij geschat op 0,1 m.

### 3 Karakteristieke en rekenwaarde stijghoogte NEN-EN1990

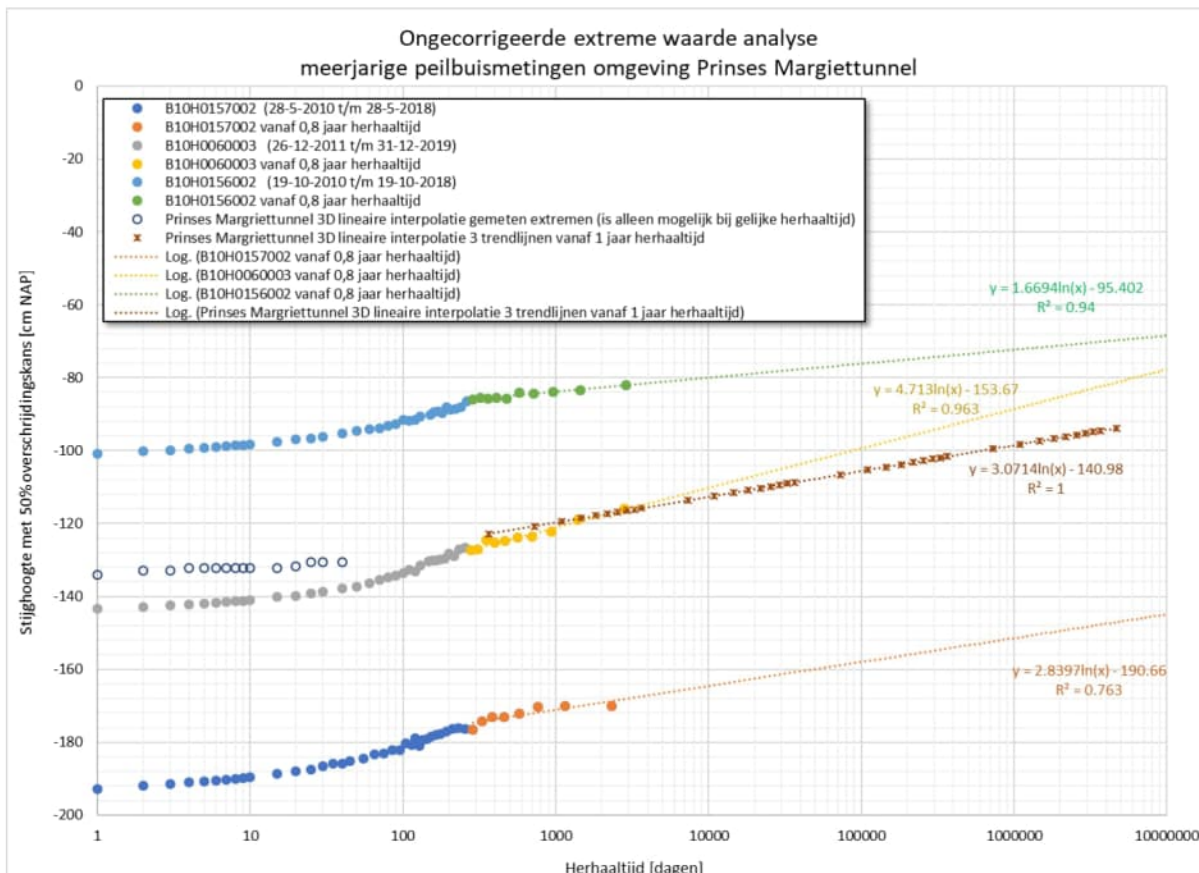
#### 3.1 Methode

De karakteristieke en rekenwaarden van de stijghoogten zijn bepaald volgens de NEN-EN 1990. Als eerste zijn langjarige meetreeksen van de peilbuizen in de omgeving geanalyseerd. Hierna zijn de gevolgklasse en de referentieperiode bepaald. Vervolgens zijn de karakteristieke en de rekenwaarden van de stijghoogten van het Pleistocene zand berekend.

#### 3.2 Langjarige meetreeksen stijghoogte Pleistoceen

In de directe omgeving van de tunnel zijn 3 peilbuizen met langjarige meetreeksen met een meetfrequentie van 1 dag aanwezig, zie Figuur 3. In Bijlage A is een situatietekening opgenomen van de locaties van de peilbuizen ten opzichte van de ligging van de Prinses Margriettunnel. In Bijlage B zijn grafieken met de maand gemiddelde en maxima alle peilbuizen tezamen opgenomen en in Bijlage C zijn diverse grafieken op basis van het maand gemiddelde per peilbuis gegeven. Uit Bijlagen B en C volgt dat er sprake is van seizoenseffecten. Verder er lijkt geen sprake te zijn van een (ongunstige) systematische toename van alle de stijghoogten in dit gebied.

Voor de gemeten stijghoogten is een extreme waarde verdeling opgesteld, zie Figuur 6. Door de waarden vanaf de een herhaaltijd van 0,8 jaar die relevant zijn voor extrapolatie naar grote herhaaltijden is een lognormale fit gemaakt, zie Figuur 6. Vervolgens is voor de locatie van de Prinses Margriettunnel een 3D lineaire interpolatie gemaakt tussen de 3 trendlijnen en hetzelfde is gedaan voor de waargenomen extreme stijghoogten. Dat is alleen gedaan voor herhaaltijden in de extreme waarde verdeling die gelijk zijn.



Figuur 6 Extreme waarde analyse op langjarige peilbuiswaarnemingen en 3D interpolatie van waarden ter plaatse van de Prinses Margriettunnel

### 3.3 Gevolgklasse en referentieperiode

De Prinses Margrietunnel in de A7 maakt onderdeel uit van hoofdwegennet en wordt daarom in CC3 geplaatst. Rijkswaterstaat heeft gekozen voor een ontwerplevensduur van de vervangende funderingsconstructie van 50 jaar wat langer is dan de minimale referentieperiode van 15 jaar voor verbouw in de NEN 8700<sup>1</sup> dus de referentieperiode voor de belastingen is  $T_{ref} = 50$  jaar voor het ontwerp van de vervangende funderingsconstructie. De betrouwbaarheid van CC3 voor verbouw in de NEN 8700 komt overeen met die van CC2 nieuwbouw in de NEN-EN 1990.

### 3.4 Berekening

In NEN1990 is beschreven op welke wijze (grond)waterbelastingen dienen worden bepaald. Zowel de karakteristieke als de rekenwaarden van de (grond)waterbelastingen dienen te worden bepaald op basis van de herhaaltijd (=kans van onder- en overschrijden). De herhaaltijd voor karakteristieke ongunstige waterstand is gelijk aan de referentietijd,  $T_{ref}$ . De NEN1990<sup>2</sup> geeft 2 methode om de rekenwaarde van de waterstanden te bepalen waarbij methode A de verfijndere methode is en methode B een grovere CC-klasse onafhankelijke methode is die geen rekening houdt met het type rekenwaarde.

#### 3.4.1 Methode A

De rekenwaarde van de herhaaltijd  $T_d$  van ongunstige waterstand dient te worden bepaald met NEN1990 formule NB.3:

$$T_d = f_{Td} \times T_{ref}$$

NEN1990 Tabel NB.8 geeft voor de overheersende belasting en de combinatie (=overige) belastingen voor  $f_{Td}$  respectievelijk een waarde van 256 en 6,94 de hiermee berekende herhaaltijden zijn weergegeven in Tabel 1.

Voor het dagelijks gemiddelde wordt uitgegaan van de in paragraaf 2.2 berekende waarde. Voor de decimeringswaarde en het verschil tussen het dagelijks gemiddelde wordt uitgegaan de waarde uit 3D lineaire interpolatie van de 3 trendlijnen. Er wordt komende 50 jaar geen systematische toename van de stijghoogten verwacht. Samengevat wordt uitgegaan van:

- Dagelijks gemiddelde stijghoogte = NAP -1,23 m;
- Decimeringswaarde = 0,031 m;
- Verschil tussen het dagelijks gemiddelde en de extreme stijghoogte met herhaaltijd van 1 jaar = 0,112 m.

Ter plaatse van de Prinses Margrietunnel zijn geen langjarige peilbuismetingen beschikbaar en er bestaat onzekerheid over ontwikkelingen komende 50 jaar waaronder het effect van klimaatveranderingen. De onzekerheid in de stijghoogte met een herhaaltijd van 1 jaar<sup>3</sup> en de decimeringswaarde ter plaatse en de veranderingen komende 50 jaar wordt afgedekt door toepassing van:

- Onzekerheidsmarge extreme stijghoogte met een herhaaltijd van 1 jaar = 0,15 m;
- Onzekerheidsmarge decimeringswaarde factor = 1,3.

Met NEN-EN 1990 formule NB.2 kunnen vervolgens de karakteristieke en rekenwaarde worden bepaald, de resultaten zijn in Tabel 1 weergegeven.

<sup>1</sup> NEN 8700+A1:2020 Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeuren. Grondslagen, Nederland Normalisatie Instituut, 2020

<sup>2</sup> NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2019 Eurocode. Grondslagen van het constructief ontwerp, inclusief nationale bijlage NB:2019, Nederlands Normalisatie Instituut.

<sup>3</sup> Dit betreft schatting van de kwadratische gesommeerde modelonzekerheid uit paragraaf 2.3, de onzekerheid over het verschil tussen het jaarlijkse gemiddelde en de extreme stijghoogte met herhaaltijd van 1 jaar en de verandering ervan komende 50 jaar.



Tabel 1 Stijghoogten ter plaatse van onderzijde toerit inclusief onzekerheidsmarges

Type waarde	$f_{Td}$ [-]	Herhaaltijd [jaar]	Stijghoogte [m NAP]
Gemiddelde jaarlijks maximum	-	1	-0,97
Karakteristiek waarde	-	50	-0,81
Rekenwaarde combinatie belasting	6,94	347	-0,73
Rekenwaarde overheersende belasting	256	12800	-0,59

### 3.4.2 Methode B

Op basis van dezelfde uitgangspunten die voor methode A zijn gebruikt kan met NEN-EN 1990 formule NB.2 de rekenwaarde van de stijghoogte van NAP -0,39 m volgens methode B worden bepaald. De karakteristieke waarde van NAP -0,81 m is methode onafhankelijk.

## 4 Advies stijghoogten onder tunnel

Geadviseerd wordt voor het ontwerp van de vervangende fundering de stijghoogten in Tabel 1 te hanteren voor de bepaling van de waterdruk onder de toeritten.

Tabel 2 Stijghoogten voor het ontwerp van de vervangende paalfundering

Type waarde	Stijghoogte [m NAP]
Gemiddelde jaarlijks maximum	-0,97
Karakteristiek waarde	-0,81
Rekenwaarde combinatie belasting	-0,73
Rekenwaarde overheersende belasting	-0,59

Verder wordt geadviseerd om zorg te dragen dat het ontwerp ook wordt beoordeeld volgens:

- NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB:2019 A1.3.1 (2) bepaling d).

De bij bepaling d) van toepassing zijnde belastingfactor op de snedekrachten bij overheersende grondwaterbelasting is 1,2 (NEN8700-CC3 verbouw = NEN1990-CC2 nieuwbouw).

Hoogachtend,

[Redacted signature area]

[Redacted signature area]

Paraaf

de heer

de heer

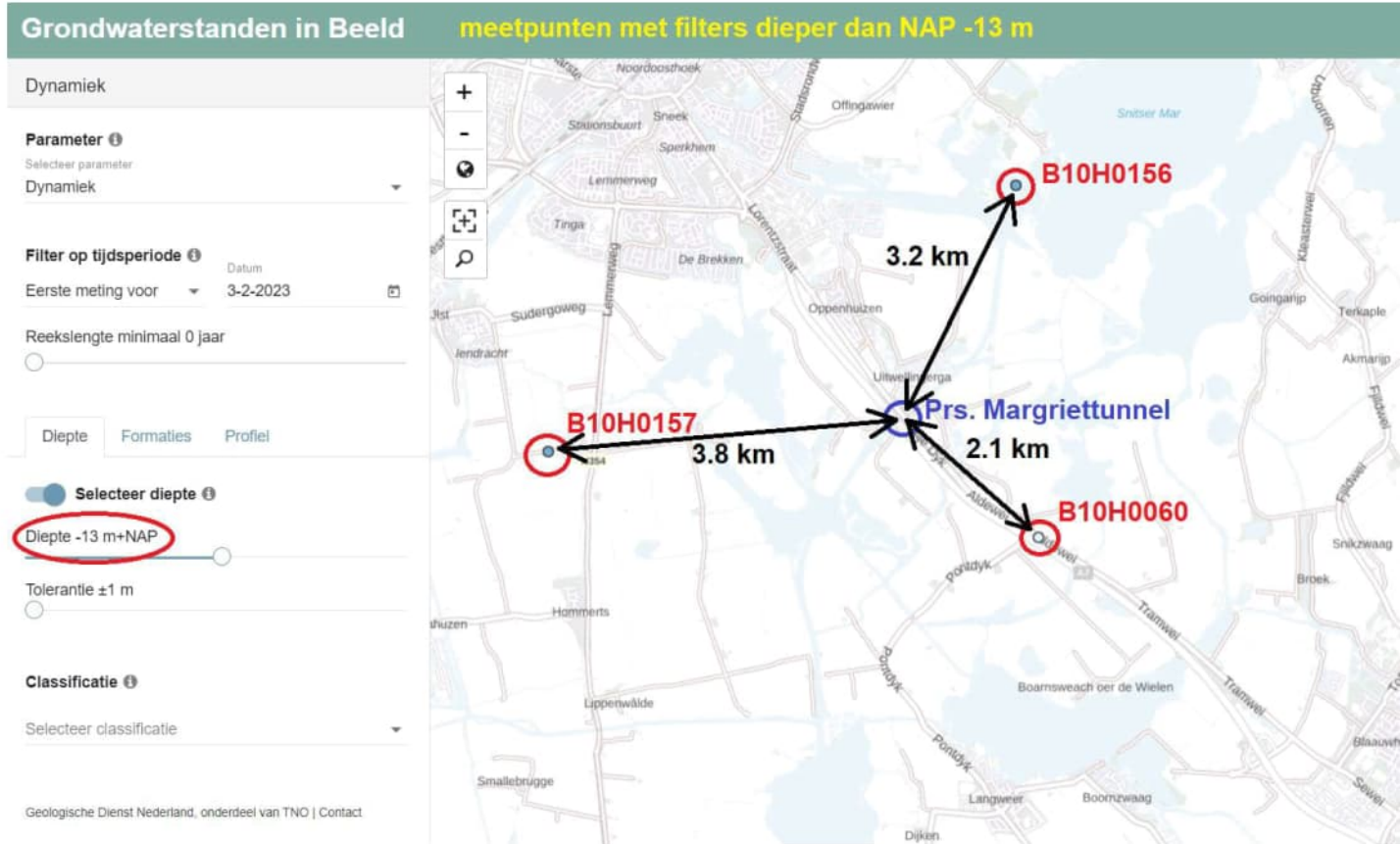
Bijlage(n)

A Situatie peilbuizen

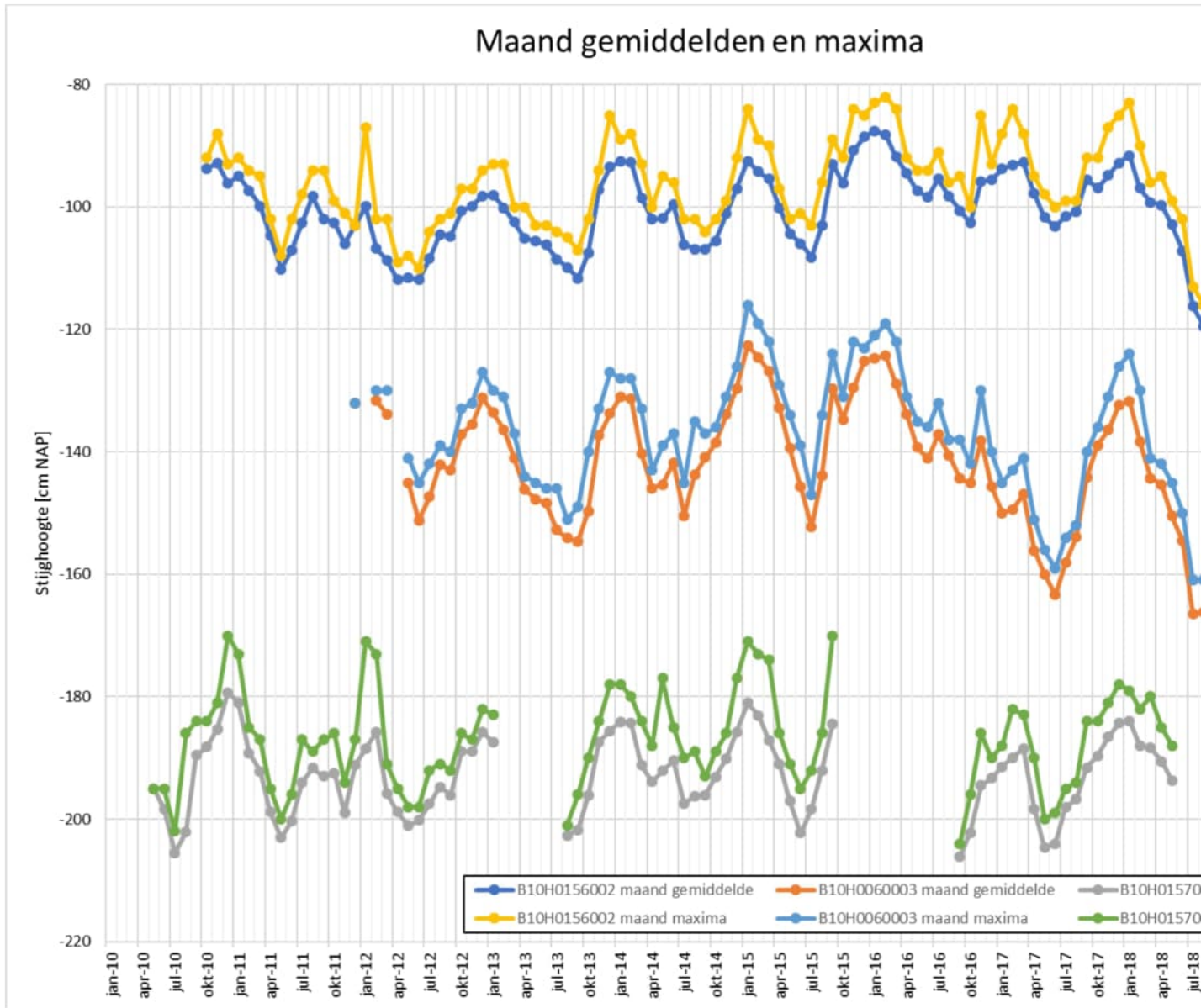
B Maand gemiddelde en maxima alle peilbuizen tezamen

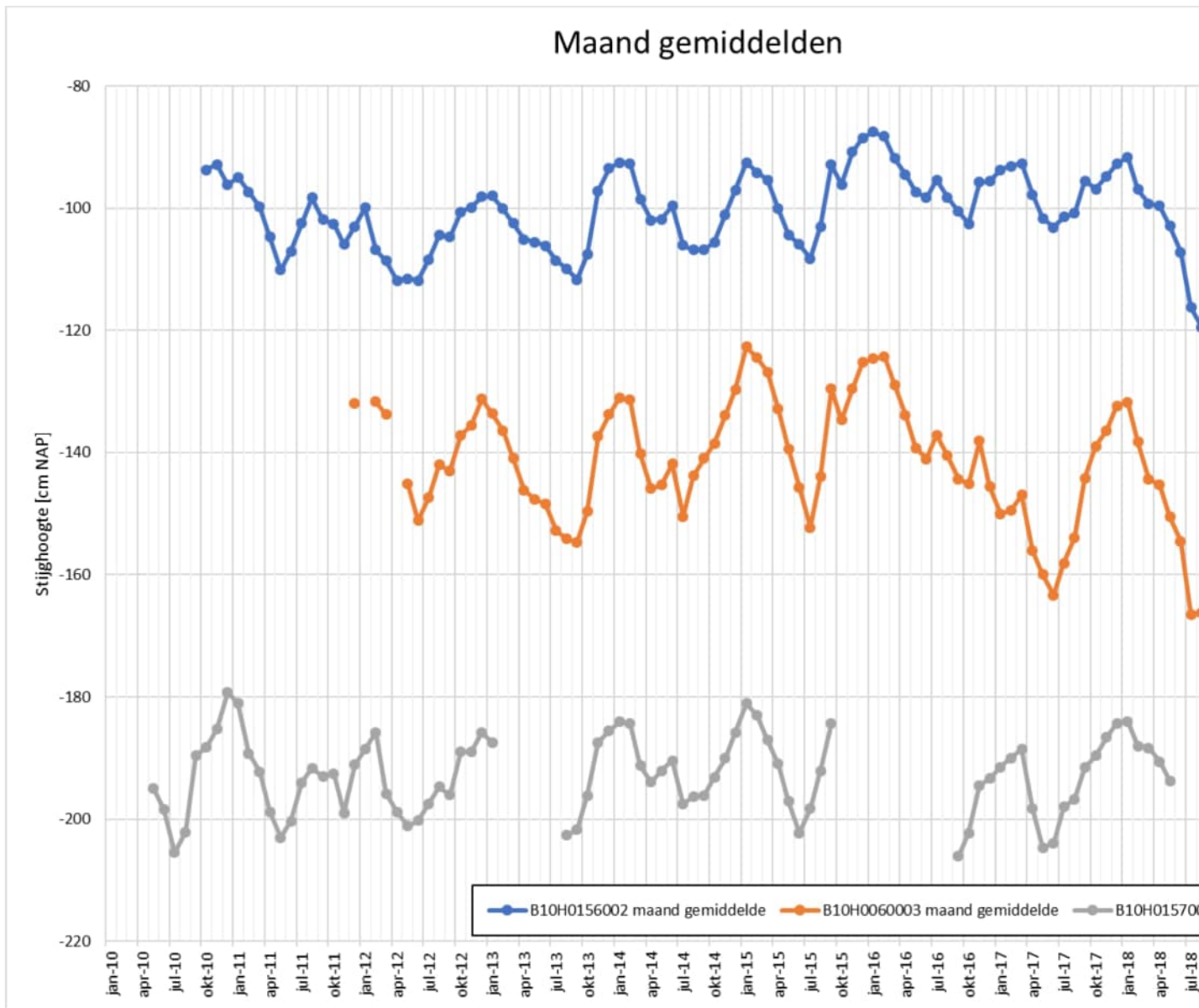
C Maand gemiddelde en maxima per peilbuis

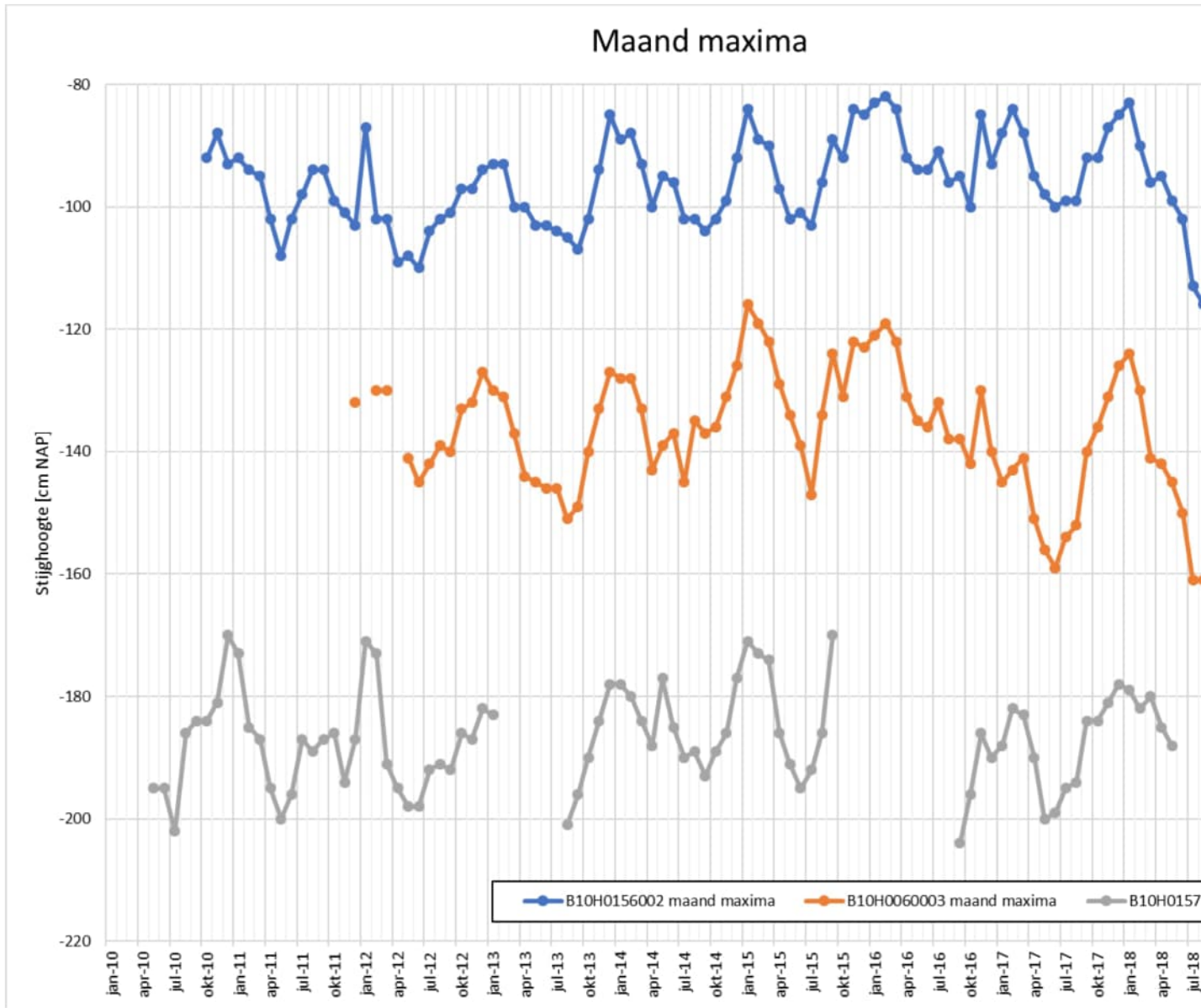
## A Situatie peilbuizen



## B Maand gemiddelde en maxima grafieken alle peilbuizen

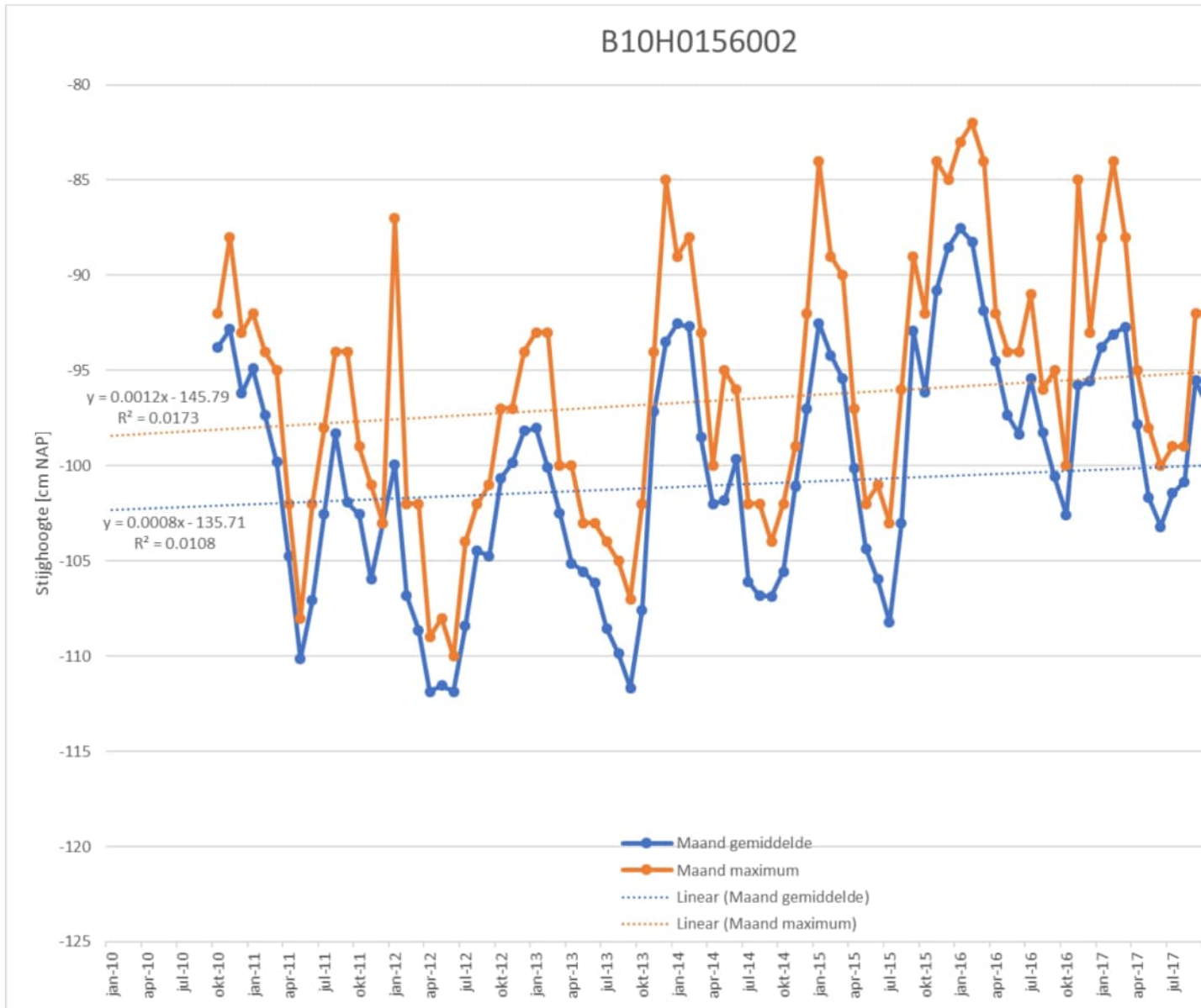




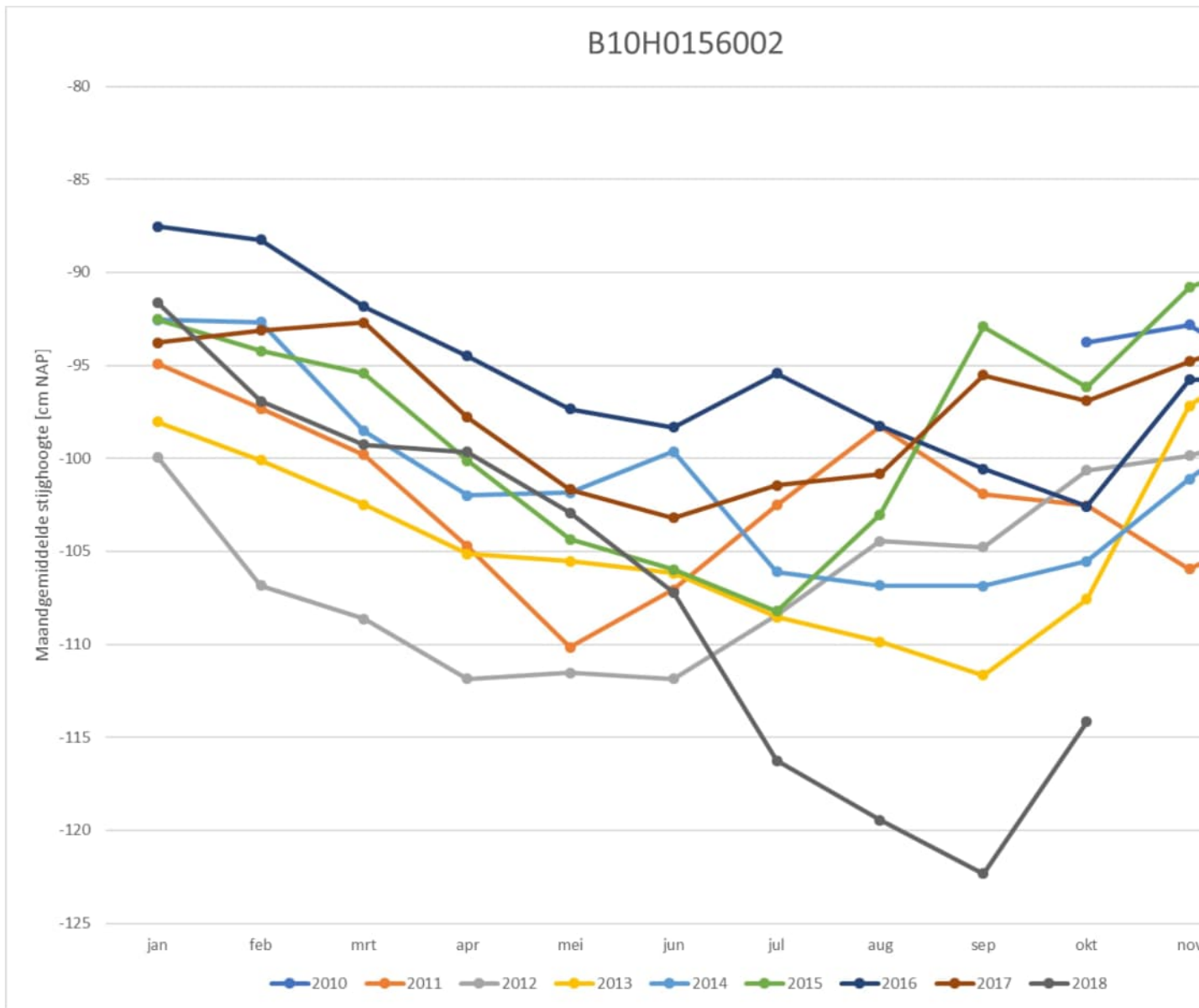


## C Maand gemiddelde grafieken per peilbuis

### C.1 Peilbuis B10H015002

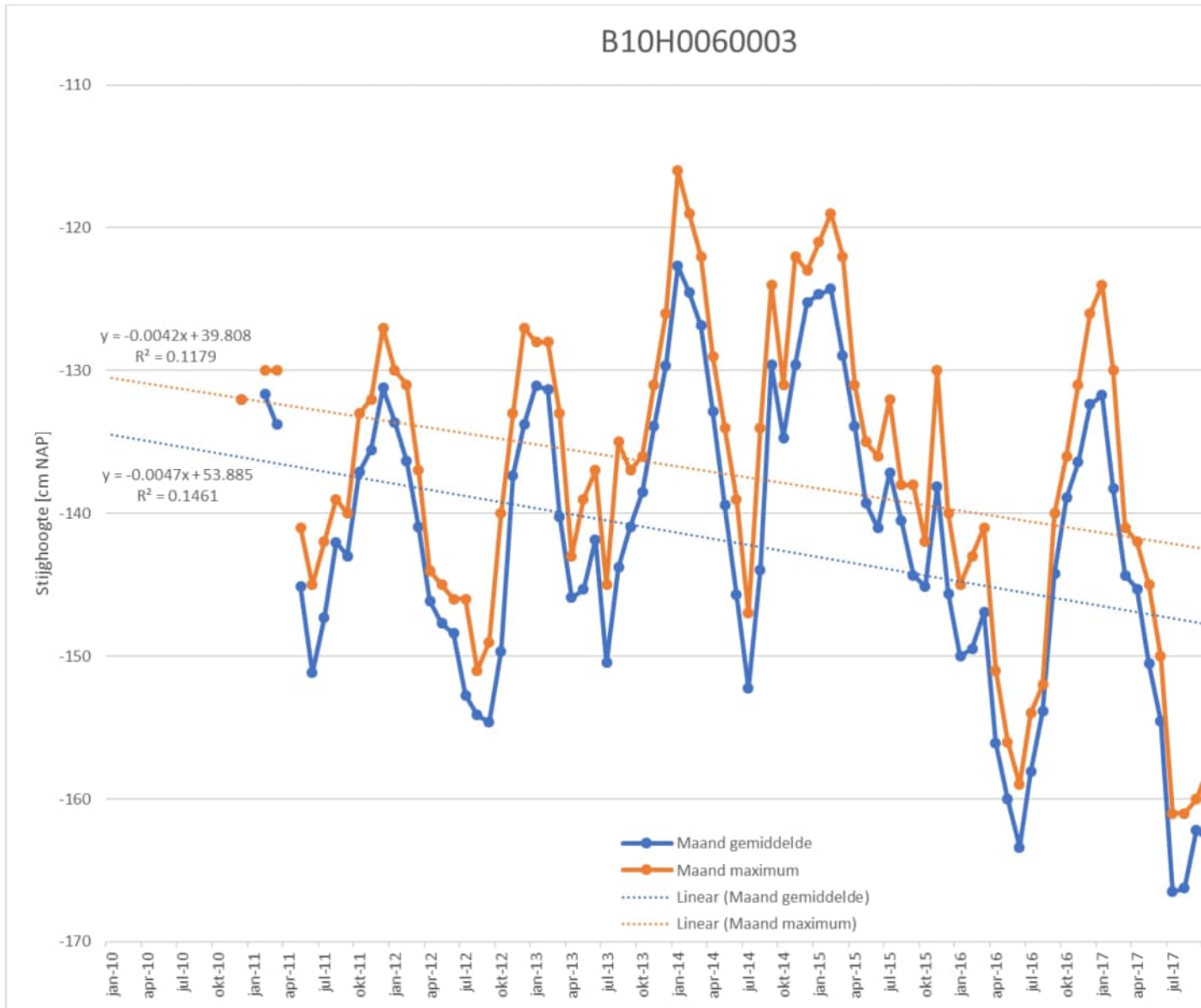


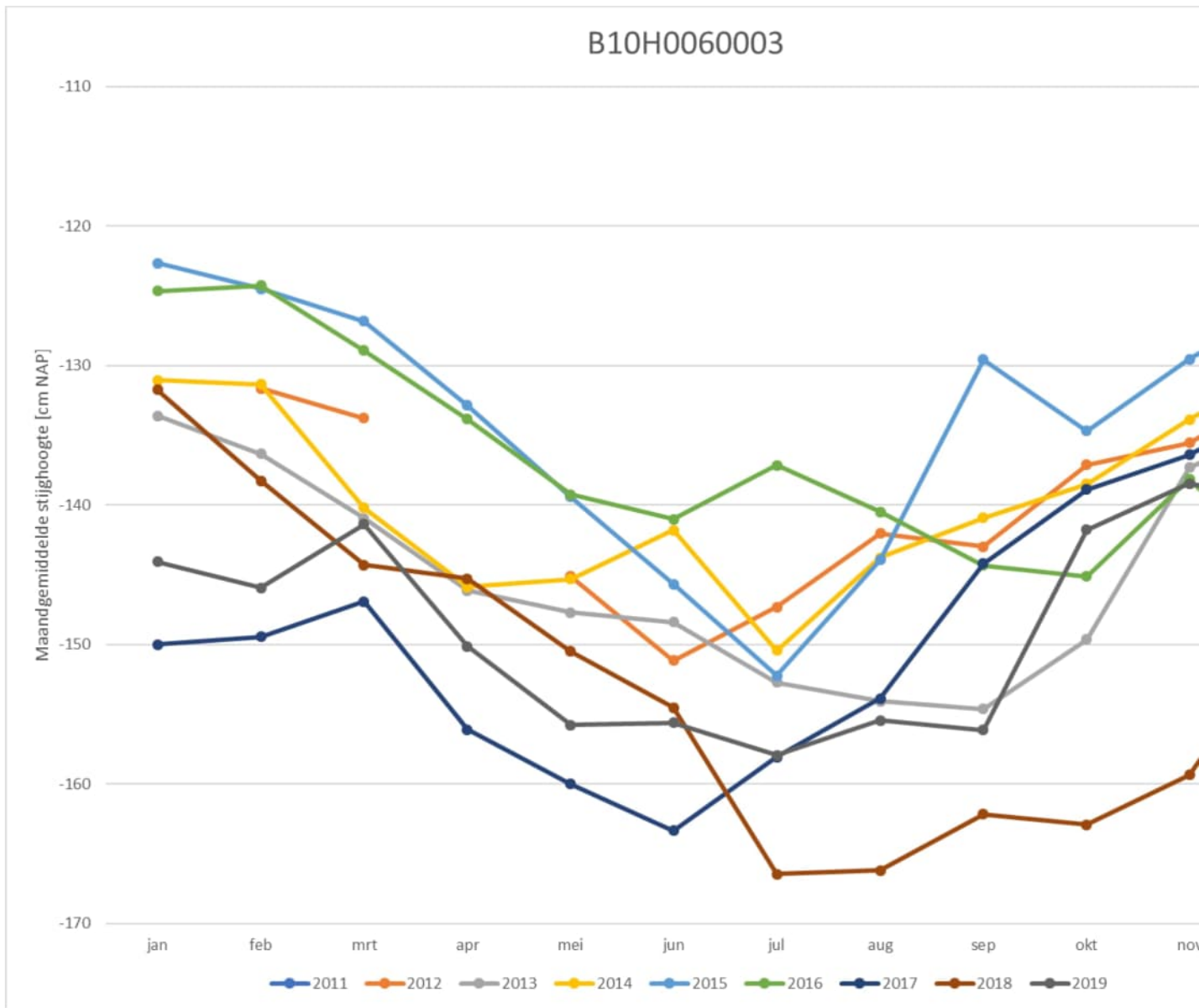


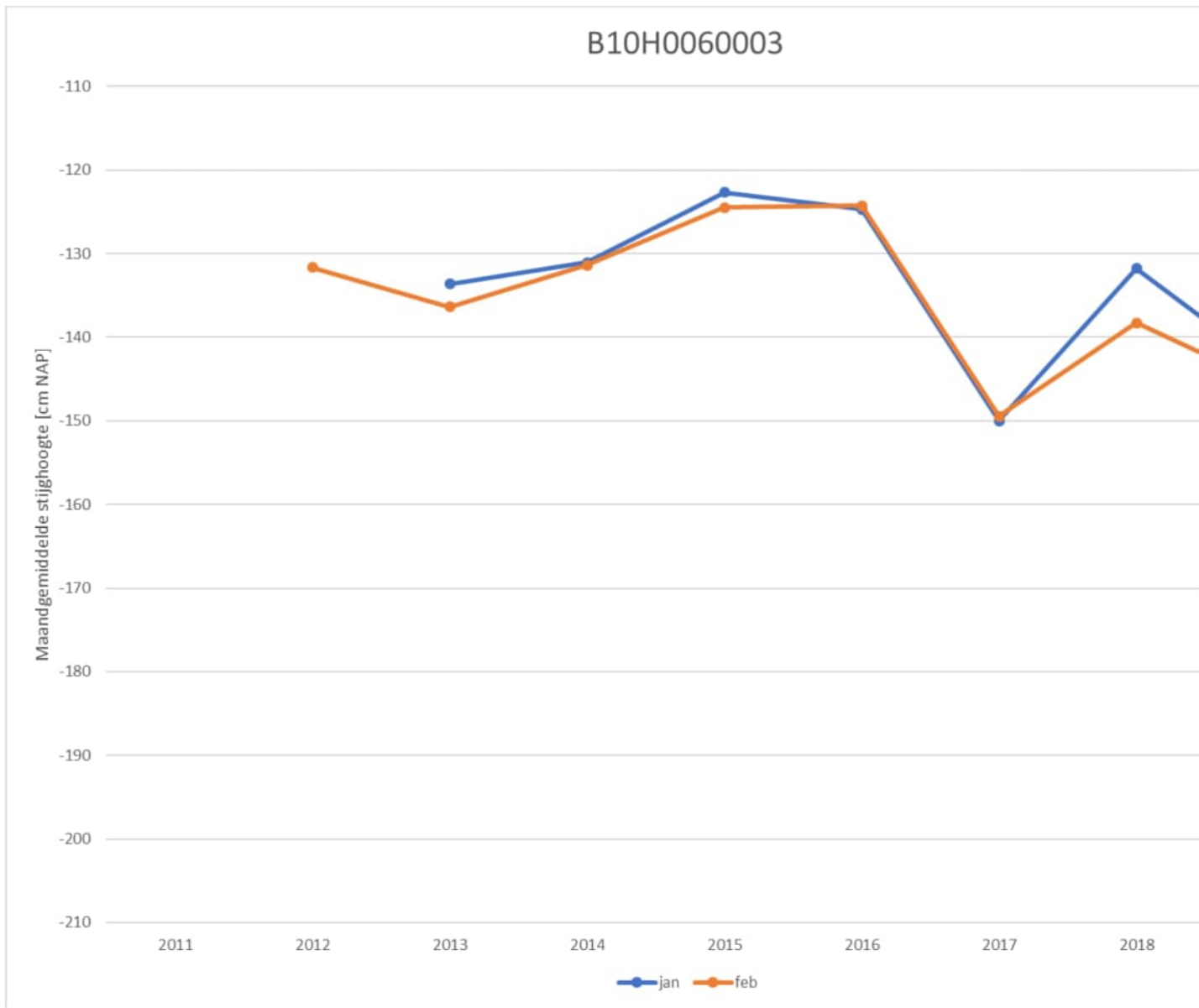




## C.2 Peilbuis B10H0060003







### C.3 Peilbuis B10H0157002

