Onderzoek bodemdaling Nieuw-Amsterdam | Gebiedsstudie

1120-173500 v1.1 | 7 mei 2021

Definitief

Gemeente Emmen, Waterschap Vechtstromen en Provincie Drenthe

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Onderzoek bodemdaling Nieuw-Amsterdam
Documentnaam	Gebiedsstudie
Versienummer	v1.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugrokantoor	Pop Dijkemaweg 72a Postbus 9440 9703 LP Groningen T 050 54 12432

Klantgegevens

Klant	Gemeente Emmen, Waterschap Vechtstromen en Provincie Drenthe
Adres klant	Postbus 30001, 7800 RA EMMEN
Contactpersoon klant	De heer J. Boontjes

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
0.1	26-01-2021	Concept	Concept	MMR	RLM	JBH
1.0	02-04-2021	Definitief	Definitief	MMR	RLM	JBH
1.1	07-05-2021	Definitief	Commentaar verwerkt	MMR	RLM	JBH

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
JBH	ing. J.B. Heikes	Senior Projectmanager
MMR	ir. M. Muller	Adviseur Hydrologie, Opsteller
RLM	ir. R. Lomulder	Senior-Adviseur Hydrologie, Controleur

Woordenlijst

Begrip	Definitie
Antropogeen	Door de mens veroorzaakt of beïnvloed.
Bronbemaling	Het oppompen van grondwater om plaatselijk en tijdelijk de grondwaterstand te verlagen, ten behoeve van bouwactiviteiten of ontgravingen.
Cumulatieve effecten	Het totale, grotere effect, door opstapeling van verschillende effecten tezamen.
Debiet	Hoeveelheid per water dat verplaatst wordt per tijdseenheid. Uurdebiet: de hoeveelheid water dat per uur verplaatst wordt (m3/uur).
DINO-loket	Openbare database waarin bodem- en grondwatergegevens verzameld en opgevraagd kunnen worden.
Geomorfologie	Ontstaanswijze van het landschap.
Grondsanering	Het schoonmaken van vervuilde grond of het voorkomen van verdere vervuiling in de omgeving.
Grondwaterstand (freatisch)	Dit is de spiegel van het grondwater. Het water beneden de grondwaterspiegel wordt freatisch grondwater genoemd, de grond eronder is volledig verzadigd.
Grondwaterregime	Kenmerkende hoge en lage gemiddelde grondwaterstanden in een gebied, berekend op basis van waterstandsmetingen in verschillende seizoenen.
Kunstwerken	Alle constructies of installaties die een functie hebben in of om de watergang, zoals bruggen, sluizen of gemalen.
Lintbebouwing	Langgerekte vorm van bebouwing. Bestaande uit één rij huizen, vaak langs een weg of kanaal en typerend voor veengebieden.
Menyanthes (tijdreeksanalyse)	Wiskundige analyse van gegevens die over een langere tijd verzameld zijn, om invloeden op grondwaterstanden te verklaren.
Methode Koppejan	Rekenmethode om de zetting van de grond te berekenen over een bepaalde tijd (zie bijlage H voor formule).
MicroFEM	Grondwatermodel waarin effecten van onttrekkingen in de omgeving kunnen worden berekend.
MIPWA	Methodiek Interactieve Planning Waterbeheer. Model om grondwaterstanden van een specifiek gebied in beeld te brengen over een bepaalde tijd.
Ontginningsgebied	Gebied dat geschikt is gemaakt voor landbouwgebruik. In veenkoloniale ontginningsgebieden betekende dit het afgraven van het veen en het graven van watergangen om de ontwatering te verbeteren.
Onttrekkingen	Het oppompen van water uit de bodem.
Peilbuizen	In de grond gebrachte meetbuis met filter aan de onderzijde, om grondwaterstanden en stijghoogten te meten.
Peilvak/peilgebied	Gebied waarin een bepaalde waterstand wordt gehanteerd (zie ook Streefpeil).
Pingoruïnes	Cirkelvormige en kratervormige plassen of verlagingen, ontstaan door het smelten van ondergrondse ijsmassa's na de ijstijd.
Poer	Gemetseld of betonnen blok ter ondersteuning van een constructie op de grond of op een paalfundering.

Begrip	Definitie
Proefbronnering	Kortdurende onttrekking van grondwater om te onderzoeken hoeveel water er mogelijk tijdens toekomstige werkzaamheden moet worden onttrokken.
Referentieverdamping volgens Makkink	De theoretisch maximale verdamping van een korte grasmat dat optimaal van water wordt voorzien. De waarde van deze maximale verdamping wordt berekend met de formule van Makkink.
REGISII	Digitaal model waarin goed en slecht doorlatende bodemlagen in kaart zijn gebracht.
Samendrukkingsconstanten	Kenmerkende waarde op basis van het type bodem. Deze constante wordt gebruikt in de methode van Koppejan om de verwachte zetting te berekenen (zie ook Methode Koppejan).
Seismografen	Instrument om de richting en de kracht van bevingen en trillingen te meten.
Significante	Betekenisvol, niet door toevalligheden.
Sleufbemaling	Bemaling in een smalle bouwput (zie ook Bronbemaling).
Sondering	Methode om het draagvermogen van de bodem te bepalen. Tijdens een sondering wordt een staaf met een kegelvormige punt met een constante snelheid de grond in gedrukt, waarbij de weerstand van de grond wordt gemeten.
Spatkrachten	Horizontale krachten die ontstaan door schuine of gebogen onderdelen binnen een constructie. Wanneer spatkrachten te groot worden, kunnen dragende delen (zoals muren) uit elkaar gedrukt worden.
Stiepen	Gemetselde voet ter ondersteuning van een constructie (zie ook Poer).
Stijghoogte	De grondwaterdruk in een bodemlaag, uitgedrukt in meter +NAP.
Streefpeil	Het aangehouden waterpeil binnen een peilvak, uitgedrukt in meters +NAP.
Uitzakking van de grondwaterstand/stijghoogte	Dalen van de grondwaterstand/stijghoogte als gevolg van natuurlijke én overige invloeden (zie ook Verlaging).
Veenkoloniale ontginningsgebieden	(Zie Ontginningsgebied)
Vegetaties	Plantengroei. Natuurlijke vegetatie: combinatie van planten die zonder menselijke beïnvloeding groeien.
Verlaging van de grondwaterstand/stijghoogte	Dalen van de grondwaterstand/stijghoogte als gevolg van onttrekkingen (zie ook Uitzakking).
Verloop/drift (van loggers)	Verandering in de weergegeven waarden als gevolg van slijtage of temperatuurveranderingen. Drift of verloop verminderen de nauwkeurigheid van de metingen.
Zetting	Het samendrukken van de grond, veroorzaakt door extra belasting van de grond of het dalen van de grondwaterstand (inklinking).
Zettingsgedrag	De manier waarop en mate waarmee zetting optreedt, afhankelijk van de bodem, eigenschappen van grondlagen en waterstanden (zie ook Zetting).
Zettingsgevoelig	Aanduiding voor gebieden waar veel zetting op kan treden of waar de snelheid van de zetting hoog kan zijn. Veengebieden worden over het algemeen als zettingsgevoelig beschouwd (zie ook Zetting).

Inhoud

Samenvatting		**1**
1.	**Inleiding**	**7**
1.1	Onderzoeksmethode	8
2.	**Projectomschrijving**	**9**
2.1	Ligging projectlocatie	9
2.2	Historie projectlocatie	9
3.	**Geohydrologische inventarisatie**	**15**
3.1	Maaiveldhoogte	15
3.2	Bodemopbouw	15
3.3	Open water	21
3.4	Grondwaterstand	26
4.	**Onderzoek woningen in pilotgebied**	**28**
4.1	Onderzoeksopzet pilotlocaties	28
4.2	Onderzoeksresultaten pilotlocaties	29
4.3	Conclusies onderzoek pilotlocaties	33
5.	**Bodemdaling**	**34**
5.1	Historische bodemdaling AHN hoogtekaarten	34
5.2	Satellietmetingen (InSar)	35
6.	**Mogelijke externe oorzaken bodemdaling**	**39**
6.1	Daling van de grondwaterstand/stijghoogte	39
6.2	Grondwateronttrekkingen	43
6.3	Bodemdaling als gevolg van stijghoogtedalingen	46
6.4	Delfstoffenwinning	48
7.	**Verwachting voor de toekomst en andere veenkoloniale gebieden**	**49**
8.	**Conclusies**	**53**
8.1	Onderzoek pilotlocaties	53
8.2	Bodemdaling in het projectgebied	54
8.3	Zakking van panden	54
8.4	Mogelijke externe oorzaken bodemdaling	54
8.5	Verwachting voor de toekomst	56
8.6	Andere veenkoloniale gebieden	56
9.	**Aanbevelingen**	**57**

Bijlagen

A. Meetreeksen oppervlaktewaterpeil
B. Meetreeksen grondwaterstanden / stijghoogtes
C. Tijdreeksanalyse (Menyanthes)
D. Gemodelleerde Grondwaterregimes
E. Grondwatermodel (MicroFEM)
F. Scenario's grondwateronttrekkingen
G. Zettingsberekeningen

Samenvatting

In dit rapport zijn de bevindingen gepresenteerd van de onderzoekspilot aangaande de schademeldingen in het buitengebied tussen Nieuw-Amsterdam/Veenoord en Erica. Vanuit dit gebied zijn eind 2019 tientallen schademeldingen binnengekomen betreffende bodemdaling, die op voorhand niet eenduidig verklaarbaar is. Het waterschap Vechtstromen, de provincie Drenthe en de gemeente Emmen hebben hierop besloten samen een onderzoek te starten in het pilotgebied Nieuw-Amsterdam e.o.

Doel onderzoek en onderzoeksvragen

Het doel van het onderzoek is om:

- Te achterhalen welke mechanismen ten grondslag liggen aan de bodemdaling.
- Te achterhalen in hoeverre de geconstateerde schade bij een vooraf geselecteerd, representatief aantal woningen gerelateerd is aan de bodemdaling.
- Een indruk te verkrijgen van de in de toekomst te verwachten verdere bodemdaling en de eventueel daarmee verband houdende schade aan woningen binnen het pilotgebied.
- Antwoord te krijgen op de vraag in hoeverre de situatie binnen dit pilotgebied representatief is voor andere veenkoloniale ontginningsgebieden.

Hierbij worden de volgende onderzoeksvragen beantwoord:

1. Welke mogelijke oorzaken kent de bodemdaling binnen het pilotgebied en in hoeverre is in de toekomst verdere bodemdaling te verwachten in het pilotgebied?
2. Wat zijn de mogelijke oorzaken voor de opgetreden schade aan de onderzochte gebouwen, in hoeverre is in de toekomst verdere schade te verwachten in het pilotgebied en in hoeverre is het pilotgebied representatief voor andere veenkoloniale ontginningsgebieden?

Methodiek

De onderzoeksvragen zijn beantwoord door enerzijds een bureaustudie uit te voeren waarin de relevante informatie over het projectgebied wordt verzameld en geanalyseerd. Op basis van deze informatie wordt onderzoeksvraag 1 beantwoord: de mogelijke oorzaken van de bodemdaling in het pilotgebied worden in kaart gebracht.

Voor de beantwoording van deelvraag 2 zijn op basis van selectiecriteria 10 objecten (woningen/panden) binnen het pilotgebied waar schade is opgetreden geselecteerd (zie hoofdstuk 4). Voor deze panden is onderzocht wat de mogelijke oorzaken zijn van de opgetreden schade.

Bodemopbouw pilotgebied

Op basis van de uitgevoerde sonderingen en boringen, gegevens uit het Fugro-archief en openbare gegevens uit het DINO-loket kan globaal in het gebied onderscheid worden gemaakt in 3 bodemtypes:

1. Dunne toplaag van veen, daaronder direct het vaste zand;
2. Een topveenlaag met daaronder tot geringe diepte afwisselend zand- en dunne zettingsgevoelige laagjes (veen, klei of silt), daaronder het vaste zand;
3. Een topveenlaag met daaronder tot grotere diepte afwisselend zand- en (dikke) zettingsgevoelige lagen.

Bodemdaling in het projectgebied

Uit een vergelijking van hoogtekaarten uit verschillende jaren in combinatie met InSar satellietmetingen blijkt dat vrijwel het gehele projectgebied aan bodemdaling onderhevig is. Deze bodemdaling varieert van enkele millimeters per jaar tot enkele centimeters per jaar.

De bodemdaling in het projectgebied wordt veroorzaakt door een combinatie van veenoxidatie en zetting van dieper gelegen lagen. In een groot deel van het projectgebied is direct onder maaiveld een veenlaag aanwezig welke in droge perioden vrijwel geheel droog komt te staan, waardoor het veen oxideert (autonome zakking). Zakkingen van deze bovenste veenlaag zullen in het algemeen niet leiden tot (grote) schade aan de woningen omdat de meeste panden gefundeerd zijn op de onderliggende bodemlagen. Bij panden welke boven de bovenste veenlaag zijn gefundeerd kan wel schade optreden, deze hebben wij echter niet aangetroffen. De veenoxidatie kan er wel toe leiden dat de tuinen en schuren, bijgebouwen of vloeren die niet zijn gefundeerd gaan zakken.

De diepere zettingsgevoelige lagen kunnen gaan zetten wanneer de belasting op deze lagen wordt verhoogd. De belasting kan worden verhoogd door bijvoorbeeld een ophoging op maaiveld, de bouw (of verzwaring) van een constructie of door uitzakking/verlagingen van de grondwaterstand of stijghoogte tot onder het historisch lage niveau.

Zakking van panden

De gemeten zakking van de panden in het projectgebied varieert sterk. Over het gehele projectgebied komen zakkingen van 1 à 2 mm/jaar voor, echter lokaal zijn zakkingen gemeten van 5 mm (tientallen panden) of zelfs 10 mm/jaar (enkele panden). In het algemeen kunnen de meeste panden, afhankelijk van de staat, beter een “rechtstandige zakking” (alle gevels ondervinden dezelfde zakking) verwerken dan een hoekverdraaiing (ongelijkmatige zakking van de gevels).

In het projectgebied geldt voor een groot deel van de panden waar een zakking van 1 à 2 mm/jaar optreedt dat na tientallen jaren zakken schade kan ontstaan. Bij de tientallen panden waar zakkingen van 5 mm/jaar of de enkele panden met zakkingen van 10 mm/jaar kan al na enkele jaren schade optreden.

De opgetreden zakkingen kunnen zijn veroorzaakt door interne oorzaken (zoals onvoldoende draagkrachtige funderingen of belastingsverhogingen als gevolg van verbouwingen) of door externe oorzaken.

Resultaten onderzoek 10 woningen

Bij alle onderzochte woningen is in meer of mindere mate schade opgetreden. Deze schade is vooral opgetreden bij panden welke niet op het vaste zand zijn gefundeerd. Bij het merendeel van de panden die wel op het vaste zand zijn gefundeerd is de schade beperkt en kan grotendeels worden verklaard door verschilzakkingen tussen aanbouwen en de originele woning, ondeugdelijke lateiconstructies en werking van de kap. Bij de panden welke niet op het vaste zand zijn gefundeerd is de schade groter dan bij de op het vaste zand gefundeerde panden. Bij deze panden kan zetting van dieper gelegen lagen zorgen voor verschilzakkingen welke kunnen leiden tot schade.

Het merendeel van de woningen is verbouwd. Verbouwingen kunnen zorgen voor een hogere belasting op de fundering, met mogelijk verschilzakkingen en schade tot gevolg. Bij een (groot) deel van de verbouwingen is geen vergunning aangevraagd. Doorgaans is geen constructeur geraadpleegd of geotechnisch onderzoek uitgevoerd.

Uit het trillingsonderzoek volgt dat trillingen hoogstwaarschijnlijk niet de primaire oorzaak van de schades zijn, maar kunnen wel het laatste zetje hebben gegeven bij de scheurvorming.

Het grondwaterpeil ter plaatse van de pilotlocaties is niet gedaald als gevolg van dalingen van het oppervlaktewaterpeil. Het grondwaterpeil ter plaatse van de pilotlocaties is waarschijnlijk wel gedaald, tot onder de historisch lage grondwaterstand, als gevolg van neerslagtekort en grondwateronttrekkingen.

Er is ter plaatse van de pilotlocaties bodemdaling als gevolg van olie- of gaswinning opgetreden, maar aangezien deze gering en gelijkmatig is, heeft deze niet geleid tot schade. In en rond het projectgebied zijn geen significante aardbevingen geweest.

Mogelijke externe oorzaken bodemdaling

Naast lokale belastingverhogingen (interne oorzaken) kan een daling van de grondwaterstand/ stijghoogte tot onder de historisch laagste grondwaterstand/stijghoogte zorgen voor een belastingverhoging op de zettingsgevoelige lagen, met zetting tot gevolg. Daarnaast kan een lage grondwaterstand leiden tot veenoxidatie. Onderzocht is of daling van de grondwaterstand/stijghoogte een oorzaak is van de bodemdaling. Hiernaast is ook bodemdaling als gevolg van gas/oliewinning beschouwd.

Voor bodemdaling door zetting en veenoxidatie zijn de droge perioden van belang en de meest extreme ontwateringstoestand uit het verleden. Uit het berekende neerslagoverschot in het projectgebied volgt dat in de jaren 2018 en 2019 het neerslagtekort in de zomermaanden zeer groot was.

Uit de beschikbare grondwaterstand-/stijghoogtemetingen is niet eenduidig vast te stellen of de grondwaterstand/stijghoogte in 2018/2019 de historisch lage waarde heeft onderschreden. Op veel meetpunten is namelijk niet in de betreffende zomers gemeten en bij andere meetpunten niet gedurende een lange periode. Om toch inzicht te verkrijgen over

de historisch laagste grondwaterstand/stijghoogte is het grondwater-/stijghoogteregime ter plaatse van de grondwatermeetpunten gemodelleerd middels een tijdreeksanalyse door gebruik te maken van de neerslag en verdampingsreeksen die in tegenstelling tot de grondwatermetingen wel compleet zijn. Hieruit volgt dat de gemodelleerde reeksen in de zomers van 2018 en 2019 inderdaad een onderschrijding van de historisch lage grondwaterstanden met een orde grootte van ca. 0,1 à 0,2 m laten zien.

Om na te gaan of er naast de neerslag en verdamping nog mogelijke andere verklarende factoren een rol spelen is een residu-analyse uitgevoerd.

Uit deze analyse blijkt dat er in de zomers buiten de neerslag en verdamping een aanvullende factor aanwezig is welke zorgt voor een lagere grondwaterstand/stijghoogte. Mogelijke externe factoren zijn een verlaging van het oppervlaktewaterpeil in de zomers of grondwateronttrekkingen die in de zomer actief zijn. Aangezien het oppervlaktewaterpeil in de zomer goed op peil wordt gehouden, lijken aanvullende dalingen in de recente zomers te worden veroorzaakt door grondwateronttrekkingen.

Omdat exacte gegevens van de grondwateronttrekkingen in het gebied niet beschikbaar zijn, zijn 2 scenario's met mogelijke onttrekkingen doorgerekend. Uit deze berekening blijkt dat bij bodemtype 3 (zie paragraaf 3.2.3) zelfs een geringe onttrekking in een droge periode kan zorgen voor extra zettingen.

De bodemopbouw in het projectgebied is zeer wisselend, zo kan bijvoorbeeld onder de ene zijde van een pand veel veen aanwezig zijn en aan de andere zijde aanzienlijk minder. Er kunnen dus aanzienlijke verschilzakkingen als gevolg van zetting optreden, waardoor schade kan optreden. Dit is sterk afhankelijk van de bodemopbouw ter plaatse en de kenmerken van het gebouw. Gezien de beperkte hoeveelheid beschikbare informatie en metingen kan de verhouding tussen natuurlijke en antropogene oorzaken niet worden achterhaald.

Naast zakkingen als gevolg van veenoxidatie of samendrukking van zettingsgevoelige lagen is ook sprake geweest van bodemdaling als gevolg van de winning van olie en/of gas. Uit de verstrekte meetgegevens blijkt dat deze zakking gering is en gelijkmatig is over het projectgebied. De zakking zal niet zorgen voor significante verschilzakkingen en is daarom geen oorzaak van de schade aan de panden in het projectgebied.

Verwachting voor de toekomst

Door klimaatverandering worden de zomers heter en worden de winters zachter en natter. Naast de verandering van het 'gemiddelde klimaat' nemen ook de extremen toe. Naar verwachting zal het potentieel maximaal neerslagtekort in de toekomst toenemen en als gevolg hiervan de gemiddeld laagste grondwaterstand in het lager worden.

In een groot deel van het projectgebied is direct onder maaiveld een veenlaag aanwezig die in de huidige situatie in droge perioden vrijwel geheel droog komt te staan, waardoor het veen oxideert. Lokaal ligt de veenlaag zelfs boven de gemiddelde hoge grondwaterstand, hier kan de laag in grote gedeeltes van het jaar droogvallen. Als in de toekomst de

grondwaterstand daalt zal de veenoxidatie toenemen. Zonder ingrijpen zal de veenoxidatie in de toekomst blijven doorgaan totdat de topveenlaag volledig is verdwenen.

Logischerwijs zal bij een daling van de grondwaterstand ook de diepere stijghoogte dalen. De zetting van diepere zettingsgevoelige lagen zal naar verwachting dus ook in de toekomst doorgaan.

In een groot deel van het projectgebied wordt een bodemdaling van meer dan 60 cm verwacht. Wanneer klimaatverandering wordt meegenomen kan hier nog meer dan 15 cm daling bijkomen.

De verhouding tussen bodemdaling door oxidatie van de bovenste veenlaag en zetting van de diepere lagen is niet bekend, maar gezien de dikte van de bovenste veenlaag bestaat de verwachte bodemdaling vooral uit veenoxidatie.

Opgemerkt wordt dat oxidatie van de bovenste veenlaag over het algemeen niet leidt tot schade aan gebouwen, omdat deze op een bodemlaag onder de veenlaag staan gefundeerd. Wel kan de veenoxidatie leiden tot schade aan huisaansluitingen, bestrating, tuinen en eventuele ongefundeerde vloeren en schuren. Zetting van dieper gelegen zettingsgevoelige lagen kan wel leiden tot schade aan gebouwen.

Bovenstaande geldt ook voor andere veenkoloniale gebieden waar nog veenlagen aanwezig zijn. In veel veenkoloniale gebieden is het bovenste veen in het verleden (grotendeels) afgegraven. Daar zijn is de verwachte bodemdaling als gevolg van dalende grondwaterstanden minder ingrijpend. Ook in andere veenkoloniale gebieden dient rekening te worden gehouden met (significante) zettingen en hieruit volgende schades, als ook op een dieper niveau veen (of klei) aanwezig is.

Aanbevelingen

Om nieuwe schades in het gebied te voorkomen wordt geadviseerd de bewoners in het gebied voorlichting te geven over funderingen, waarbij de nadruk ligt op belang van het uitvoeren van grondonderzoek. Dit om te zorgen dat nieuwe funderingen op het juiste niveau worden aangebracht en niet op de 1^{e} zandlaag die men tegenkomt. Tevens dient te worden uitgelegd dat bij verbouwingen, waarbij een significant gewicht wordt toegevoegd, de effecten moeten worden beschouwd door een constructeur en geotechnisch adviseur.

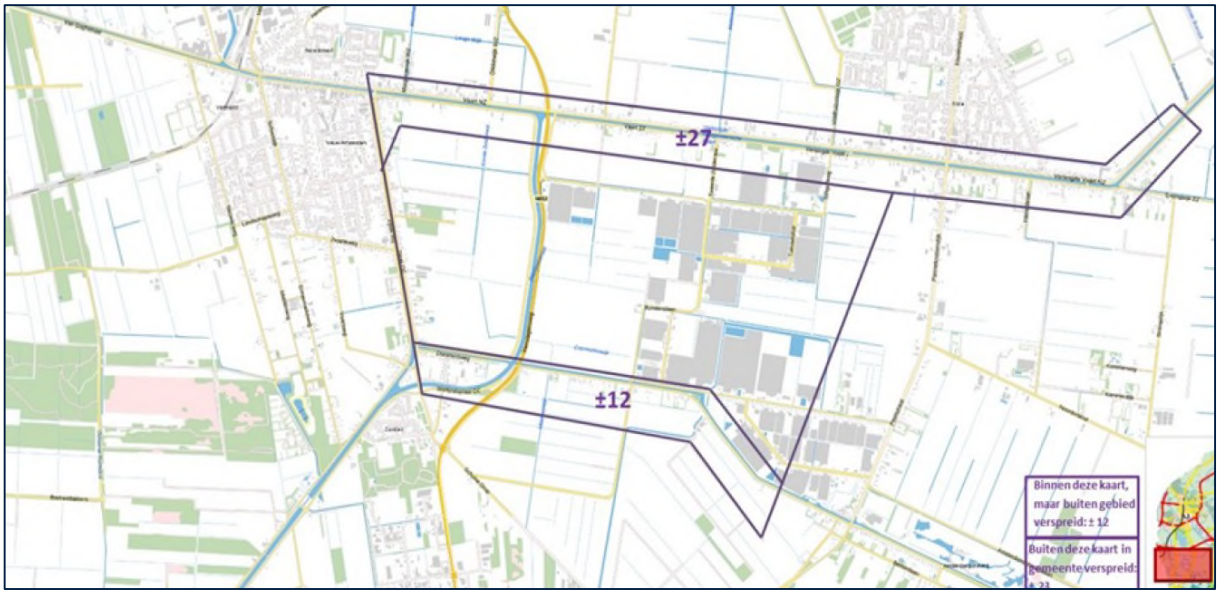
Met betrekking tot de grondwateronttrekkingen wordt geadviseerd alle bestaande onttrekkingen in een centrale database te registreren en de debieten en verlagingen te (laten) monitoren. Hierbij is het wenselijk om een monitoringsplan op te stellen en de stijghoogte in het projectgebied continu te monitoren, zodat de werkelijke invloed van de onttrekkingen op de grondwaterstand/stijghoogte kan worden achterhaald. Ook kan in dat geval worden ingegrepen wanneer de stijghoogte te laag wordt. Hiervoor dienen aanvullende grondwatermeetpunten te worden geplaatst.

Verder wordt aanbevolen om voor nieuwe grondwateronttrekkingen strengere regelgeving in te voeren. Geadviseerd wordt in de regels op te nemen dat de effecten van nieuwe onttrekkingen moeten worden beschouwd voordat toestemming wordt gegeven voor de onttrekking. Hierbij is het belangrijk dat ook de cumulatieve effecten van de onttrekkingen in de omgeving worden meegenomen en dat voldoende grondonderzoek wordt uitgevoerd.

1. Inleiding

Eind 2019 zijn tientallen (schade)meldingen binnengekomen bij de gemeente Emmen en enkele meldingen bij waterschap Vechtstromen betreffende bodemdaling onder en rondom woningen in de gemeente. Dit betreft een forse stijging ten opzichte van het reguliere aantal meldingen binnen de gemeente Emmen, die op voorhand niet eenduidig verklaarbaar is. De meeste meldingen zijn afkomstig uit het buitengebied tussen Nieuw-Amsterdam en Erica. De meldingen variëren van het optreden van gaslekkage (leidingbreuk) door bodemdaling tot het verzakken van erven/vloeren/muren en/of verzakken van riolering tot en met situaties waarbij vraagtekens gesteld kunnen worden bij de veiligheid van een woning.

Het waterschap Vechtstromen, de provincie Drenthe en de gemeente Emmen (hierna: opdrachtgever) hebben hierop besloten samen een onderzoek te starten in het pilotgebied Nieuw-Amsterdam e.o.



Figuur 1.1: Onderzoeksgebied onderzoekspilot

De onderzoekspilot richt zich op het onderzoeksgebied zoals is weergegeven in figuur 1.1. In dit onderzoeksgebied zijn globaal de locaties met de meeste schademeldingen in aantallen weergegeven.

Het doel van het onderzoek is om:

- Te achterhalen welke mechanismen ten grondslag liggen aan de bodemdaling.
- Te achterhalen in hoeverre de geconstateerde schade bij een vooraf geselecteerd, representatief aantal woningen gerelateerd is aan de bodemdaling.
- Een indruk te verkrijgen van de in de toekomst te verwachten verdere bodemdaling en de eventueel daarmee verband houdende schade aan woningen binnen het pilotgebied.
- Antwoord te krijgen op de vraag in hoeverre de situatie binnen dit pilotgebied representatief is voor andere veenkoloniale ontginningsgebieden.

Hierbij worden de volgende onderzoeksvragen beantwoord:

1. Welke mogelijke oorzaken kent de bodemdaling binnen het pilotgebied en in hoeverre is in de toekomst verdere bodemdaling te verwachten in het pilotgebied?
2. Wat zijn de mogelijke oorzaken voor de opgetreden schade aan de onderzochte gebouwen, in hoeverre is in de toekomst verdere schade te verwachten in het pilotgebied en in hoeverre is het pilotgebied representatief voor andere veenkoloniale ontginningsgebieden?

1.1 Onderzoeksmethode

Het 1e gedeelte van het onderzoek bestaat uit een bureaustudie waarin de relevante informatie over het projectgebied wordt verzameld en geanalyseerd. Op basis van deze informatie wordt onderzoeksvraag 1 beantwoord: de mogelijke oorzaken van de bodemdaling in het pilotgebied worden in kaart gebracht.

Hiernaast wordt inzicht gegeven in de in de toekomst nog te verwachten bodemdaling in het gebied. Om een beter inzicht te krijgen in de omgevingsaspecten en oorzaken van bodemdaling is bij deze bureaustudie het onderzoeksgebied zoals weergegeven in figuur 1.1 uitgebreid met een strook van ca. 250 m.

Voor de beantwoording van deelvraag 2 zijn op basis van selectiecriteria 10 objecten (woningen/panden) binnen het pilotgebied waar schade is opgetreden geselecteerd (zie hoofdstuk 4). Voor deze panden is onderzocht wat de mogelijke oorzaken zijn van de opgetreden schade.

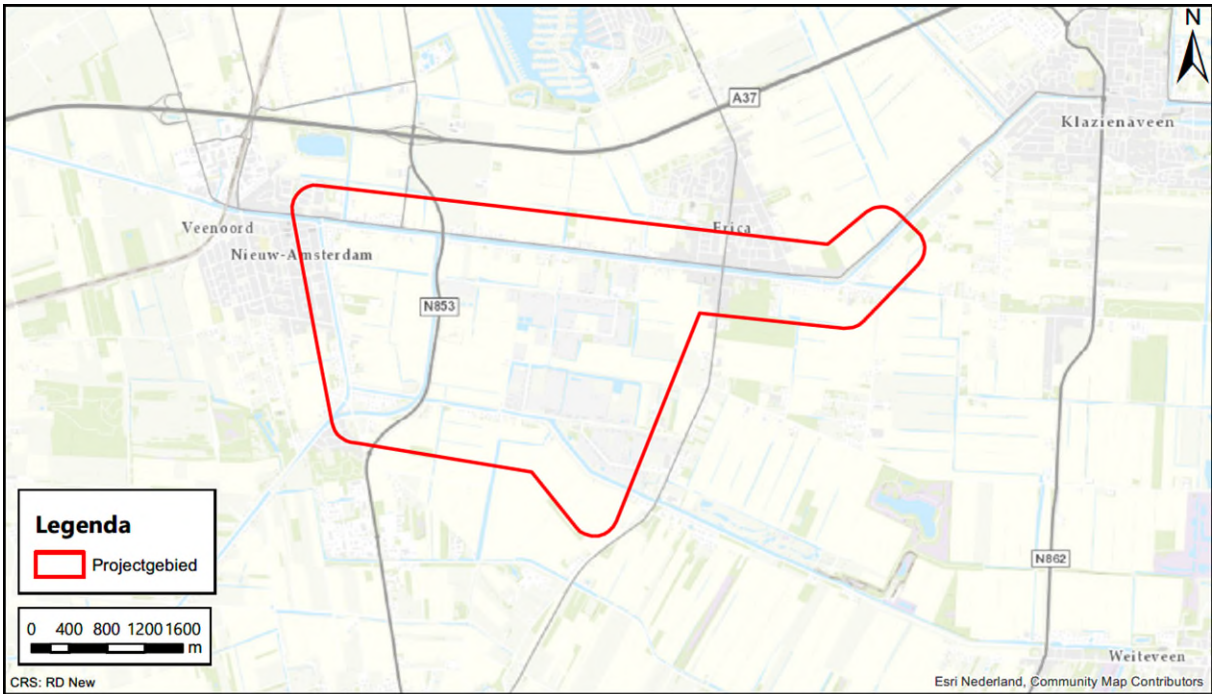
Daarnaast wordt op basis van de beschikbare informatie een verwachting van het verdere schadeverloop in de toekomst gegeven.

Als laatste wordt inzicht gegeven in hoeverre het pilotgebied representatief is voor andere veenkoloniale ontginningsgebieden.

2. Projectomschrijving

2.1 Ligging projectlocatie

Het projectgebied betreft het buitengebied tussen Nieuw-Amsterdam/Veenoord en Erica (figuur 2.1). Nagenoeg alle schademeldingen zijn afkomstig van de bewoners/eigenaren van de woningen. Het onderzoek is gefocust op de bebouwing langs de Verlengde Hoogeveense Vaart en het Dommerskanaal omdat daar de meeste woningen zijn gelegen. Het overige areaal in het projectgebied wordt gekenmerkt door land- en glastuinbouw.



Figuur 2.1: Projectgebied (ondergrond: ESRI Nederland)

2.2 Historie projectlocatie

2.2.1 Ontstaansgeschiedenis van de ondergrond

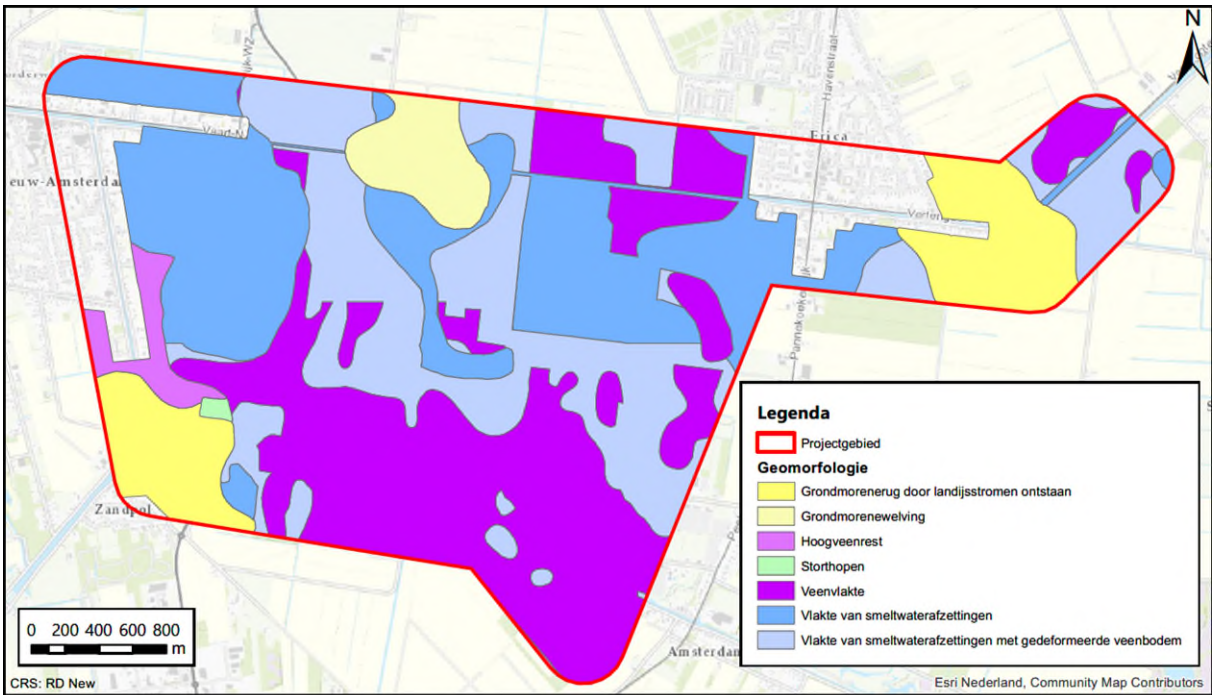
In de tweede helft van de voorlaatste ijstijd (het Saalien) was Drenthe met landijs van enige tientallen meters dik bedekt. Aan het einde van het Saalien waren diepe dalen ingesneden in het Drents Plateau, lokaal tot wel 15 m diepte. Deze dalen vulden zich in de daaropvolgende warme periode (het Eemien) en in de eerste helft van de laatste ijstijd met fijn zand, leem en hier en daar met organisch materiaal.

Omstreeks 10.000 jaar geleden eindigde de laatste ijstijd. Vanaf deze tijd zijn de stuifkommen, pingorestanten, door het ijs uitgesleten kommen en dalen met organische afzettingen opgevuld.

Door de langzame stijging van de zeespiegel werd de afwatering vanaf het Drents Plateau vertraagd. De afwatering werd ook bemoeilijkt door de ondoordringbare keileemafzettingen die in het Saalien waren gevormd. In de dalen en op de vlakke delen van het plateau ontstond daardoor laagveen. Deze laagvenen groeiden zo hard boven het maaiveld, dat ze

niet meer bij het grondwater konden. Onder invloed van regenwater groeide het veen door en ontstond hoogveen. Ook de zuidelijke uitlopers van de Hondsrug waren overgroeid met veenpakketten van wel 10 meter dik.

In het gebied zijn door landijsstromen 2 zandruggen ontstaan, die ook te zien zijn op de geomorfologische kaart van het projectgebied (figuur 2.2). Op deze kaart is de ontstaanswijze van het landschap weergegeven. In geel zijn de zandruggen te zien, tussen deze ruggen ligt een vlakte met veen en smeltwaterafzettingen.



Figuur 2.2: Overzicht geomorfologie projectgebied (bron: BRO Geomorfologie 2019)

Turfwinning, ontwatering en ontginning hebben het hoogveen doen verdwijnen en de onderliggende zandgronden zijn weer zichtbaar geworden. Het Bargerveen, één van de laatste hoogveengebieden in Nederland, is nog over van dit reusachtige hoogveencomplex.

Laagveen: In ondiepe plassen groeien verschillende soorten water- en moerasplanten. In het najaar sterven de meeste planten af. De resten van deze planten verteren onder water nauwelijks. Ze hopen zich over de jaren op totdat de hele plas opgevuld is. Dit wordt dan laagveen genoemd.

Hoogveen: Veenmosplantjes houden met hun stengels en bladeren veel water vast. Zo blijft hun groeiplaats nat, ook als het mos langzaam hoger groeit. Veenmoskussens kunnen zo als natte deken steeds hoger en breder uitgroeien. De onderste delen sterven af maar deze verteren niet in het zure milieu. Op deze manier ontstaat hoogveen.

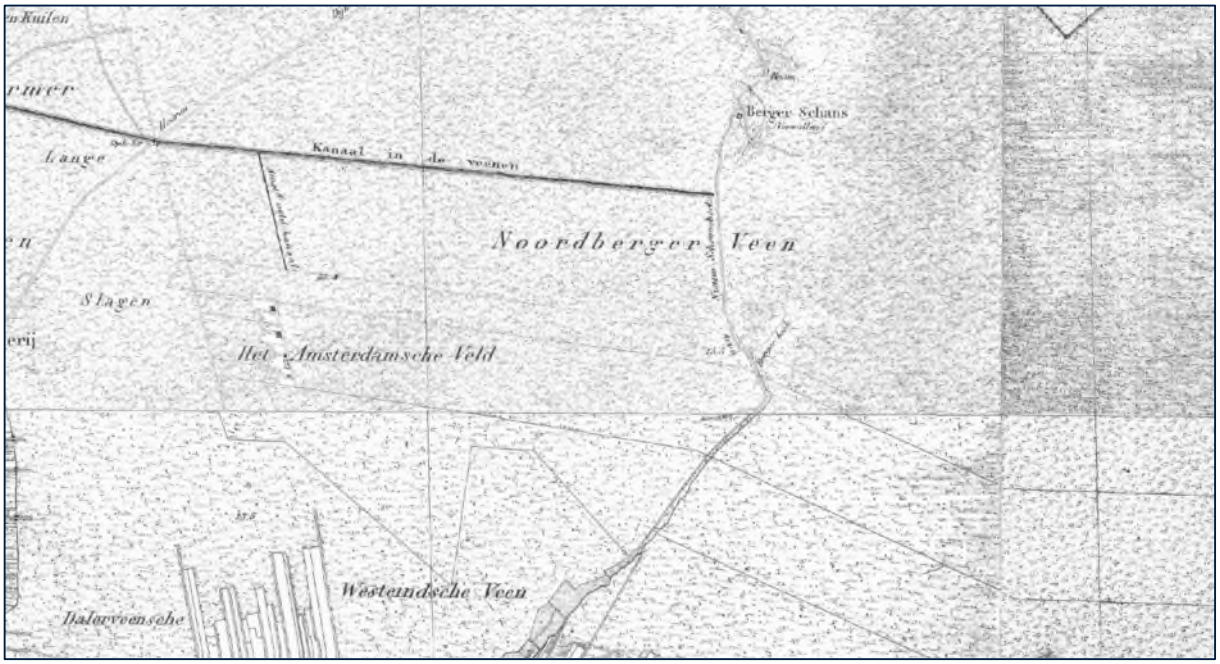
2.2.2 Ontwikkeling bewoning van het projectgebied

In figuur 2.3 is op een kaart uit ca. 1820 te zien dat in de omgeving nog geen bebouwing of infrastructuur aanwezig was. Het gebied bestond uit woeste gronden, moeras en veenvlaktes.



Figuur 2.3: omgeving projectgebied rond 1820 (TopoTijdreis)

Het ontginnen van het veen in het gebied rondom Nieuw-Amsterdam kwam pas in de 2e helft van de 19e eeuw op gang. Een aantal Amsterdamse beleggers kocht een veenstrook in het gebied, die ze het Amsterdamsche Veld noemden (figuur 2.4).



Figuur 2.4: Het Amsterdamsche Veld rond 1850 (TopoTijdreis)

Het dorp Veenoord ontstond rond 1859-1863 toen zich veel arbeiders vestigden in het gebied om de Verlengde Hoogeveense Vaart aan te leggen. Later vestigden zich er ook veel

turfarbeiders. De veenkolonie Nieuw-Amsterdam ontstond ongeveer in dezelfde periode, meer naar het zuiden, maar kwam uiteindelijk door de aanwezigheid van de Verlengde Hoogeveense Vaart nabij Veenoord te liggen. Het dorp Erica ontstond op hoger gelegen zandgrond, hier werd vooral boekweit verbouwd. Toen de Verlengde Hoogeveense Vaart af was werd ook in dit dorp de turfproductie de belangrijkste industrie. Om de turf te vervoeren wordt in 1861 ook het Dommerskanaal aangelegd. Doordat later de behoefte aan turf als brandstof verminderde, bleef een groot gedeelte van het Amsterdamsche Veld bewaard.

Bij de aanleg van de kanalen werd de vrijkomende grond op de kant gezet, waar hoger gelegen 'wallen' ontstonden van gemengde gelaagdheid. Op en vlak achter deze wallen is lintbebouwing ontstaan.



Figuur 2.5: ca. 1886: het gebied ontwikkelt zich tot turfwinningsgebied (TopoTijdreis)

Nieuw-Amsterdam, Veenoord en Erica ontwikkelden zich sterk. Er ontstond een grote bedrijvigheid bestaande uit veenindustriële bedrijven zoals scheepswerven, kalkbranderijen, machinale turf- en turfstrooiselfabrieken en ook een aardappelmeelfabriek. Rond 1900 werden de dorpen aangesloten op het tram- en spoorwegennet.



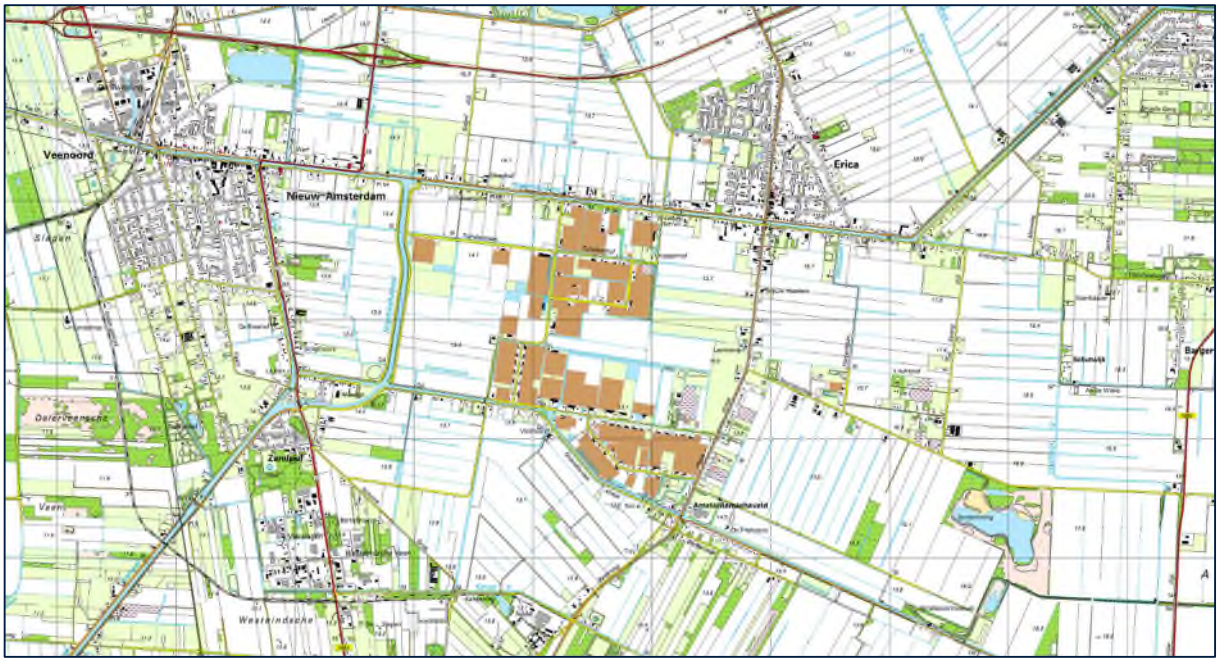
Figuur 2.6: ca. 1906: De dorpen groeien als gevolg van toenemende bedrijvigheid (TopoTijdreis)

In de loop van de 20e eeuw ontwikkelde Nieuw-Amsterdam zich door het gebruik van kunstmest van veenkolonie tot landbouwgebied (figuur 2.7).



Figuur 2.7: ca. 1930: het gebied verandert van een veenkolonie naar landbouwgebied (TopoTijdreis)

Vanaf de jaren ‘80 vestigt zich in het gebied veel glastuinbouw. Ook blijven de dorpen groeien (figuur 2.8).

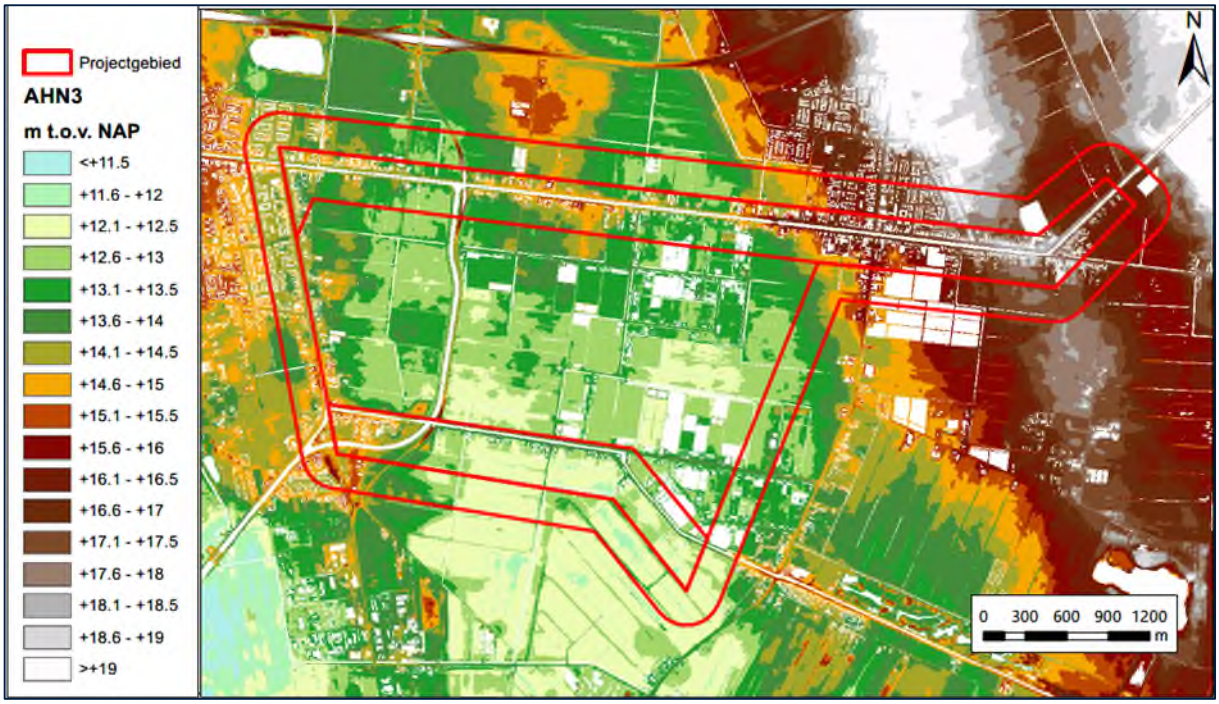


Figuur 2.8: ca. 2000: De dorpen zijn gegroeid, in het gebied tussen de kanalen is veel glastuinbouw aanwezig (TopoTijdreis)

3. Geohydrologische inventarisatie

3.1 Maaiveldhoogte

In figuur 3.1 is de projectlocatie geprojecteerd op een kaart van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN3) met globale maaiveldhoogtes in meters t.o.v. NAP. Te zien is dat het maaiveld in het oosten van het projectgebied oploopt tot ca. NAP +19 m, terwijl het maaiveld in het midden en zuiden van het gebied lager is gelegen op ca. NAP +12 m.



Figuur 3.1: Projectgebied geprojecteerd op kaart van Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN3)

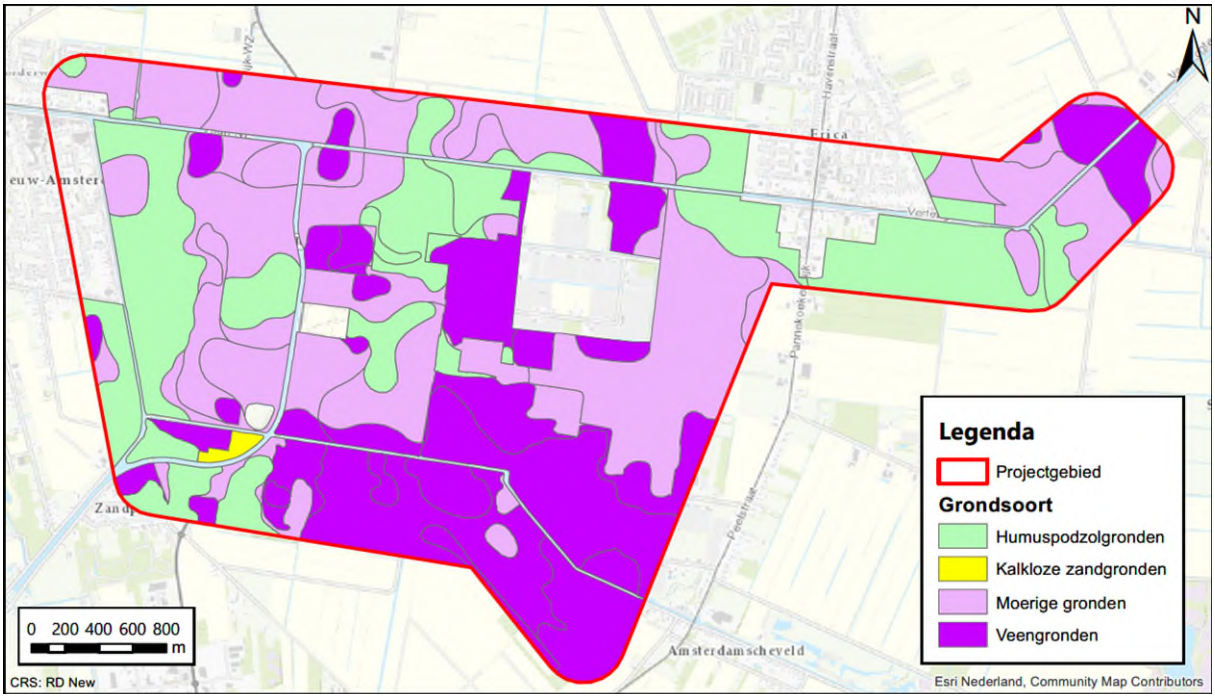
Het hooggelegen oostelijke gedeelte betreft de Hondsrug. Aan de westzijde van het projectgebied is te zien dat ook Nieuw-Amsterdam/Veenoord op een hoger gelegen zandrug (Rolderrug) is gelegen. Het grootste deel van het projectgebied is gelegen op een lager niveau tussen de 2 zandruggen. Deze 2 zandruggen zijn ook te zien op de geomorfologische kaart van het projectgebied (figuur 2.2).

3.2 Bodemopbouw

3.2.1 Grondsoorten

In figuur 3.2 is de Basisregistratie Ondergrond (BRO, onderdeel van Ministerie van binnenlandse zaken) bodemkaart 2019 weergegeven. Hierop zijn de verschillende grondsoorten in het projectgebied aangegeven. Het gaat hier om de toplaag, dus welke grondsoort vanaf maaiveld tot ca. 1 m diepte wordt aangetroffen.

Het is bij Fugro onbekend wanneer de daadwerkelijke kartering van deze kaart heeft plaatsgevonden. Mogelijk is sinds de originele kartering de hoeveelheid veen afgenomen. De kaart komt over het algemeen overeen met het tijdens het grondonderzoek aangetroffen beeld van de ondergrond.



Figuur 3.2: Overzicht grondsoort (toplaag tot ca. 1 m diepte) projectgebied

Er wordt in de BRO bodemkaart globaal onderscheid gemaakt tussen 4 grondsoorten:

- Kalkloze zandgronden
  Kalkloze zandgronden bestaan tot 0,8 m onder maaiveld voor minstens de helft uit kalkloos zand.

- Podzolgronden
  Deze bodem heeft een opvallende gelaagdheid doordat mineralen met regenwater uit de bovenste lagen wegspoelen en dieper in de bodem neerslaan (figuur 3.3). Podzolbodems zijn niet erg vruchtbare bodems die vooral in het zandlandschap te vinden zijn. Podzolgronden zijn genoemd naar het Russische 'Podzol' wat as betekent, omdat de uitspoelingslaag asgrijs is. In het projectgebied komen humuspodzolgronden voor. Hierbij bestaat de inspoelingslaag vooral uit organische stof (humus).



Figuur 3.3: Opbouw Podzolbodem (bron: www.geologievannederland.nl)

- Moerige gronden
  Moerige gronden zijn minerale gronden met een moerige bovengrond of een moerige tussenlaag. Moerig materiaal is een bodemkundig begrip waarmee bodemmateriaal wordt aangeduid waarin de minerale component in zeer geringe mate is vertegenwoordigd. Moerig materiaal bevat veel organische stof. Het is een overgang van zandgrond naar veengrond.

- Veengronden
  Veenbodems bestaan uit grotendeels organische stof (onverteerde plantenresten).

3.2.2 Grondonderzoek

Een onderdeel van dit onderzoek is de analyse van 10 woningen/panden waar schade is opgetreden (zie hoofdstuk 4). Daartoe is het volgende onderzoek uitgevoerd:

- 21 sonderingen;
- 34 handboringen (HB);
- Plaatsing van 19 peilbuizen in de boorgaten;
- Funderingsonderzoeken;
- Trillingsmetingen.

Deelname aan het onderzoek is volledig anoniem waardoor de onderzoekslocaties en metadata niet in onderhavig rapport zijn gepresenteerd.

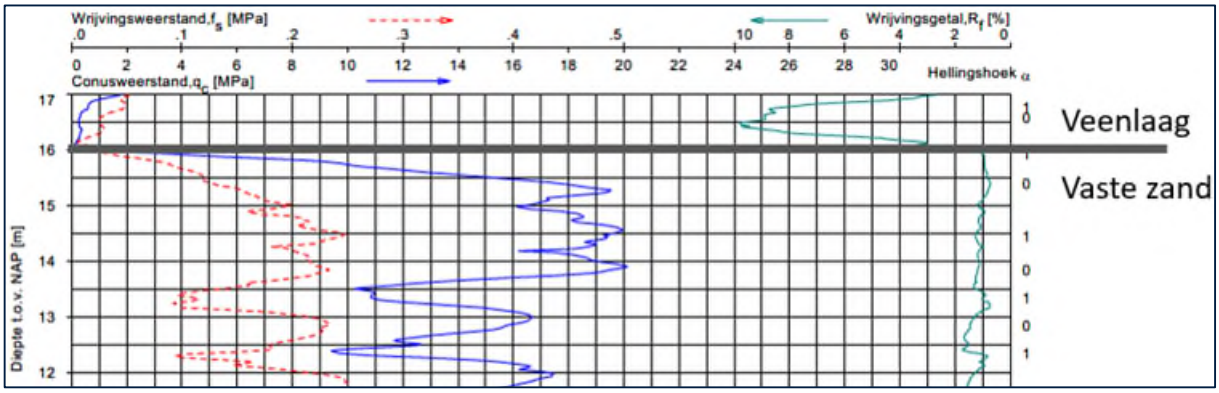
Het grondonderzoek is aangevuld met onderzoeken uit het Fugro archief, uit het DINO-loket en door opdrachtgever en bewoners aangeleverde onderzoeken.

3.2.3 Schematisering bodemopbouw projectgebied

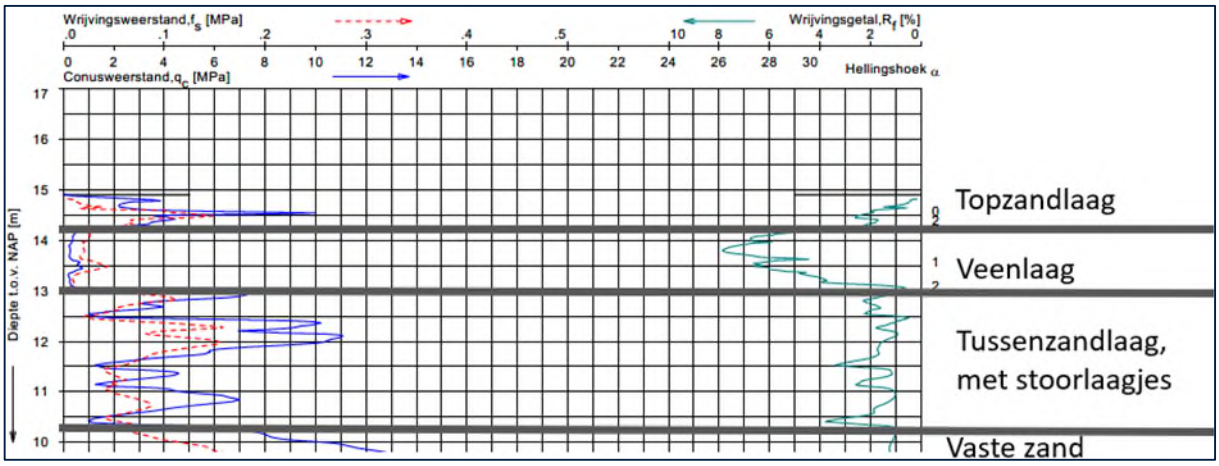
De bodemopbouw in het projectgebied is geschematiseerd op basis van de uitgevoerde sonderingen en boringen, gegevens uit het Fugro-archief en openbare gegevens uit het DINO-loket.

Globaal kan in het gebied onderscheid worden gemaakt in 3 bodemtypes:

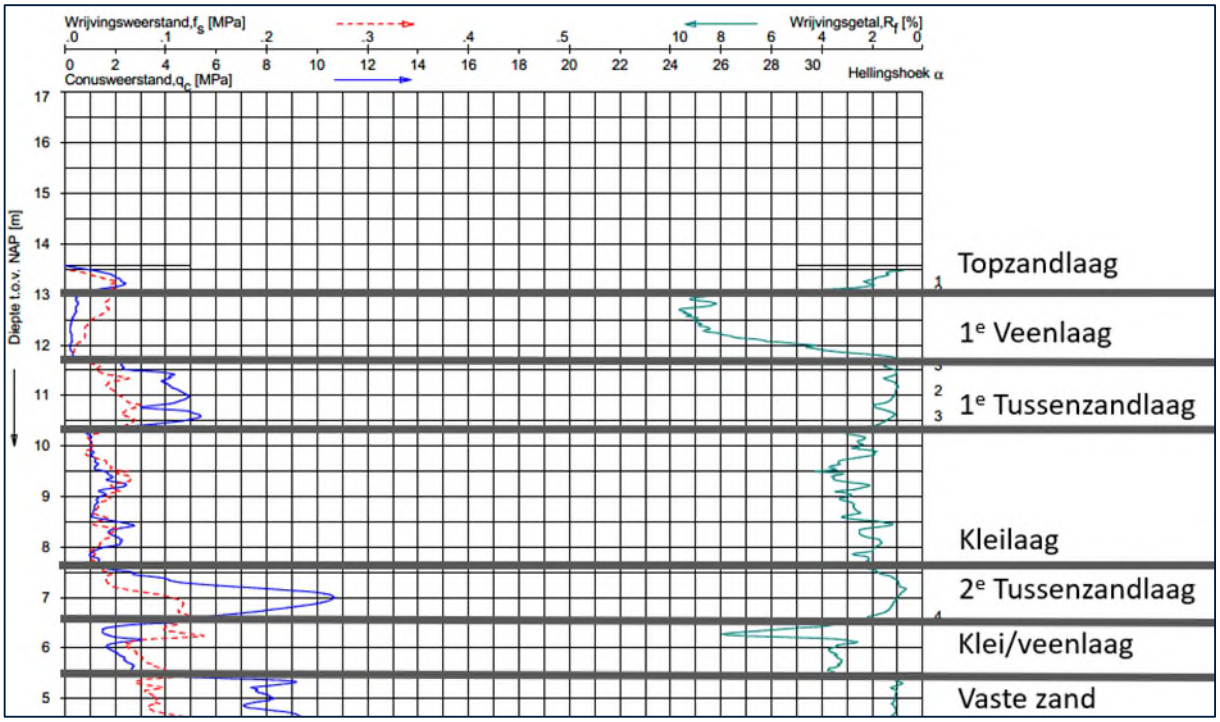
1. Dunne toplaag van veen, daaronder direct het vaste zand (figuur 3.4);
2. Een topveenlaag met daaronder tot geringe diepte afwisselend zand- en dunne zettingsgevoelige laagjes (veen, klei of silt), daaronder het vaste zand (figuur 3.5);
3. Een topveenlaag met daaronder tot grotere diepte afwisselend zand- en (dikke) zettingsgevoelige lagen (figuur 3.6).



Figuur 3.4: Bodemtype 1, zandgronden met een dunne toplaag van veen



Figuur 3.5: Bodemtype 2, onder de topveenlaag zijn afwisselend zand en zettingsgevoelige laagjes (veen, klei of silt) aanwezig

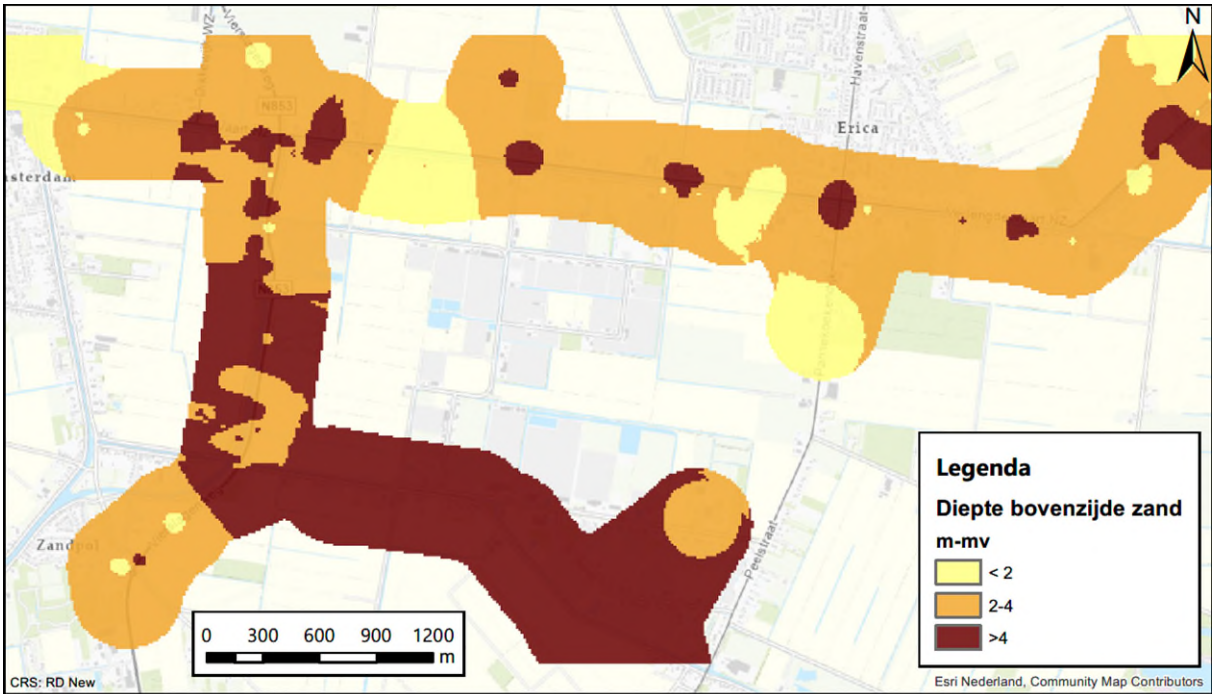


Figuur 3.6: Bodemtype 3, onder de topveenlaag een dik gelaagd pakket waarin afwisselend veen-, zand- en kleilagen voorkomen.

De dikte van het veenpakket varieert sterk over het projectgebied. Lokaal is helemaal geen veen aanwezig, terwijl op andere locaties een metersdik veenpakket is aangetroffen.

In figuur 3.7 is de globale dikte vanaf maaiveld tot aan de bovenzijde van het vaste zand (laag 2) weergegeven, gebaseerd op de verzamelde sonderingen. Zoals genoemd zijn vanwege de anonimiteit de sondeerlocaties en -grafieken niet in dit rapport gepresenteerd. Wel wordt hier opgemerkt dat de 3 op de kaart weergegeven categoriën globaal overeenkomen met de 3 hierboven beschreven bodemtypen.

Opgemerkt wordt dat in figuur 3.7 niet de dikte van het veen wordt weergegeven, aangezien zich in dit pakket ook zandlagen tussen de veenlagen bevinden. Omdat in het midden van het projectgebied geen sonderingen beschikbaar zijn is hier geen informatie op de kaart weergegeven.



Figuur 3.7: Globale diepte (m-mv) van het vaste zand op basis van de verzamelde sonderingen in het projectgebied.

3.2.4 Eigenschappen verschillende bodemlagen in relatie tot bodemdaling

De 'draagkracht' van de bodem geeft aan in welke mate de ondergrond gevoelig is voor zetting. Zetting (het samendrukken van grond) treedt op doordat de belasting op de ondergrond verhoogd wordt. Een voorbeeld hiervan is het gewicht van bouwwerken. Zand is een stevig materiaal dat niet goed is samen te drukken. Daardoor zijn zettingen in zandgronden (verwaarloosbaar) klein. Klei en veen zijn veel slapper en veel meer samen te persen dan zand. Door zetting kunnen gebouwen en wegen verzakken, er ontstaat bijvoorbeeld schade aan muren, leidingen of wegdek.

Een andere mogelijke oorzaak van zetting is de daling van grondwater in gebieden waar, zoals in het projectgebied, veel veen (of lokaal klei) aanwezig is. Een daling van de grondwaterdruk zorgt voor een verhoging van de druk op de grond, met name veen (en in mindere mate klei) is hier gevoelig voor. Dit is vooral het geval wanneer de grondwaterstand/stijghoogte daalt tot beneden de in het verleden opgetreden lage waarde. In den regel treden zettingen als gevolg van lage grondwaterstanden pas op indien de historisch lage grondwaterstand/stijghoogte wordt onderschreden.

Ook kan het droogvallen van veenlagen zorgen voor extra bodemdaling als gevolg van veenoxidatie. Veen bestaat grotendeels uit plantaardig materiaal. Zoals alle plantaardig materiaal verteert ook veen. Als het veen onder water staat, gaat dat verteren heel langzaam. Wanneer het veen door grondwaterdaling droog komt te staan ontstaat een chemische reactie tussen het veen en zuurstof (oxidatie) uit de lucht verdwijnt het veen en zakt de bodem.

De grootte en snelheid van de bodemdaling zijn afhankelijk van de eigenschappen en samenstelling van de zettingsgevoelige lagen. Met name veen reageert relatief snel op droogvallen en/of verlagingen beneden de historisch lage grondwaterstand.

Kortom: Hoe meer veen in de ondergrond zit, hoe slapper de grond en hoe groter de kans op zettingen bij een belastingverhoging/grondwaterstandsdaling.

Om te zorgen dat een bouwwerk niet zakt wordt doorgaans de draagkracht van zandlagen gebruikt. Om draagkracht te ontlenen aan de dieperliggende zandlagen kunnen bijvoorbeeld paalfunderingen of stiepen (een soort gemetselde palen) worden toegepast, of kan het veen worden uitgegraven en vervangen door zand (grondverbetering).

3.3 Open water

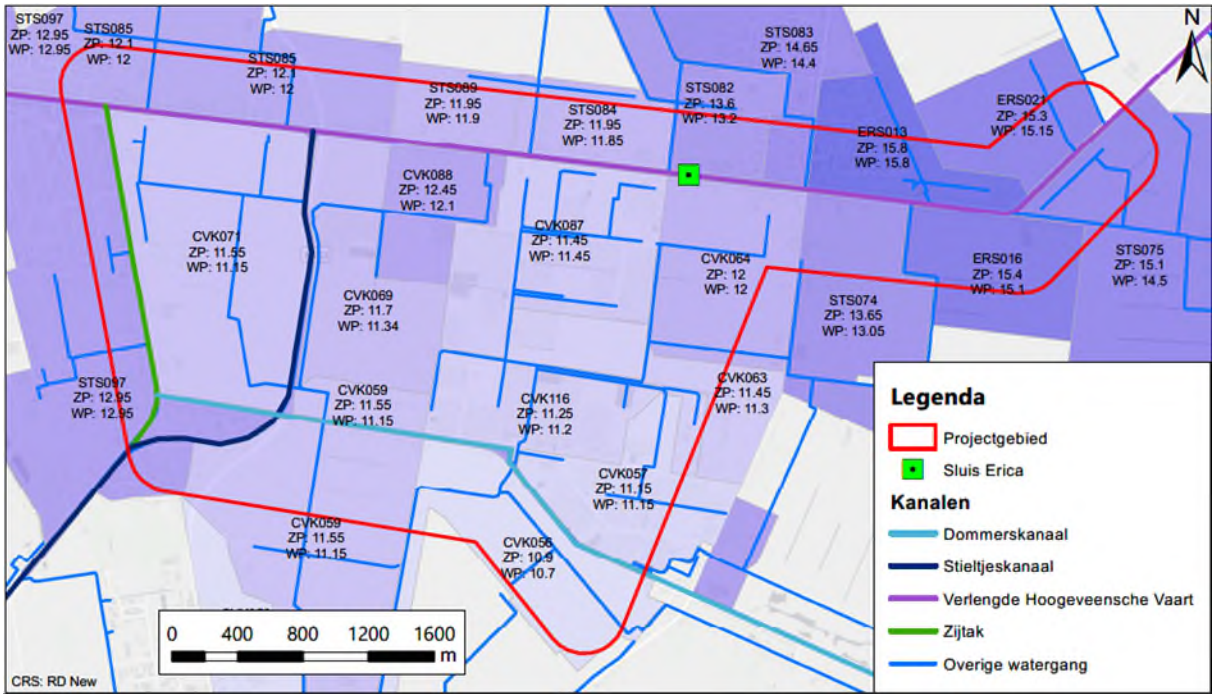
Binnen het projectgebied zijn 3 grote waterlopen gelegen (zie figuur 3.8). In het noorden van het projectgebied ligt in west-oost-richting de Verlengde Hoogeveense Vaart, die Nieuw-Amsterdam en Erica verbindt. In het zuiden van het projectgebied loopt het Dommerskanaal, ook in west-oost-richting. Deze 2 kanalen worden in noord-zuid richting verbonden door de 'Zijtak' en het Stieltjeskanaal.

Het peil van het open water is belangrijk omdat het grondwaterpeil afhankelijk kan zijn van het oppervlaktewaterpeil. Het oppervlaktewaterpeil heeft een grote invloed wanneer het oppervlaktewater in open verbinding staat met het grondwater, zoals bij een waterloop die een zandlaag doorsnijdt. Bij waterlopen die in klei insnijden of waterlopen binnen damwanden en een (dikke) sliblaag, reageert de grondwaterstand minder snel op het oppervlaktewaterpeil (en omgekeerd). Op basis van de verstrekte gegevens omtrent de diepte van de waterlopen, in combinatie met de beschikbare bodemgegevens (waaronder het uitgevoerde grondonderzoek), kan worden gesteld dat met name de noordwestelijke zone van het onderzoeksgebied er een open verbinding is met het grondwater. In het noordoostelijke en het zuidelijke deel van het onderzoeksgebied is het resterende klei/veenpakket dusdanig dik (dus een groot waterremmend vermogen) dat de waterlopen een geringe invloed hebben op de grondwaterstand/stijghoogte. In het middengebied is geen informatie omtrent de diepere bodemopbouw beschikbaar.

3.3.1 Peilgebieden

Het Dommerskanaal, Stieltjeskanaal, de Zijtak en de Verlengde Hoogeveense vaart ten westen van de sluis te Erica vormen samen 1 peilvak (STS097) met een jaarrond streefpeil van NAP +12,95 m. De Verlengde Hoogeveense Vaart ten oosten van de sluis heeft met NAP +15,8 m een significant hoger streefpeil (peilvak ERS013).

In figuur 3.8 zijn de watergangen, peilvakken en bijbehorende streefpeilen in het projectgebied weergegeven.

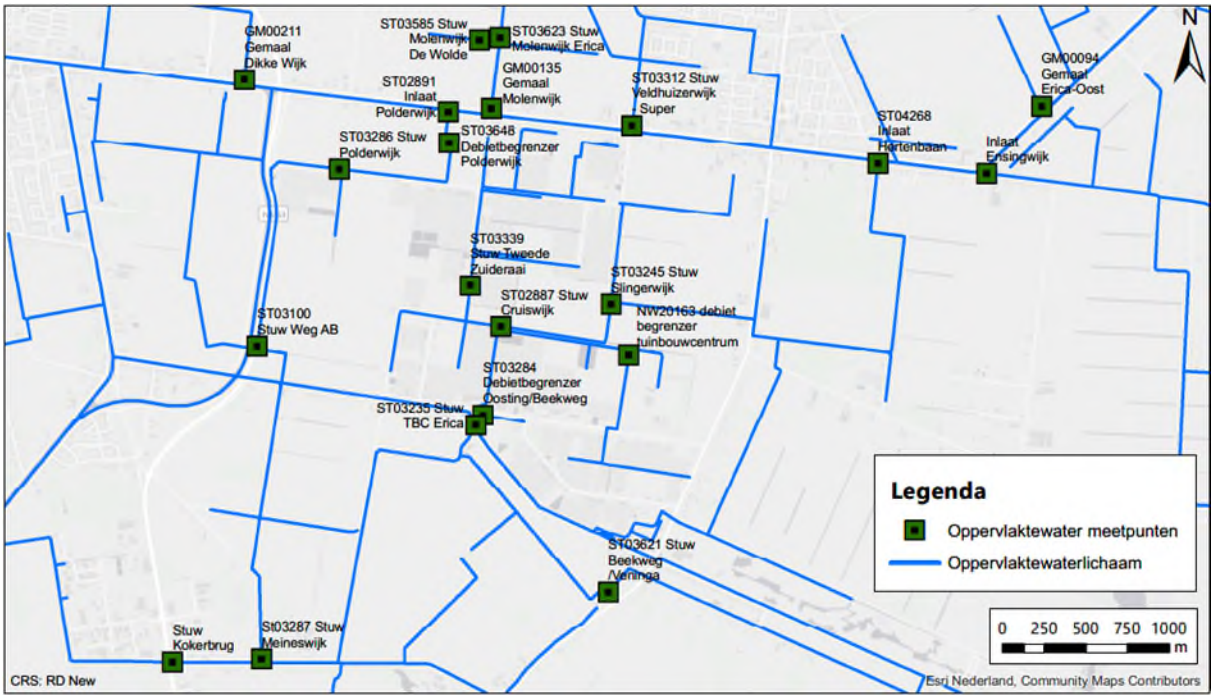


Figuur 3.8: Overzicht oppervlaktewater en peilgebieden projectgebied. Hoe donkerder blauw het peilvak hoe hoger het peil.

Door het waterschap zijn de waterbeheerplannen vanaf 2002 aangeleverd. Hieruit blijkt dat sinds 2002, dus ver voordat de meeste schades zijn gemeld, geen veranderingen in het peilbeheer hebben plaatsgevonden. Voor een deel van de peilgebieden (waaronder het Dommerskanaal, Zijtak en Verlengde Hoogeveense Vaart ten westen van sluis Erica) zijn ontwerptekeningen van kunstwerken aangeleverd waaruit blijkt dat de ontwerppeilen al in de jaren 1960 op hetzelfde niveau lagen als vandaag.

3.3.2 Metingen oppervlaktewaterpeil

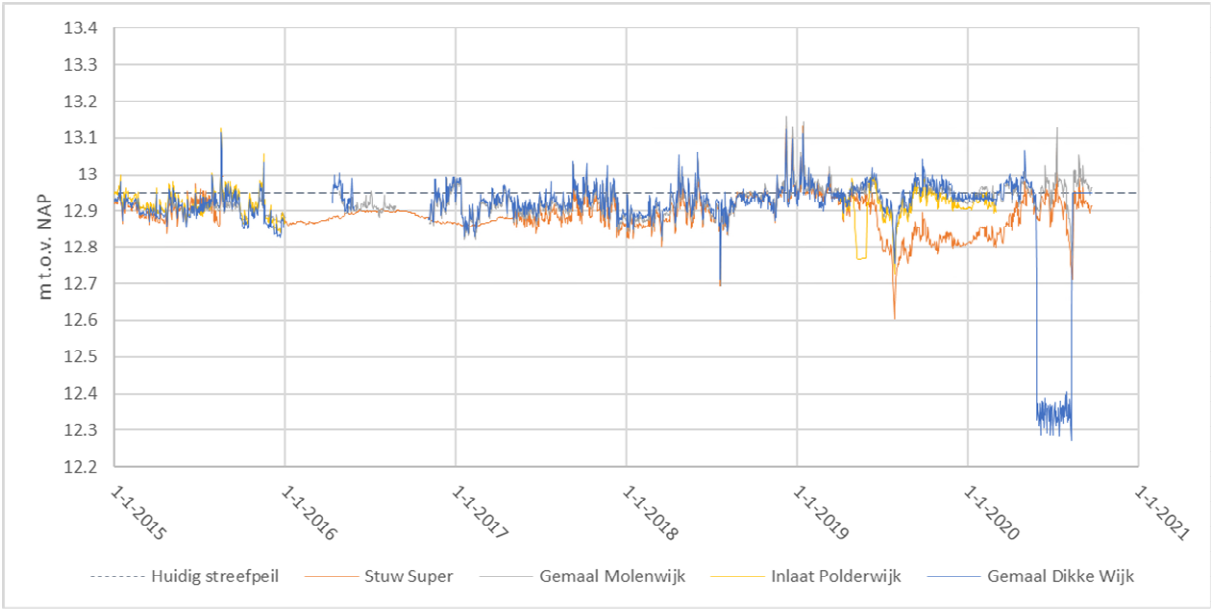
Aanvullend op de waterbeheerplannen zijn metingen van de waterstand ter plaatse van een aantal kunstwerken in het projectgebied aangeleverd. In figuur 3.9 zijn deze meetpunten weergegeven.



Figuur 3.9: Overzicht meetpunten oppervlaktewaterpeil projectgebied

Kanalen ten westen van sluis Erica

Binnen het peilgebied STS097 (kanalen ten westen van sluis Erica) is het waterpeil gemeten ter plaatse van de gemalen Molenwijk en Dikke Wijk, de stuw Veldhuizerwijk/Super en de inlaat Polderwijk. In figuur 3.10 zijn de metingen op deze punten weergegeven.

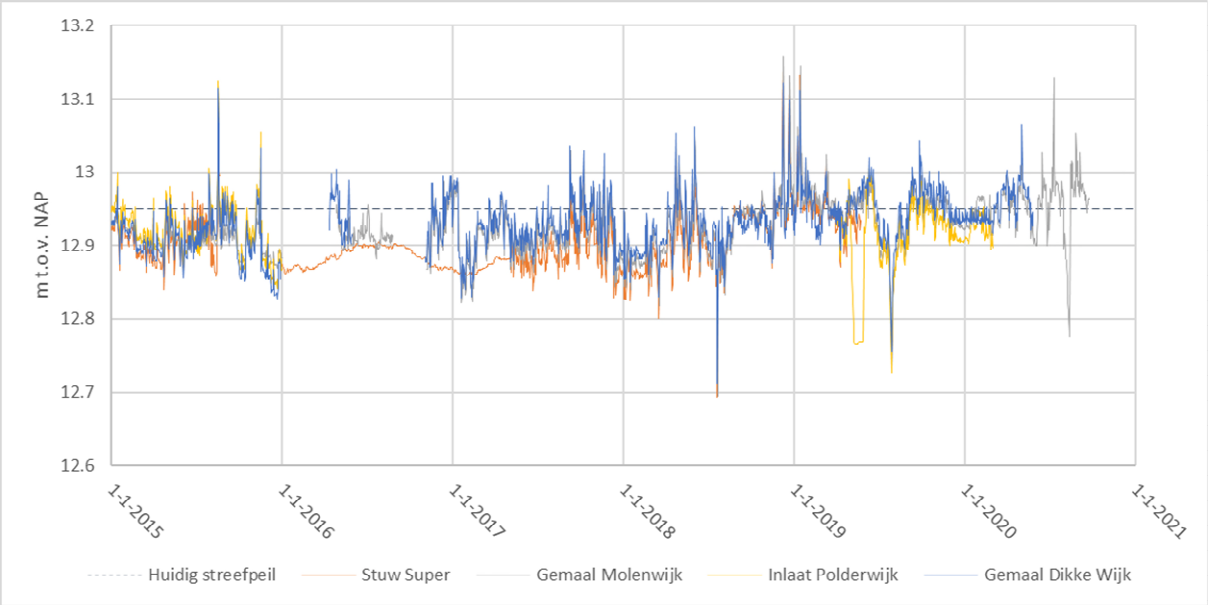


Figuur 3.10: Metingen waterstanden in peilgebied STS097

In de metingen ter plaatse van gemaal Dikke Wijk lijkt in de zomer van 2020 het waterpeil ineens ca. 0,5 m lager te liggen. Dit betreft een meetfout veroorzaakt door werkzaamheden aan het gemaal.

De meting ter plaatse van stuw 'Super' ligt in een lange periode in 2019/2020 onder de overige meetpunten in het kanaal. Door het waterschap is aangegeven dat deze afwijkende meting hoogstwaarschijnlijk wordt veroorzaakt door verloop/drift in de loggers.

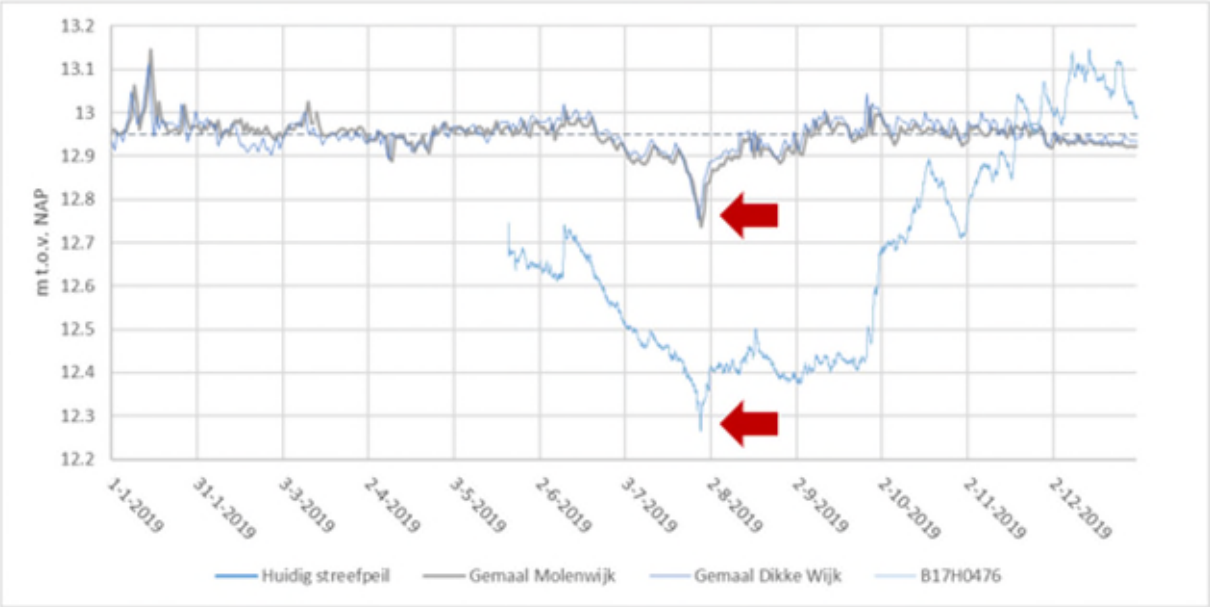
Wanneer bovengenoemde metingen niet worden meegenomen is te zien dat de waterstanden grotendeels binnnen een marge van ca. 10 cm van het streefpeil blijven (figuur 3.11).



Figuur 3.11: Gecorrigeerde metingen waterstanden in peilgebied STS097

In juli 2018 en juli 2019 zakt het peil kortstondig (enkele dagen) enkele decimeters. Op deze momenten was sprake van een storing in het hoofdaanvoersysteem bij objecten van waterschap Drents Overijsselse Delta (WDOD), waardoor de aanvoer onvoldoende was om het water op peil te houden. Gezien de zeer beperkte duur van de uitdaling heeft dit waarschijnlijk niet geleid tot negatieve effecten.

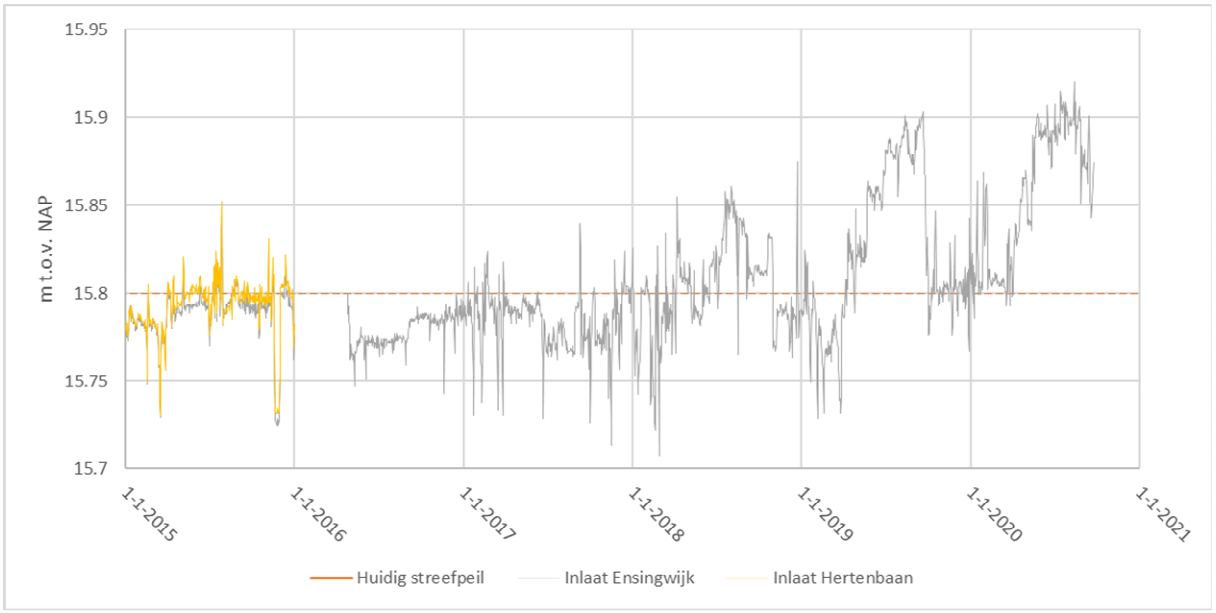
Deze daling is ook terug te zien in de freatische grondwaterstand in grondwatermeetpunt B17H0476, die naast de Verlengde Hoogeveense vaart staat (zie rode pijlen in figuur 3.12). De stuw en het meetpunt zijn in het noordwestelijke deel van het onderzoeksgebied gelegen waar de vaart het onderliggende zandpakket insnijdt. Dit verklaart waarom de freatische grondwaterstand op die locatie gevoelig is voor wijzigingen in het oppervlaktewaterpeil.



Figuur 3.12: Detail uit metingen waterstanden in peilgebied STS097 en grondwatermeetpunt B17H0476

Verlengde Hoogeveense Vaart ten oosten van sluis Erica

Binnen het peilgebied ERS013 (Verlengde Hoogeveense Vaart ten oosten van sluis Erica) is het waterpeil gemeten ter plaatse van de inlaten Ensingwijk en Hertenbaan. In figuur 3.13 zijn de metingen op deze punten weergegeven. Te zien is dat de waterstanden binnen een marge van ca. 10 cm van het streefpeil blijven.



Figuur 3.13: Metingen waterstanden in peilgebied ERS013

Overige watergangen

Ook het waterpeil in de overige watergangen is beheerd conform het beheerplan en wijkt hier niet sterk van af. In bijlage A zijn de metingen van de waterstanden en de streefpeilen in de verschillende peilgebieden weergegeven.

Conclusie open water

Met uitzondering van de noordwestelijke zone van het onderzoeksgebied kan worden gesteld delen dat het klei/veenpakket dusdanig dik (dus een groot waterremmend vermogen) dat de waterlopen een geringe invloed hebben op de grondwaterstand/stijghoogte.

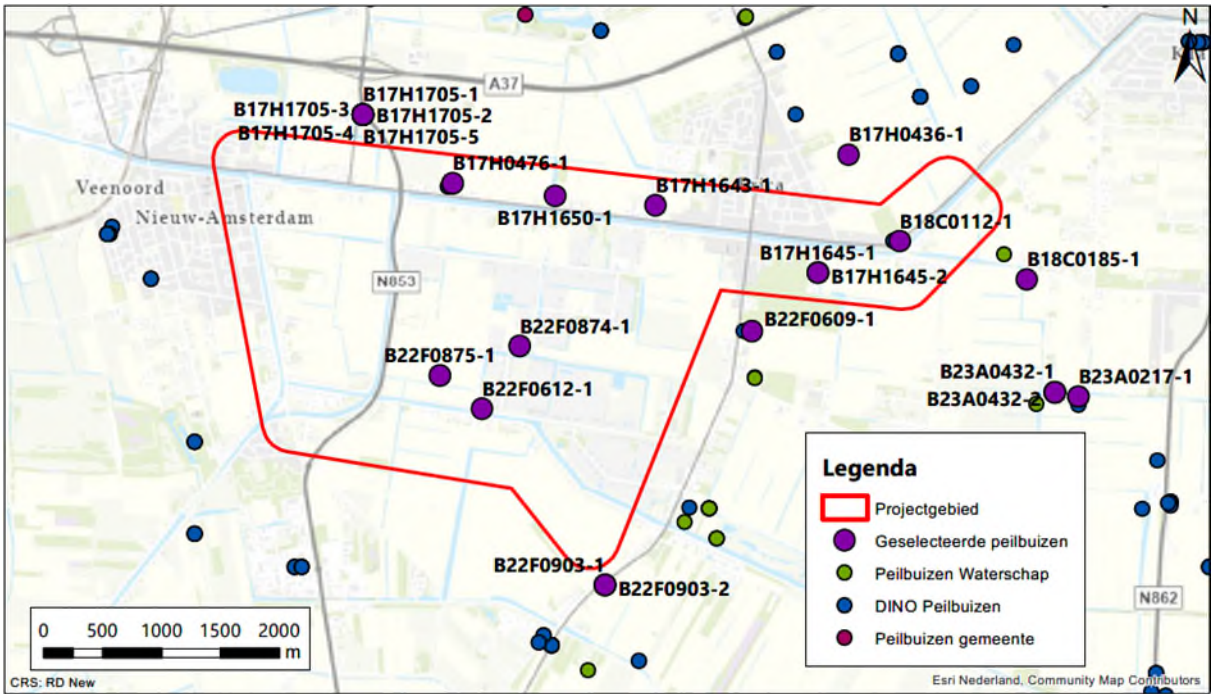
In het noordwestelijke deel is de bodem zandiger en is er waarschijnlijk een directe verbinding tussen het open water en het grondwater. Doordat het peil nagenoeg constant op het streefpeil gehouden wordt, zorgt dit niet voor langdurige daling van de grondwaterstand en dus ook niet voor bodemdaling.

3.4 Grondwaterstand

Door de gemeente Emmen en waterschap Vechtstromen zijn grondwatermeetgegevens aangeleverd. Hiernaast zijn openbaar beschikbare DINO grondwatermeetgegevens verzameld. Door Fugro zijn op locatie ook peilbuizen geplaatst waarin enkele handmatige metingen van de grondwaterstand zijn gedaan.

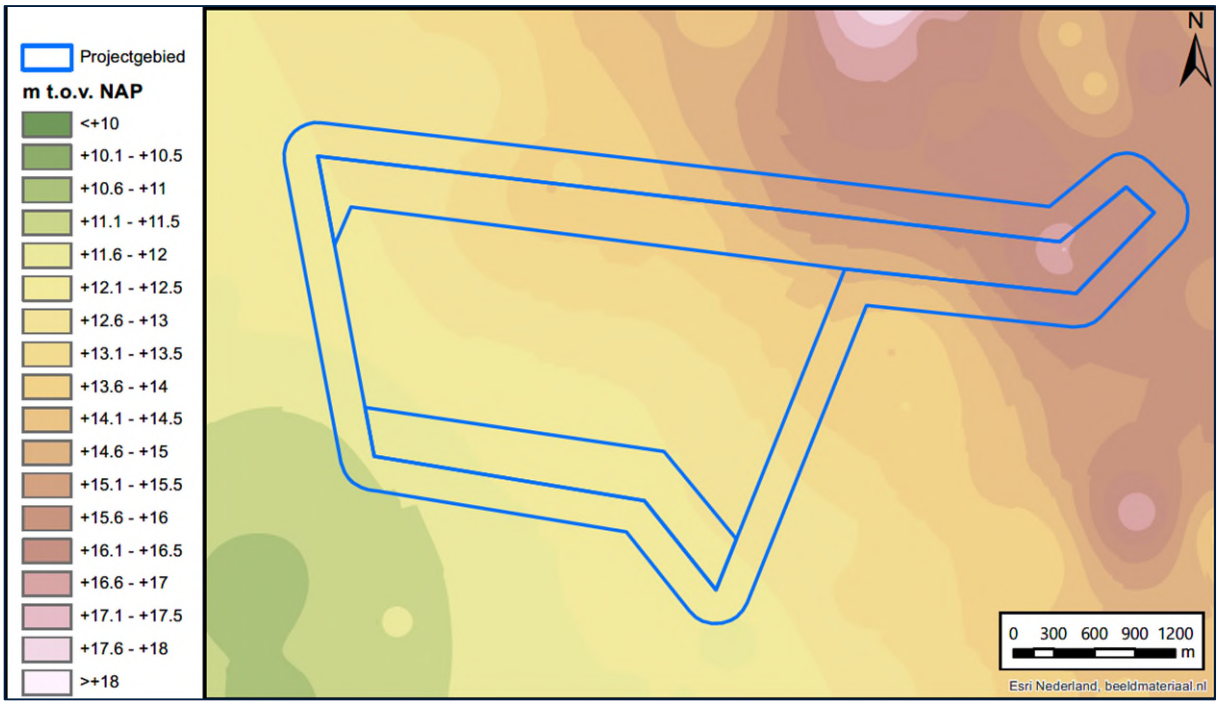
Van deze grondwatermeetpunten is een selectie gemaakt van meetpunten binnen het projectgebied, aangevuld met meetpunten nabij het projectgebied met een recente, lange meetreeks (langer dan ca. 4 jaar).

In figuur 3.14 zijn de grondwatermeetpunten weergegeven. De voor de analyse geselecteerde meetpunten zijn met paars aangegeven. De meetreeksen van deze peilbuizen zijn opgenomen in bijlage B.



Figuur 3.14: Locaties grondwatermeetpunten in en rondom projectgebied. Met paars zijn de geselecteerde meetpunten weergegeven (lange en recente meetreeks).

In figuur 3.15 is het resultaat van een interpolatie (Inverse Distance Weighting) van de gemiddelde grondwaterstand in de grondwatermeetpunten in het projectgebied weergegeven. Opgemerkt wordt dat hierbij de bodemopbouw ter plaatse van de meetpunten niet is beschouwd. Daarnaast is de exacte bodemlaag waarin wordt gemeten niet bekend. Daarom dient de kaart enkel als indicatief te worden beschouwd. Te zien is dat de grondwaterstand in het projectgebied globaal het maaiveld volgt.



Figuur 3.15: Globale gemiddelde grondwaterstand in het projectgebied

Een groot deel van de grondwatermeetpunten heeft geen recente metingen of geen lange meetreeks. Er zijn onvoldoende grondwatermeetpunten met een lange en recente meetreeks in en rond het projectgebied aanwezig om het grondwaterregime en/of eventuele trends in het projectgebied in kaart te brengen. Daarom is getracht de meetreeksen te ‘verlengen’ door ze te modelleren op basis van metingen van de neerslag/verdamping in de omgeving (zie paragraaf 6.1).

Om een betere analyse van het grondwaterregime in het projectgebied te maken is het noodzakelijk aanvullende meetpunten te plaatsen en daarin de grondwaterstand en stijghoogte langjarig te meten.

4. Onderzoek woningen in pilotgebied

4.1 Onderzoeksopzet pilotlocaties

Onderdeel van het onderzoek is het bezoeken en inspecteren van 10 woningen in het projectgebied waar (in meer of mindere mate) schade is opgetreden. Om een representatief beeld te verkrijgen van het schadebeeld zijn onderstaande selectiecriteria voor de panden gehanteerd:

- De 10 woningen dienen zoveel mogelijk verspreid over het onderzoeksgebied te zijn gesitueerd;
- Spreiding in bouwjaar;
- Spreiding in schadebeeld;
- Panden aan de Verlengde Hoogeveense Vaart aan weerszijden van de Ericasluis (i.v.m. verschillende kanaalpeilen);
- Beschikbaarheid vrijwilligers voor het onderzoek.

De deelname aan dit onderzoek is volledig anoniem en daarom is geen van de woningen in dit rapport genoemd. Wel kan worden opgemerkt dat de selectie voldoet aan bovengenoemde criteria.

Voor de geselecteerde panden is onderzocht wat de mogelijke oorzaken zijn van de opgetreden schade. Daarnaast is op basis van de beschikbare informatie een verwachting van het verdere schadeverloop in de toekomst gegeven.

Het door Fugro uitgevoerde onderzoek heeft voor iedere locatie bestaan uit een bouwkundige opname en grondonderzoek (boringen en sonderingen). Daar waar de funderingswijze en staat van de fundering tijdens de bouwkundige opname niet kon worden achterhaald is een funderingsonderzoek uitgevoerd. Bij 2 woningen zijn trillingsmetingen uitgevoerd. De resultaten van deze onderzoeken zijn in individuele rapporten gepresenteerd aan de bewoners. In voorliggende hoofdstuk zijn de bevindingen en conclusies van deze rapportages samengevat.

Voor de schades aan gebouwen zijn zowel `interne' als `externe' oorzaken van belang. Interne oorzaken komen voort uit het bouwwerk zelf, externe oorzaken zijn factoren die vanuit de omgeving op de woning inwerken. Bouwkundige gebreken en veroudering van bouwmaterialen zijn voorbeelden van interne oorzaken, externe oorzaken zijn bijvoorbeeld zettingen, trillingen en draagkracht van de bodem. Per oorzaak is nagegaan of deze in het projectgebied van toepassing is. In hoofdstuk 6 zijn de mogelijke externe oorzaken verder beschouwd.

De woningen zijn onderzocht aan de hand van onderstaande set van 8 onderzoeksvragen:

1. Zijn de panden op voldoende draagkrachtige grond gefundeerd?
2. Heeft er een verbouwing en/of uitbreiding van het gebouw plaatsgevonden of is de functie van het gebouw veranderd?

3. Is sprake van (zwaar) wegverkeer in de nabijheid van het gebouw wat trillingen veroorzaakt welke kunnen leiden tot schade aan het gebouw?
4. Is het grondwaterpeil gedaald als gevolg van dalingen in het waterpeil in de omliggende watergangen?
5. Is het grondwaterpeil door grondwateronttrekkingen verlaagd tot onder de historisch laagste grondwaterstand/stijghoogte?
6. Is sprake geweest van buitengewone droogte welke gezorgd kan hebben voor grondwaterstanden lager dan de historisch laagste grondwaterstand/stijghoogte?
7. Is sprake geweest van bodemdaling als gevolg van de winning van olie of gas?
8. Hebben er in de omgeving aardbevingen plaatsgevonden?

4.2 Onderzoeksresultaten pilotlocaties

Aangetroffen schades

Bij alle geselecteerde woningen is in meer of mindere mate schade opgetreden. Bij 2 panden is forse schade geconstateerd waarbij de veiligheid in het geding komt en constructief herstel noodzakelijk is. Van deze panden is 1 pand al hersteld. Bij 3 panden is de schade beperkt tot kleine scheuren en zakkingen van het perceel. Bij de overige 5 panden ligt de schade hier tussenin.

Bij alle woningen zijn zettingsgevoelige veenlagen (en lokaal kleilagen) aanwezig. Over het algemeen is de grondwaterstand niet hoog genoeg om de bovenste veenlaag het hele jaar nat te houden. In droge perioden kan het veen nagenoeg overal droogvallen en oxideren (autonome bodemdaling). Dit verschijnsel treedt al op sinds de oorspronkelijk aanwezige veengronden eind 19^{e} eeuw zijn ontgonnen.

Oxidatie van deze bovenste veenlaag zal in het algemeen niet leiden tot (grote) schade aan de woningen omdat de panden gefundeerd zijn op de onderliggende bodemlagen (zie verderop in dit hoofdstuk). De veenoxidatie heeft er wel toe geleid dat de tuinen, bestrating en schuren/bijgebouwen (die niet zijn gefundeerd) zijn gaan zakken. Uit de inspecties is gebleken dat er panden zijn waar de vloer “los” van de muren op het veen ligt. Daar zijn lokaal forse zakkingen van de vloer opgetreden.

De diepere zettingsgevoelige lagen in bodemtypes 2 en 3 (zie paragraaf 3.2.3) kunnen gaan zetten wanneer de belasting op deze lagen wordt verhoogd. De belasting kan worden verhoogd door bijvoorbeeld een ophoging van het maaiveld, de bouw (of verzwaring) van een constructie of door uitzakking/verlagingen van de grondwaterstand of stijghoogte tot onder de historisch lage stijghoogte.

Ad 1. Zijn de panden op voldoende draagkrachtige grond gefundeerd?

Tijdens het onderzoek zijn verschillende funderingstypes aangetroffen. De onderzochte woningen zijn allen op een niveau onder de bovenste veenlaag gefundeerd. Zakking van deze veenlaag, als gevolg van bijvoorbeeld oxidatie, zal dus geen effect hebben op de fundering van de gebouwen. Er is geen verband gevonden tussen het bouwjaar van de panden en de diepte/wijze van funderen.

Van de onderzochte woningen hebben er 4 een fundering direct op het vaste zand. Het betreft bij 1 pand een fundering op betonnen palen, bij 2 panden gemetselde stiepen (eventueel met spaarbogen) en bij 1 pand een gemetselde poer. Bij 3 van deze woningen is slechts beperkte constructieve schade opgetreden. Deze schade kan grotendeels worden verklaard door verschilzakkingen tussen aanbouwen en de originele woning, ondeugdelijke lateiconstructies en werking van de kap (zie ad 2). Aangezien deze woningen op een laag staan gefundeerd die niet zettingsgevoelig is, wordt in de toekomst geen schade als gevolg van bodemdaling aan deze panden verwacht. Bij 1 van de op het vaste zand gefundeerde woningen is wel aanzienlijke constructieve schade opgetreden. Bij dit pand is als gevolg van daling van de bovenste veenlaag de boogconstructie van de fundering lokaal boven maaiveld komen te liggen, waarna naar verwachting de mortel is uitgespoeld en de boogconstructie is ingestort.

Van 1 pand is tijdens het funderingsonderzoek achterhaald dat deze op palen staat gefundeerd, het paalpuntniveau is echter onbekend. Bij dit pand is schade opgetreden als gevolg van ongelijkmatige zakkingen en er zijn tussenzandlagen aanwezig. Mogelijk is de paalfundering dus niet op een voldoende diep niveau aangebracht.

De andere 5 onderzochte woningen staan op poeren of stiepen gefundeerd waarbij de fundering tot de bovenste tussenzandlaag reikt. Onder die tussenzandlaag bevinden zich zettingsgevoelige lagen. Bij zetting van deze lagen kunnen (verschil)zakkingen van de woning ontstaan welke kunnen leiden tot schade. Bij 1 van deze panden heeft al volledig funderingsherstel plaatsgevonden waarbij de nieuwe fundering wel op het vaste zand is aangebracht. Bij deze panden is de schade groter dan bij de op het vaste zand gefundeerde panden. Aangezien zich onder het niveau van de funderingen (behalve bij de volledig herstelde fundering) nog zettingsgevoelige lagen bevinden worden bij deze panden ook in de toekomst nog zakkingen verwacht, welke mogelijk tot aanvullende schade kunnen leiden.

Ad 2. Heeft er een verbouwing en/of uitbreiding van het gebouw plaatsgevonden of is de functie van het gebouw veranderd?

Het merendeel van de woningen (9 van de 10) is verbouwd. Bij meerdere panden is een extra verdieping, dakkapel en/of een zwaardere vloerconstructie aangebracht. Dergelijke verbouwingen zorgen voor een hogere belasting op de fundering. Over het algemeen is deze extra belasting bij het ontwerp van de verbouwing niet door een constructeur/geotechnisch adviseur beschouwd. Dit kan ertoe leiden dat delen van de fundering zwaarder worden belast dan andere, waardoor verschilzakkingen kunnen optreden welke tot schade kunnen leiden.

Dit kan zowel optreden bij op het vaste zand als op de tussenzandlaag gefundeerde objecten. Funderingen op het vaste zand hebben waarschijnlijk een hogere 'overcapaciteit' wat draagkracht betreft, waardoor de gevolgen van een belastingverhoging waarschijnlijk minder erg zijn.

Visueel zijn meerdere keren scheuren in gevels waargenomen die duiden op te grote spatkrachten als gevolg van een verzwaring van de constructie (bijvoorbeeld door het plaatsen van een dakkapel).

Ook zijn bij diverse panden uitbouwen gerealiseerd welke op een andere wijze zijn gefundeerd dan de originele woning. Zo is bijvoorbeeld de uitbouw op palen gefundeerd en de woning op stiepen. Deze uitbouwen laten dan een ander zakkingsgedrag zien dan de originele bebouwing. Als de uitbouw zonder dilatatie (scheiding tussen bouwdelen om werkingen op te kunnen vangen) direct aan de originele bebouwing is vastgemaakt, kan ter plaatse van deze verbinding schade ontstaan.

Door de gemeente Emmen zijn de bouwdossiers van de woningen verstrekt. In het archief zijn slechts van 2 van de 10 woningen de originele bouwtekeningen beschikbaar, ook zijn slechts zeer beperkt gegevens van verbouwingen beschikbaar. Voor een deel van de verbouwingen is geen vergunning aangevraagd bij de gemeente. Wanneer wel een vergunning is aangevraagd zijn er soms meer werkzaamheden uitgevoerd dan vergund. Uit de interviews met bewoners blijkt dat bij verbouwingen in de meeste gevallen geen constructeur is geraadpleegd en dat slechts zelden geotechnisch onderzoek is uitgevoerd.

Ad 3. Is sprake van (zwaar) wegverkeer in de nabijheid van het gebouw wat trillingen veroorzaakt welke kunnen leiden tot schade aan het gebouw?

Uit interviews met bewoners is naar voren gekomen dat met name bij de klinkerwegen overlast van trillingen wordt ervaren. Bij 2 woningen aan klinkerwegen zijn trillingsmetingen uitgevoerd. Daarbij is de meetkast aan de gevel het dichtst bij de weg geplaatst. Een samenvatting van de gemeten trillingen is weergegeven in tabel 4.1. De metingen zijn getoetst aan de grenswaarden uit de SBR-richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken'.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden trillingen

Meetpunt	Meetwaarde* [mm/s]
Meetpunt 1	0,3 – 0,4 (0,6 – 1,0)
Meetpunt 2	0,4 - 0,7 (0,8 – 1,4)
*Tussen haakjes vermelde waarden zijn sporadische uitschieters	

Voor de woningen geldt dat de meetwaarden aan de gevel zodanig zijn dat geen overschrijdingen van de grenswaarde (=2,1 mm/s frequentie tot 10 Hz) opgetreden zijn. Strikt conform de richtlijn SBR A kan worden geconcludeerd dat de trillingen zelf niet de oorzaak zijn geweest van de schade. Echter, hierbij wordt opgemerkt dat de SBR A een hiaat kent ten aanzien van veelvuldig optredende trillingen met een lage amplitude (lager dan de

grenswaarde), zoals doorgaans bij trillingen veroorzaakt door verkeer het geval is. In dat geval kan er sprake zijn van schade door vermoeiing (het fenomeen dat een materiaal bezwijkt onder een lang aanhoudende dynamische of wisselende belasting). Vanuit de praktijk is bekend dat waarden rond de 0,8 mm/s tot 1,5 mm/s die veelvuldig optreden tot scheurvorming kunnen leiden.

In veel gevallen zijn de optredende trillingen de katalysator die tot de scheurvorming leiden. Met andere woorden door bodemdaling of verhogingen van de belasting op de fundering kunnen verschilzakkingen/scheefstand in een gebouw optreden, waarbij geen zichtbare scheurvorming is opgetreden. In het gebouw hebben zich daarbij spanningen opgebouwd. Als gevolg van de trilling wordt vervolgens de breukspanning (tijdelijk) overschreden, waardoor scheurvorming optreedt.

Trillingen zijn dus hoogstwaarschijnlijk niet de primaire oorzaak van de schades, maar kunnen wel het laatste zetje hebben gegeven bij de scheurvorming.

Ad 4. Is het grondwaterpeil gedaald als gevolg van dalingen in het waterpeil in de omliggende watergangen?

Nee, het peilbeheer van het open water is niet veranderd en het oppervlaktewaterpeil is goed op peil gebleven (zie paragraaf 3.3). Eventuele dalingen van de grondwaterstand zijn dus niet veroorzaakt door dalingen van het oppervlaktewaterpeil.

Ad 5. Is het grondwaterpeil door grondwateronttrekkingen verlaagd tot onder de historisch laagste grondwaterstand/stijghoogte?

In de nabijheid van enkele pilotlocaties zijn bronbemalingen uitgevoerd. Als aan bepaalde voorwaarden wordt voldaan (zie paragraaf 6.2.1) hoeft voor een grondwateronttrekking geen vergunning te worden aangevraagd. Een melding volstaat dan en in dat geval is het in dit gebied niet verplicht de verwachte effecten op de omgeving te beschouwen. Omdat de effecten niet bekend zijn, zijn de dichtst bij de pilotlocaties gelegen onttrekkingen met een grondwatermodel (zie paragraaf 6.2.1) globaal doorgerekend. Ook zijn in het gebied meerdere onttrekkingen voor beregening van de landbouw en ten behoeve van gietwater in de glastuinbouw aanwezig (zie paragraaf 6.2.2). Als gevolg van deze onttrekkingen is de grondwaterstand mogelijk lokaal verlaagd tot onder de historisch laagste grondwaterstand.

Ad 6. Is sprake geweest van buitengewone droogte die gezorgd kan hebben voor grondwaterstanden lager dan de historisch laagste grondwaterstand/stijghoogte?

Ja, de zomers van de jaren 2018 en 2019 waren uitzonderlijk droog (zie paragraaf 6.1.1). In droge jaren is ook meer water in landbouw en glastuinbouw nodig, wat dit effect nog eens versterkt.

Ad 7. Is sprake geweest van bodemdaling als gevolg van de winning van olie of gas?

Ja, er is sprake geweest van bodemdaling in het gebied. Deze bodemdaling is echter zeer gering en gelijkmatig over het gehele gebied en zal daarom niet leiden tot schade (zie paragraaf 6.4).

Ad 8. Hebben er in de omgeving aardbevingen plaatsgevonden?

Door het KNMI is de aardbevingscatalogus van Nederland opgesteld. In deze catalogus zijn de natuurlijk opgetreden aardbevingen vanaf 1911 opgenomen en de door delfstoffenwinning geïnduceerde aardbevingen vanaf 1986. In en rond het projectgebied zijn geen significante aardbevingen geweest. Er zijn wel enkele geïnduceerde aardbevingen geweest met een magnitude op de schaal van Richter lager dan 2. Een dergelijke aardbeving wordt niet gevoeld door de mens, maar wel geregistreerd door seismografen en zal geen schade veroorzaken.

4.3 Conclusies onderzoek pilotlocaties

Bij alle geselecteerde woningen is in meer of mindere mate schade opgetreden. Deze schade is vooral opgetreden bij panden welke niet op het vaste zand zijn gefundeerd. Bij het merendeel van de panden die wel op het vaste zand zijn gefundeerd is de schade beperkt. Daar wordt de schade grotendeels veroorzaakt door verschilzakkingen tussen aanbouwen en de originele woning, ondeugdelijke lateiconstructies en werking van de kap. Bij de panden welke niet op het vaste zand zijn gefundeerd is de schade groter dan bij de op het vaste zand gefundeerde panden. Bij deze panden kan zetting van dieper gelegen lagen zorgen voor verschilzakkingen welke kunnen leiden tot schade.

Het merendeel van de woningen is verbouwd. Verbouwingen kunnen zorgen voor een hogere belasting op de fundering, met mogelijk verschilzakkingen en schade tot gevolg. Bij een deel van de verbouwingen is geen vergunning aangevraagd. Doorgaans is geen constructeur geraadpleegd of geotechnisch onderzoek uitgevoerd.

Uit het trillingsonderzoek volgt dat trillingen hoogstwaarschijnlijk niet de primaire oorzaak van de schades zijn, maar kunnen wel het laatste zetje hebben gegeven bij de scheurvorming.

Het grondwaterpeil er plaatse van de pilotlocaties is niet gedaald als gevolg van dalingen van oppervlaktewaterpeil. Wel is het grondwaterpeil ter plaatse van de pilotlocaties waarschijnlijk gedaald tot onder de historisch lage grondwaterstand als gevolg van neerslagtekort en grondwateronttrekkingen.

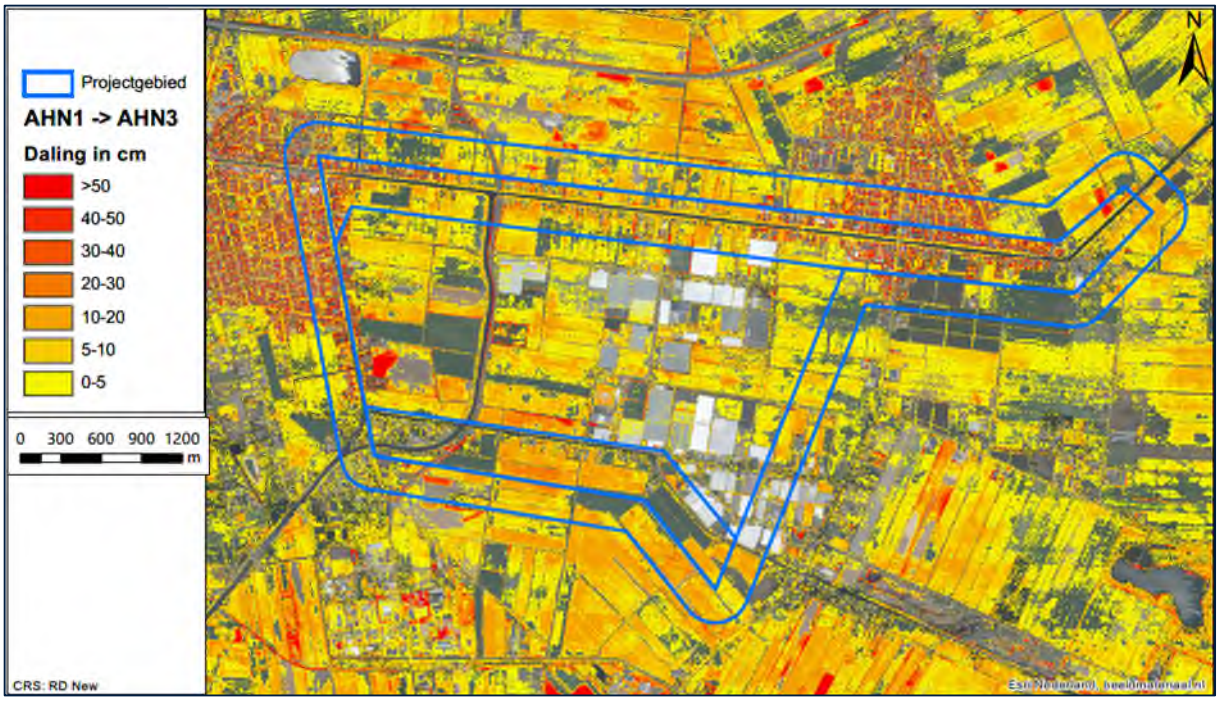
Er is ter plaatse van de pilotlocaties bodemdaling als gevolg van olie- of gaswinning opgetreden, maar aangezien deze gering en gelijkmatig is heeft deze niet geleid tot schade. In en rond het projectgebied zijn geen significante aardbevingen geweest.

5. Bodemdaling

Uit hoofdstuk 4 volgt dat een belangrijke mogelijke externe oorzaak van de opgetreden schade bodemdaling is. In dit hoofdstuk wordt nagegaan in hoeverre bodemdaling is opgetreden in het projectgebied.

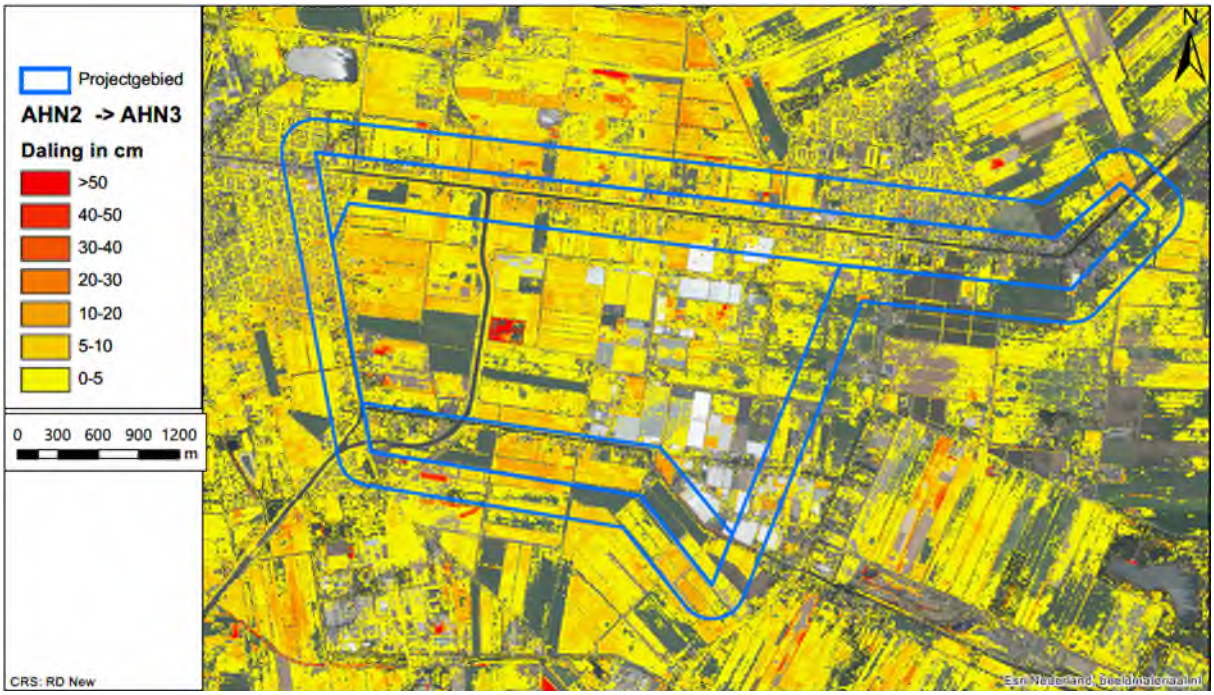
5.1 Historische bodemdaling AHN-hoogtekaarten

Om een globale indruk te krijgen van de opgetreden bodemdaling is het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) gebruikt. Het AHN is een openbaar beschikbare digitale hoogtekaart van Nederland. De metingen van AHN versie 3 (5 meter raster DTM, ingemeten in 2019) zijn vergeleken met de metingen van AHN versie 2 (5 meter maaiveld raster, ingemeten in 2012) en AHN versie 1 (5 meter maaiveld raster, ingemeten in 1996-1997). Deze vergelijkingen zijn weergegeven in figuur 5.1 en figuur 5.2.



Figuur 5.1: Vergelijking metingen AHN1 (1996-1997) en AHN3 (2019) gepresenteerd op luchtfoto

In figuur 5.1 is rondom woningen in Nieuw-Amsterdam en Erica een grote daling weergegeven. Dit betreft een fout als gevolg van een verschil tussen AHN1 en AHN2 in de filtering van panden. In AHN1 is de grens van de panden minder nauwkeurig, hierdoor lijkt het alsof er meters zakking (de hoogte van de panden) is opgetreden rondom deze panden. Dit is in werkelijkheid niet het geval.



Figuur 5.2: Vergelijking metingen AHN2 (2012) en AHN3 (2019) gepresenteerd op luchtfoto

In de bovenstaande vergelijkingen is te zien dat de AHN-metingen in vrijwel het gehele projectgebied een daling van het maaiveld van enkele centimeters tot enkele decimeters in de periode 1996-2019 laten zien.

Hierbij dient te worden opgemerkt dat de AHN-metingen een beperkte nauwkeurigheid hebben, dus de absolute bodemdaling op een punt kan (sterk) afwijken[1]. Daarentegen kan wel worden geconcludeerd dat nagenoeg het gehele gebied aan bodemdaling onderhevig is.

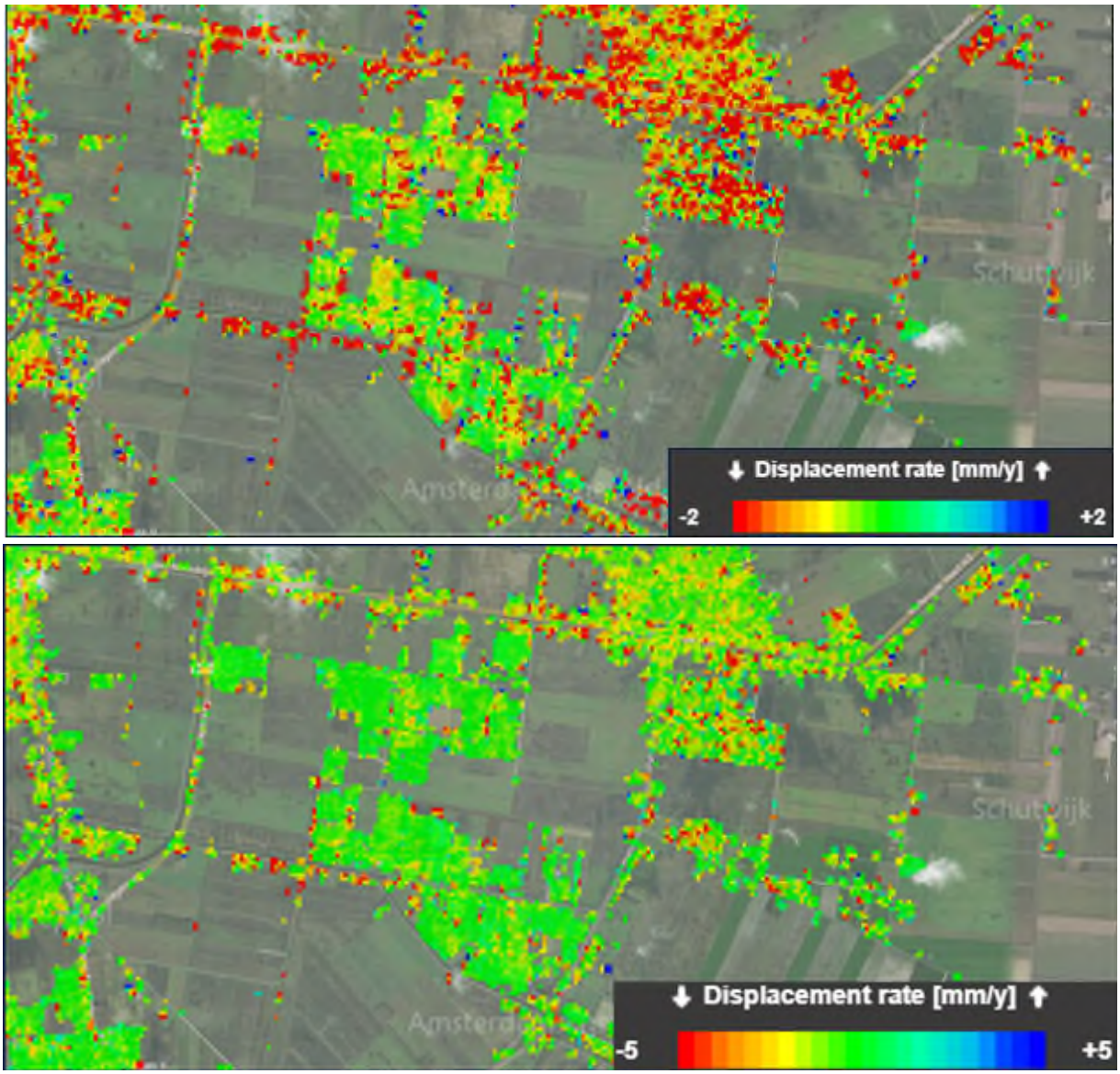
[1] De AHN2 en AHN3 bestanden hebben een hoogtenauwkeurigheid van 5cm stochastisch en 5 cm systematisch. Dat betekent dat er afwijkingen toegestaan zijn van 10 cm voor 68% van de gevallen en 15 cm voor 95% van de gevallen. Bij AHN1 is dit zelfs 35 cm voor 95% van de gevallen. In het meest ongunstige geval zou bijvoorbeeld het AHN1 op een bepaald deel te laag liggen en het AHN3 te hoog. Beiden voldoen dan aan de specificaties, maar bij bewerkingen als aftrekken kan dit grote verschillen opleveren.

5.2 Satellietmetingen (InSar)

Aanvullend op de AHN data zijn ook satellietmetingen (InSar) in de periode 2015-2020 geanalyseerd. InSAR staat voor Interferometric Synthetic Aperture Radar. Deze satellieten nemen beelden op van het aardoppervlak en die worden gecombineerd om langzame vervormingspatronen op de grond te visualiseren. De InSAR metingen vinden minimaal 4 maal per week plaats en bestaan uit de reflecties van radarsignalen, uitgezonden door satellieten, op punten in het gebied. Deze punten bevinden zich vaak op huizen, straten en andere infrastructuur. Voor het meten van onverhard oppervlak zijn deze metingen daarom minder geschikt.

5.2.1 Daling van het maaiveld

In figuur 5.3 zijn de metingen van de verplaatsing van punten op het maaiveld weergegeven. Gebieden waar geen zakking heeft plaatsgevonden zijn in het groen weergegeven, met rood zijn gebieden met zakkingen groter dan 2 mm/jaar (1e figuur) of 5 mm/jaar (2e figuur) weergegeven.



Figuur 5.3: InSar satellietmetingen van verplaatsing van het maaiveld in de periode 2015-2020

In figuur 5.3 is te zien dat over het gehele projectgebied maaiveldzakkingen groter dan 2 mm/jaar zijn gemeten. Lokaal zijn zakkingen groter dan 5 mm/jaar opgetreden.

Door de aanwezigheid van kassen in het projectgebied is het beeld in figuur 5.3 enigszins vertekend. Ter plaatse van kassen lijkt de satelliet namelijk de vloer in de kassen te meten, wat geen natuurlijk maaiveld is maar waarschijnlijk goed is gefundeerd. Hierdoor lijkt het alsof ter plaatse van de kassen niet of nauwelijks maaiveldzakkingen optreden, wat in werkelijkheid niet zo is.

5.2.2 Zakking van panden

De gemeten zakking van de panden in het projectgebied varieert sterk. Over het gehele projectgebied komen zakkingen van 1 à 2 mm/jaar voor, echter lokaal zijn zakkingen gemeten van 5 mm (tientallen panden) of zelfs 10 mm/jaar (enkele panden). In het algemeen kunnen de meeste panden, afhankelijk van de staat, beter een "rechtstandige zakking" (alle gevels ondervinden dezelfde zakking) verwerken dan een hoekverdraaiing (ongelijkmatige zakking van de gevels).

Voor maximaal toelaatbare zakking van een gevel zijn geen algemeen aanvaarde waarden beschikbaar. In het algemeen worden voor bouwwerkzaamheden maximaal 10 tot 15 mm toegestaan. Voor de maximaal toelaatbare relatieve hoekverdraaiing van de gevels zijn wel richtlijnen beschikbaar. Deze zijn in tabel 5.1 weergegeven. In de tabel wordt geen onderscheid gemaakt in de staat van de bebouwing. De waarden gelden naar alle waarschijnlijkheid voor nieuwe en in goede staat verkerende bouwwerken. Voor bebouwing die al een zakkingsverschil heeft ondergaan moeten strengere eisen worden opgesteld. Ook wordt opgemerkt dat in de praktijk al architectonische schade (zoals haarscheurtjes) kan ontstaan vanaf een relatieve hoekverdraaiing vanaf 1:1.200 tot 1:1.500.

Tabel 5.1: Toelaatbare grenswaarden voor de relatieve rotatie

Schade-categorie*	Schade-klasse*	Omschrijving*	Scheur-wijdte*	Karakterisering schadebeeld**	Indicatie relatieve hoekverdraaiing***
Esthetisch	0	Verwaarloos-baar	< 0,1 mm	Haarscheurtjes	1:600 (neerwaarts) 1:1.200 (opwaarts)
	1	Zeer licht	0,1 - 1 mm	Eventueel nabehandeling uit esthetische overwegingen	
	2	Licht	1- 5 mm	Eenvoudig te dichten, eventueel oppervlakte-behandeling met het oog op gewenste waterdichtheid	
Functioneel	3	Matig	5 - 15 mm	Grondige behandeling van scheuren, verzekeren van waterdichtheid, herstel van uiterlijk	1: 300 (neerwaarts) 1: 600 (opwaarts)
	4	Ernstig	15 - 25 mm	Grondige reparatie en gedeeltelijke vervanging	
Constructief	5	Zeer ernstig	>25 mm	Gedeeltelijke of volledige sloop, gevaar voor instabiliteit	1: 150 (neerwaarts) 1: 300 (opwaarts)

* COB, *Aanbevelingen voor het ontwerp van bouwkuipen in stedelijke omgeving*, 2012

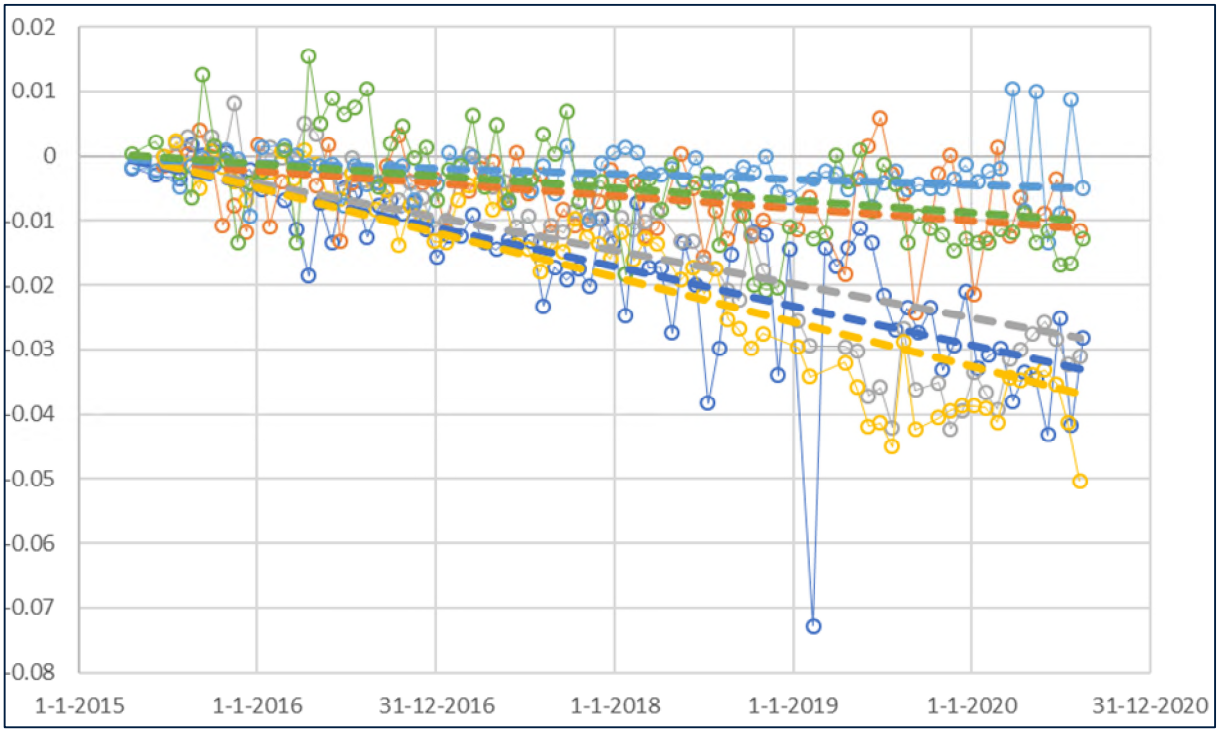
** Burland, J.B., Broms, B.B., De Mello, V.F.B. *Behaviour of Foundations and Structures*, 1977

*** De Kock, *Toelaatbare grenswaarden relatieve rotatie,* 1986

Voor huisaansluitingen (kabels en leidingen) geldt dat deze al kunnen bezwijken voordat de in de tabel genoemde hoekverdraaiingen zijn opgetreden.

In het projectgebied geldt dus voor een groot deel van de panden waar een zakking van 1 à 2 mm/jaar optreedt dat na tientallen jaren zakken schade kan ontstaan. Bij de tientallen panden waar zakkingen van 5 mm/jaar of de enkele panden met zakkingen van 10 mm/jaar kan al na enkele jaren schade optreden.

In figuur 5.4 is als voorbeeld de verplaatsing van de meetpunten op een pand in het projectgebied waar een grote zakking is gemeten (gemiddeld 5,6 mm/jaar) in een grafiek weergegeven.



Figuur 5.4: Voorbeeld van gemeten verplaatsing meetpunten) op woonhuis in projectgebied (y -as = verplaatsing meetpunt in m

In deze grafiek is tevens de lineaire trend van de metingen opgenomen. Te zien is dat sommige punten in de periode 2015-2020 ca. 4 cm zijn gezakt, terwijl andere punten slechts ca. 1 cm zijn gezakt. Dit betekent dat er binnen de woning een verschilzakking van ca. 3 cm is opgetreden. Ervan uitgaande dat een gemiddelde woning ca. 10 m breed is geeft dit een hoekverdraaiing van ca. 1:300. De verschilzakkingen hebben bij deze woning dus waarschijnlijk geleid tot constructieve schade. Dergelijke verschilzakkingen zijn bij diverse woningen waargenomen.

De opgetreden zakkingen kunnen zijn veroorzaakt door interne oorzaken (zoals bijvoorbeeld onvoldoende draagkrachtige funderingen of belastingsverhogingen als gevolg van verbouwingen, zie hoofdstuk 4) of door externe oorzaken. De mogelijke externe oorzaken worden in hoofdstuk 6 nader onderzocht.

6. Mogelijke externe oorzaken bodemdaling

Uit het onderzoek ter plaatse van de woningen in het pilotgebied (zie hoofdstuk 4) volgt dat bodemdaling mede een oorzaak is voor de opgetreden schades.

Zoals in paragraaf 3.2.4 genoemd zijn er op basis van de bodemopbouw in dit gebied 2 mechanismen van belang welke kunnen zorgen voor bodemdaling: zetting van samendrukbare grondlagen en veenoxidatie.

Zakkingen als gevolg van lokale belastingverhogingen (bijvoorbeeld nieuwbouw, verbouwingen en ophogingen) en de hieruit volgende zakkingen/schades zijn beschouwd in hoofdstuk 4 en in de individuele rapportages van de pilotlocaties.

Naast deze lokale belastingverhogingen kan een daling van de grondwaterstand/ stijghoogte tot onder de historisch laagste grondwaterstand/stijghoogte zorgen voor een belastingverhoging op de zettingsgevoelige lagen, met zetting tot gevolg. Daarnaast kan een lage grondwaterstand leiden tot veenoxidatie (zie paragraaf 3.2.4). In dit hoofdstuk wordt beschouwd of daling van de grondwaterstand/stijghoogte een oorzaak is van de bodemdaling.

Naast zetting en veenoxidatie als gevolg van een lage grondwaterstand/stijghoogte wordt ook bodemdaling als gevolg van gas/oliewinning beschouwd.

6.1 Daling van de grondwaterstand/stijghoogte

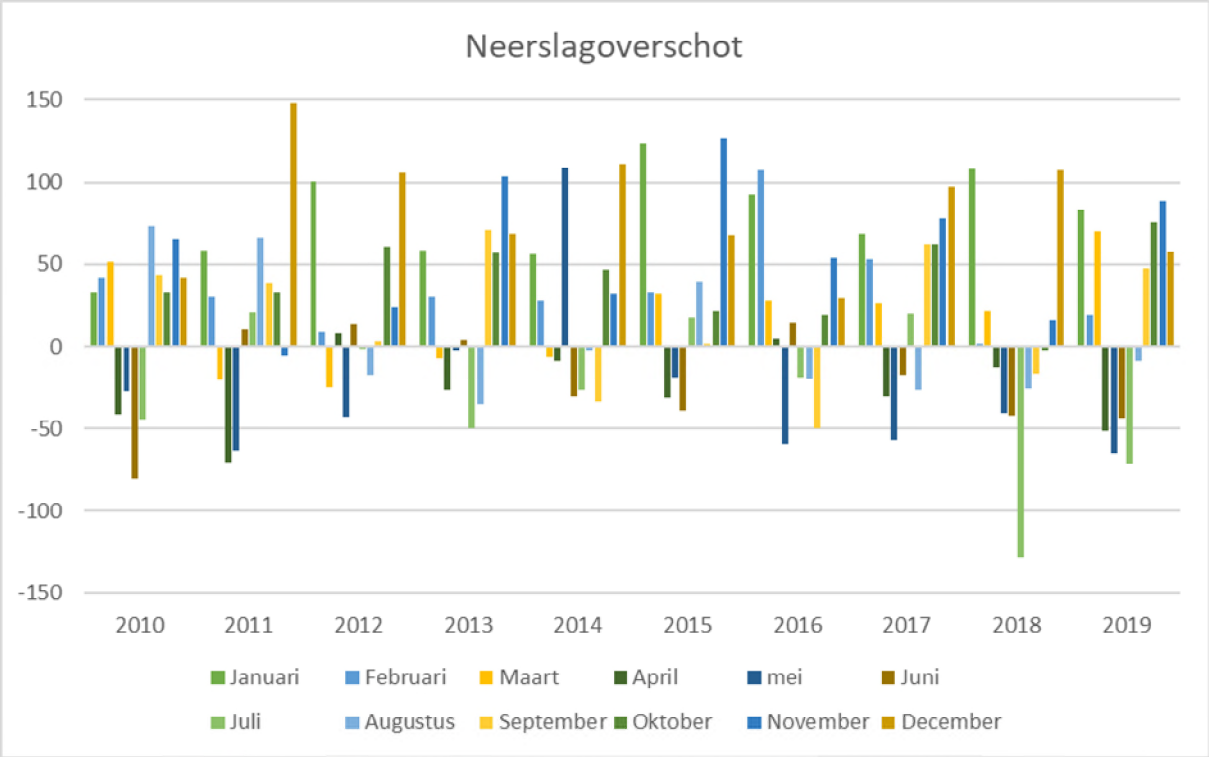
6.1.1 Meteorologie

Belangrijke componenten van de waterbalans zijn de neerslag en de verdamping. Het grondwater wordt voor een groot deel (indirect) gevoed door neerslag. De hoeveelheid neerslag wordt nabij het projectgebied gemeten in Schoonebeek, Klazienaveen en Emmen. Een deel van deze neerslag verdampt (al dan niet via de begroeiing). De verdamping wordt door het KNMI vastgesteld op de meteorologische hoofdstations. Het dichtstbijzijnde hoofdstation is station Hoogeveen.

De verdamping die het KNMI publiceert is de referentieverdamping volgens Makkink. Dit is de verdamping van een korte grasmat die optimaal van water wordt voorzien. Om de potentiële verdamping voor andere landbouwgewassen dan gras en voor natuurlijke vegetaties te berekenen wordt de referentieverdamping volgens Makkink vermenigvuldigd met een gewasfactor. De gewasfactor varieert per gewas en groeiperiode en ligt globaal tussen 0,5 en 1,5. Voor de berekening van het gemiddelde neerslagoverschot is gerekend met een gewasfactor 1,0.

Het verschil tussen de gemiddelde hoeveelheid neerslag per maand en de gemiddelde hoeveelheid potentiële verdamping (Ep) per maand geeft een benadering van het gemiddelde neerslagoverschot per maand. Dat neerslagoverschot kan worden beschouwd als

maat voor de voeding van het grondwater. Voor het projectgebied is het neerslagoverschot berekend en per maand weergegeven in figuur 6.1 (periode 2010-2019).



Figuur 6.1: Berekende neerslagoverschot in mm in het projectgebied voor de periode 2010-2019

Voor bodemdaling door zetting en veenoxidatie zijn alleen de droge perioden van belang en de meest extreme ontwateringstoestand uit het verleden. Te zien is dat in de jaren 2018 en 2019 het neerslagtekort in de zomermaanden zeer groot was.

Om te achterhalen of dit heeft geleid tot een uitzakking van de grondwaterstand/stijghoogte tot onder het historisch laagste niveau is het grondwaterregime ter plaatse van de grondwatermeetpunten in het projectgebied gemodelleerd.

6.1.2 Modellering grondwaterregime grondwatermeetpunten

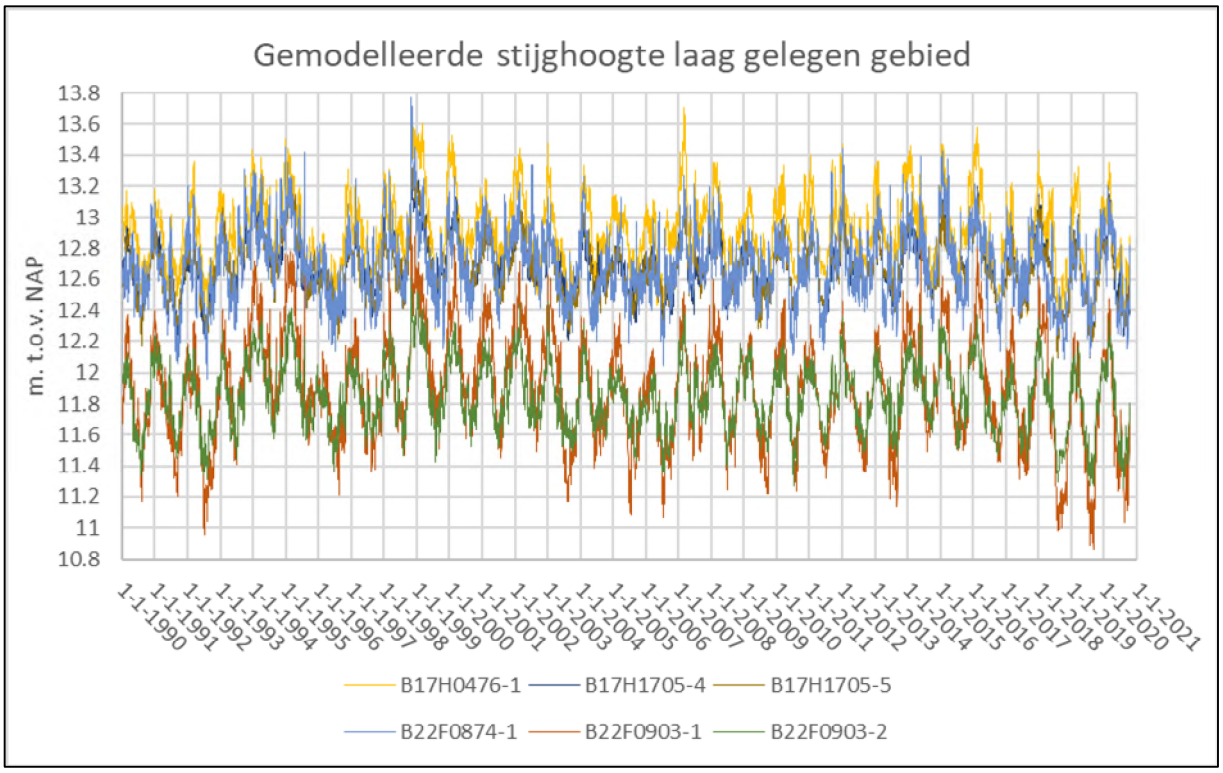
Uit de beschikbare grondwaterstand-/stijghoogtemetingen is niet eenduidig vast te stellen of de grondwaterstand/stijghoogte in 2018/2019 de historisch lage waarde heeft onderschreden. Op veel meetpunten is namelijk niet in de betreffende zomers gemeten en bij andere meetpunten niet gedurende een lange periode. Om toch inzicht te verkrijgen over de historisch laagste grondwaterstand/stijghoogte is het grondwater-/stijghoogteregime ter plaatse van de grondwatermeetpunten gemodelleerd met een tijdreeksanalyse in het computerprogramma Menyanthes door gebruik te maken van de neerslag en verdampingsreeksen die in tegenstelling tot de grondwatermetingen wel compleet zijn.

De analyse dient ook om na te gaan of de gemeten grondwaterstand betrouwbaar genoeg kan worden verklaard door de neerslag en verdamping of dat onbekende verklarende factoren een rol spelen. Aangezien het oppervlaktewaterpeil nauwelijks fluctueert is dit niet meegenomen als verklarende reeks.

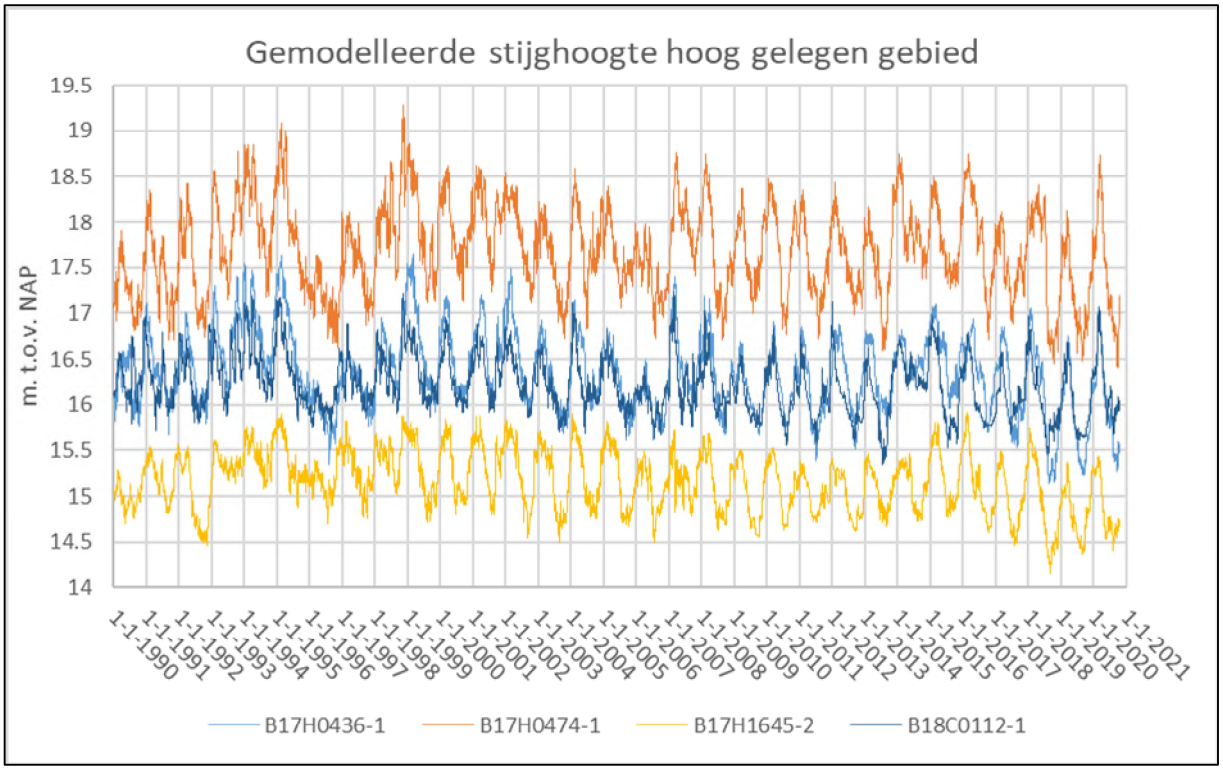
De basis van het werk is het genereren van een tijdreeksmodel van de grondwaterstand op basis van de neerslag gemeten in KNMI-neerslagstation Schoonebeek en de verdamping in KNMI-weerstation Hoogeveen. De verdampingsgegevens zijn beschikbaar van 1 januari 1990 tot 20 oktober 2020 (neerslaggegevens vanaf 1951) en daarmee kan de grondwaterstand in die periode worden uitgerekend.

Uit de verificatie (zie bijlage C) volgt dat het tijdreeksmodel voor 9 grondwatermeetpunten een betrouwbare berekening mogelijk maakt van het verloop van de grondwaterstand/ stijghoogte. De locaties van deze grondwatermeetpunten zijn weergegeven in figuur 3.14.

De op basis van de neerslag- en verdampingsmetingen gemodelleerde stijghoogte in de meetpunten in het laag gelegen gebied is weergegeven in figuur 6.2, de gemodelleerde stijghoogte in hoog gelegen gebied (Hondsrug) is weergegeven in figuur 6.3. De grondwaterregimes van de meetpunten zijn opgenomen in bijlage D.



Figuur 6.2: Op basis van neerslag en verdamping gemodelleerde stijghoogte in grondwatermeetpunten in laag gelegen gebied.



Figuur 6.3: Op basis van neerslag en verdamping gemodelleerde stijghoogte in grondwatermeetpunten in hooggelegen gebied (Hondsrug).

Door de provincie wordt opgemerkt dat op een beperkt aantal locaties in Drenthe in 1976 extreem lage grondwaterstanden gemeten. Destijds konden de kanalen niet op peil worden gehouden. Mogelijkerwijs zijn in het pilotgebied lagere grondwaterstanden opgetreden dan hierboven voor de periode 1990-2020 is gepresenteerd. Hiervan is bij Fugro geen meetdata bekend om dit te verifiëren. Doordat de verdampingsgegevens pas vanaf 1 januari 1990 beschikbaar zijn kan dit ook niet met een model worden teruggerekend en geverifieerd. Er zijn meetgegevens van 8 grondwatermeetpunten beschikbaar die in 1976 gemeten hebben. Daarvan zijn van 2 meetpunten die in de laatste 5 jaar een (betrouwbare) grondwaterstand hebben geregistreerd. Bij deze 2 meetpunten was de in 1976 gemeten waarde niet lager dan de laagste metingen in de periode 1990-2020. Daarom worden de gemodelleerde reeksen van 1990 t/m 2020 als referentie gebruikt.

In de figuren 6.2 en 6.3 is te zien dat volgens de gemodelleerde reeksen in de zomers van 2018 en 2019 de grondwaterstanden (ca. 0,1 à 0,2 m) lager zijn dan de laagste waarden in de periode daarvoor.

Uit de verificatie (zie bijlage C) volgt dat het tijdreeksmodel voor 9 grondwatermeetpunten een betrouwbare berekening mogelijk maakt van het verloop van de grondwaterstand/ stijghoogte. De locaties van deze grondwatermeetpunten zijn weergegeven in figuur 3.14.

Om na te gaan of er naast de neerslag en verdamping nog mogelijke andere verklarende factoren een rol spelen is een residu-analyse uitgevoerd. In Menyanthes is het ‘residu’ het verschil tussen de meetreeks en de gemodelleerde reeks. Wanneer een gemodelleerde reeks

de gemeten reeks perfect verklaart is het residu nul. Bijlage C bevat een uitgebreidere beschrijving van de methode.

Bij een residuanalyse wordt gekeken of er in de afwijkingen tussen model- en meetreeks een patroon te zien is. In figuur 6.5 is te zien dat het model de meetreeks van grondwatermeetpunt B22F0903-1 in de zomers van vooral 2009, 2012 en 2019 niet goed verklaard, de meetwaarden liggen enkele decimeters lager dan de modelwaarden. Dit beeld is bij meerdere meetpunten te zien, vooral bij de peilbuizen in laaggelegen gebied. De residuen van de overige meetpunten zijn weergegeven in bijlage C.



Figuur 6.4: Residuen tijdreeksanalyse grondwatermeetpunt B22F0903-1

Het beeld dat de residuen in de zomers van 2018 en 2019 gedomineerd worden door lagere meetwaarden (de grondwaterstanden die dus daadwerkelijk zijn opgetreden) dan voorspelde waarden, duidt erop dat een aanvullende factor aanwezig is welke zorgt voor een lagere grondwaterstand/stijghoogte. Mogelijke externe factoren zijn een verlaging van het oppervlaktewaterpeil in de zomers of grondwateronttrekkingen welke in de zomer actief zijn. Aangezien het oppervlaktewaterpeil in de zomer goed op peil wordt gehouden lijken aanvullende dalingen in de recente zomers te worden veroorzaakt door grondwateronttrekkingen.

6.2 Grondwateronttrekkingen

In het projectgebied is sprake van een groot aantal grondwateronttrekkingen welke in het verleden hebben plaatsgevonden of nog steeds actief zijn. Deze grondwateronttrekkingen kunnen, naast de natuurlijke oorzaken, een mogelijke oorzaak zijn van de lage grondwaterstanden in de zomer. Door het bevoegd gezag (waterschap en voorheen provincie) is informatie aangeleverd m.b.t. de locaties en details (diepte, debiet, duur, etc.) van de grondwateronttrekkingen in en rond het gebied. De meeste onttrekkingen hebben in het verleden plaatsgevonden (bijv. bronbemalingen voor de aanleg van leidingen e.d.). Van enkele onttrekkingen t.b.v. de glastuinbouw is bekend dat deze nog actief zijn.

Met modelberekeningen is de mogelijke invloed van de grondwateronttrekkingen op de grondwaterstand in het projectgebied inzichtelijk gemaakt. Hierbij wordt voor dit onderzoek onderscheid gemaakt tussen tijdelijke grondwateronttrekkingen t.b.v. bouwprojecten (bronbemaling) en grondwateronttrekkingen t.b.v. gietwater in glastuinbouw en bevloeiing landbouwgebied.

Om inzicht te krijgen in de grondwaterstandsverlagingen in het projectgebied als gevolg van de grondwateronttrekkingen zijn met het softwarepakket MicroFEM instationaire (dat wil zeggen dat er rekening is gehouden met het tijdseffect) berekeningen uitgevoerd. De rekenmethode en het grondwatermodel zijn verder toegelicht in bijlage E.

6.2.1 Tijdelijke bronbemalingen

In en direct rond het projectgebied zijn ca. 50 meldingen gedaan voor tijdelijke bronbemalingen. Van 15 bronbemalingen is bij het waterschap bekend hoeveel grondwater er daadwerkelijk in totaal is onttrokken. Het gemiddelde uurdebiet van deze onttrekkingen varieert van 1 tot 140 m^3/u en bedroeg gemiddeld ca. 28 m^3/u. Van de overige gemelde onttrekkingen is het debiet niet bekend.

Om toch inzicht te kunnen verkrijgen in de mogelijke effecten van de onbekende onttrekkingen is gekeken naar het maximaal toegestane debiet. Bij een bouwputbemaling, sleufbemaling, proefbronnering of grondsanering volstaat een melding als de onttrekking:

- niet meer bedraagt dan 50.000 m^3 per maand;
- niet meer bedraagt dan 200.000 m^3 in totaal, en
- niet langer duurt dan 6 maanden.

Het maximaal toegestane debiet bedraagt dus ca. 68 m^3/u. Voor de onttrekkingen waarvan het onttrekkingsdebiet onbekend is, is met dit debiet gerekend.

Voor de 10 onderzochte pilotlocaties is per locatie de dichtstbijzijnde tijdelijke bronbemaling doorgerekend. Hierbij is ter plaatse van 5 van de 10 locaties in het verleden een verlaging van de grondwaterstand/stijghoogte berekend. De verlagingen waren echter beperkt tot 0,1 à 0,2 m en vonden niet in de zomer plaats, de historisch lage stijghoogte is hierbij dus waarschijnlijk niet onderschreden. Er is dus naar verwachting ter plaatse van de 10 pilotlocaties geen zetting opgetreden als gevolg van de in het verleden uitgevoerde bij het waterschap bekende bronbemalingen.

Direct naast de bronbemalingen worden echter wel enkele meters verlaging van de grondwaterstand/stijghoogte berekend, waardoor hoogstwaarschijnlijk wel tot onder de historisch laagste grondwaterstand/stijghoogte wordt verlaagd. Op locaties met diepere veen/kleilagen (bodemtype 2/3) kan dit hebben geleid tot zettingen en hieruit volgende schade aan eventuele direct naast de bronbemaling aanwezige panden die niet op het vaste zand zijn gefundeerd.

6.2.2 Grondwateronttrekkingen t.b.v. land- en glastuinbouw

Uit de door het waterschap aangeleverde informatie blijkt dat binnen het projectgebied 2 vergunningen zijn afgegeven voor permanente grondwateronttrekkingen ten behoeve van gietwater voor de glastuinbouw. Naast de vergunde onttrekkingen zijn er ca. 9 locaties aangegeven waar een melding is gedaan voor een onttrekking ten behoeve van glastuinbouw en 14 locaties met beregeningsbronnen voor de landbouw. Van 1 van de beide vergunningen is bekend dat in 2018 en 2019 een debiet van 200.000 m^3/jaar is onttrokken (vergund is 120.000 m^3/jaar). Het onttrokken debiet van de overige onttrekkingen is niet bekend.

De door de aanvragers ingediende effectenstudies van de 2 vergunde onttrekkingen zijn zeer beperkt en voor de overige onttrekkingen zijn geen effectenstudies uitgevoerd. De beschikbare informatie is ontoereikend om de effecten van de onttrekkingen te bepalen. Om toch inzicht te verkrijgen in de ordegrootte van de mogelijke effecten van de onttrekkingen zijn 2 scenario's opgesteld en doorgerekend in MicroFEM. In bijlage F is een uitgebreidere toelichting op deze scenario's opgenomen.

Scenario 1: Best-case scenario
In het best-case scenario wordt aangenomen dat enkel de vergunde onttrekkingen actief zijn. Dit is niet waarschijnlijk, aangezien het een tuinbouwgebied betreft waar veel bedrijven water nodig hebben. Het is waarschijnlijk dat er uit meer bronnen wordt onttrokken dan alleen uit de 2 vergunde bronnen.

Wanneer enkel de vergunde onttrekkingen actief zijn wordt ter plaatse van de onttrekkingen afhankelijk van het debiet een verlaging van 0,2 à 1,1 m berekend. Het invloedsgebied (afstand vanaf de onttrekking waar de berekende verlaging minder dan 0,05 m bedraagt) bedraagt 500 à 1.300 m.

Ter plaatse van de dichtstbijzijnde bebouwing buiten het kassengebied (ter plaatse van het Dommerskanaal) zorgt dit voor verlagingen van de stijghoogte onder het veen van ca. 0,1 à 0,5 m. In de rest van het projectgebied worden geen verlagingen berekend.

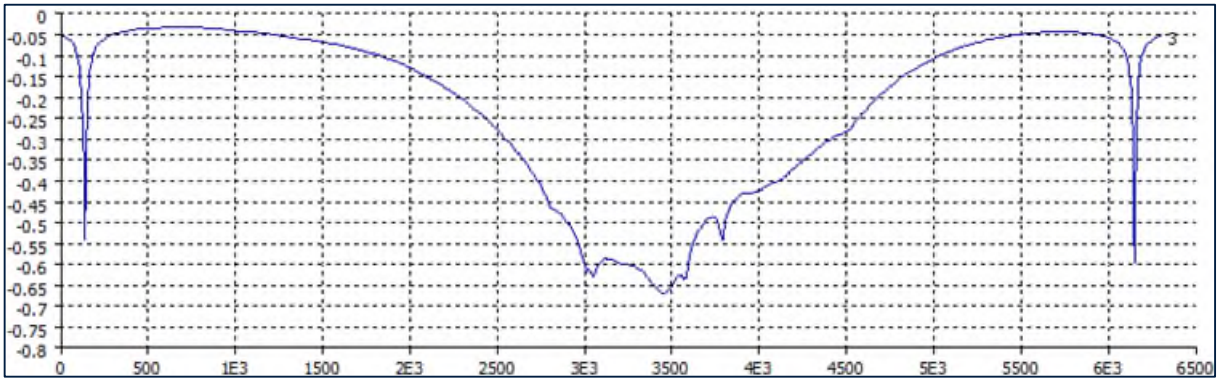
Opgemerkt wordt dat in de effectenstudie voor 1 van de vergunningen op een diepte van ca. 30 m-mv (ca. NAP -18 m) een kleilaag met een weerstand van 400 dagen is aangenomen. Deze is niet op alle boringen in de omgeving aangetroffen en is in het ondergrondmodel REGISIIv.2.2 en het MIPWA-grondwatermodel niet aanwezig. Omdat er te weinig informatie beschikbaar is om de aanwezigheid van een doorgaande kleilaag te bevestigen is deze kleilaag in het MicroFEM model niet meegenomen. Als deze kleilaag wel in het gehele gebied aanwezig zou zijn, dan zou het effect van diepe onttrekkingen op de stijghoogte onder de veenlagen nihil zijn.

Scenario 2: Verwachtingsscenario
Tijdens gesprekken met opdrachtgever en betrokkenen is naar voren gekomen dat zich in het projectgebied naast de gemelde onttrekkingen hoogstwaarschijnlijk ook

grondwateronttrekkingen voor de land- en glastuinbouw actief zijn die niet bij het waterschap bekend zijn.

Voor het verwachtingsscenario is op basis van openbare informatie het verwachte watergebruik van de glastuinbouw in kaart gebracht. Dit verwachte verbruik is verspreid over de kassen in het glastuinbouwgebied. Ook zijn de verwachte onttrekkingen t.b.v. de landbouw opgenomen.

In figuur 6.5 zijn de berekende verlagingen van de stijghoogte direct onder de veenlagen weergegeven.



Figuur 6.5: Doorsnede van berekende verlagingen onder de veenlagen bij verwachte debieten (25 – 28 m^3/u per vergunde onttrekking glastuinbouw, 8 m^3/u per melding glastuinbouw, 12 m^3/u per beregeningsbron landbouw). In het midden van de doorsnede zijn de berekende verlagingen als gevolg van de onttrekkingen t.b.v. de glastuinbouw te zien. Aan het begin en het eind van de doorsnede zijn de verlagingen als gevolg van onttrekkingen t.b.v. de landbouw te zien.

Direct buiten het kassengebied wordt een verlaging van de stijghoogte van ca. 0,2 à 0,5 m berekend. Ook direct naast onttrekkingen ten behoeve van de landbouw worden verlagingen van ca. 0,5 m berekend. Opgemerkt wordt dat in de modelberekeningen geen rekening is gehouden met oppervlaktewater. Op locaties waar waterlopen insnijden in de zandlaag zullen de verlagingen in werkelijkheid lager zijn.

6.3 Bodemdaling als gevolg van stijghoogtedalingen

Veenoxidatie

In het grootste gedeelte van het projectgebied is binnen enkele meters onder maaiveld een veenlaag gelegen. De gemiddelde lage grondwaterstand is bijna overal lager dan de onderzijde van deze laag, waardoor de veenlaag kan droogvallen en het veen kan oxideren. Aangezien deze laag al bij de natuurlijke fluctuatie van de grondwaterstand droog kan vallen hebben de grondwaterstandsverlagingen als gevolg van onttrekkingen hier geen groot effect op. Wel kunnen onttrekkingen ervoor zorgen dat de laag gedurende langere periodes droog staat, waardoor meer veen kan oxideren.

Zetting

Uit paragraaf 6.1 volgt dat in 2018 en 2019 de stijghoogte naar alle waarschijnlijkheid als gevolg van het neerslagtekort al onder de historisch lage stijghoogte is gedaald. Ook volgt uit de Menyanthes analyse dat er sterke aanwijzingen zijn dat er naast natuurlijke oorzaken

een andere factor aanwezig is welke in de zomer zorgt voor extra daling van de stijghoogte. De meest voor de hand liggende oorzaak is de aanwezigheid van grondwateronttrekkingen in het gebied. Aangezien het watertekort in de land- en glastuinbouw het grootst is in de (droge) zomer, vinden de verlagingen als gevolg van eventueel aanwezige onttrekkingen vooral plaats wanneer de stijghoogte al laag is. De onttrekkingen kunnen er dan voor zorgen dat, in een droge zomer waarin de stijghoogte van nature al laag is (zoals 2018 en 2019), de stijghoogte nog verder wordt verlaagd onder de historisch laagste stijghoogte.

Door verlagingen van de stijghoogte tot onder de historisch laagste stijghoogte wordt de belasting op de dieper gelegen veen- en kleilagen verhoogd, wat leidt tot zettingen. De verwachtte zettingen bij verschillende verlagingen onder de historisch lage stijghoogte zijn berekend met de methode Koppejan (zie bijlage G). De samendrukkingsconstanten zijn bepaald op basis van de in het projectgebied uitgevoerde maatgevende sonderingen, NEN 9997-1 tabel 2.b en ervaring.

Bij bodemtype 1 zijn geen diepere veen- of kleilagen aanwezig, hier zal dan ook geen zetting optreden.

Ter plaatse van bodemtype 2 worden zettingen berekend zoals weergegeven in tabel 6.1. Te zien is dat de berekende zettingen hier beperkt zijn, ook bij grote verlagingen van de stijghoogte.

Tabel 6.1: Berekende zettingen als gevolg van stijghoogteverlagingen ter plaatse van bodemtype 2

Verlaging stijghoogte onder historisch lage stijghoogte [m]	Zetting na X dagen [ca. mm]			
	X=10	X=30	X=60	X=90
0,2	0 à 5	0 à 5	0 à 5	0 à 5
0,5	0 à 5	0 à 5	0 à 5	0 à 5
1,0	0 à 5	0 à 5	5 à 10	5 à 10

Bij bodemtype 3 worden zettingen berekend zoals weergegeven in tabel 6.2. In deze tabel is te zien dat de zettingen bij dit bodemtype aanzienlijk kunnen zijn, ook bij kleine verlagingen van korte duur.

Tabel 6.2: Berekende zettingen als gevolg van stijghoogteverlagingen ter plaatse van bodemtype 3

Verlaging stijghoogte onder historisch lage stijghoogte [m]	Zetting na X dagen [ca. mm]			
	X=10	X=30	X=60	X=90
0,2	0 à 10	5 à 15	10 à 20	10 à 20
0,5	10 à 20	15 à 25	20 à 30	30 à 40
1,0	25 à 35	40 à 50	50 à 60	60 à 70

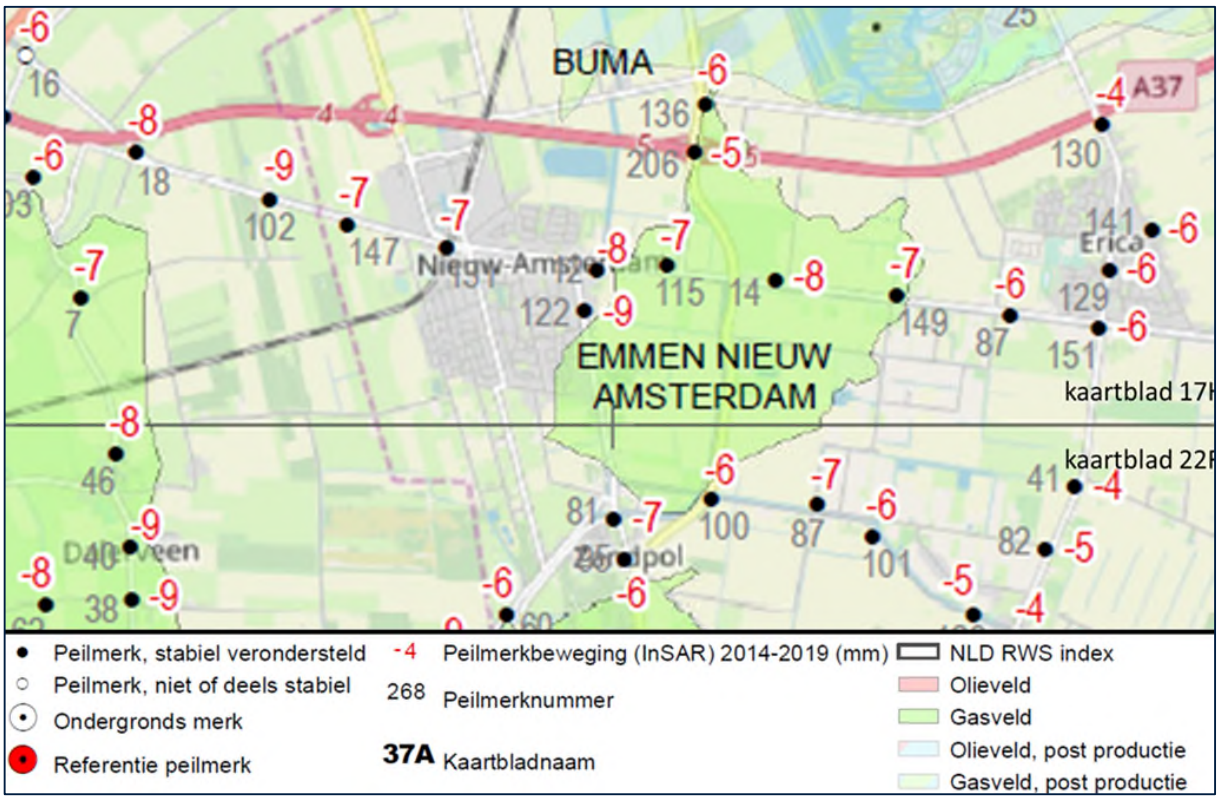
De bodemopbouw in het projectgebied is zeer wisselend, zo kan bijvoorbeeld onder de ene zijde van een pand veel veen aanwezig zijn en aan de andere zijde aanzienlijk minder. Er kunnen dus aanzienlijke verschilzakkingen als gevolg van zetting optreden, waardoor schade kan optreden (zie tabel 5.1). Dit is sterk afhankelijk van de bodemopbouw ter plaatse en de kenmerken van het gebouw. Gezien de beperkte hoeveelheid beschikbare informatie en metingen kan de verhouding tussen natuurlijke en antropogene oorzaken niet worden achterhaald.

6.4 Delfstoffenwinning

In en om het projectgebied zijn gas- en olievelden aanwezig. Door de NAM wordt de bodemdaling in de gas en oliewinningsgebieden gemonitord. Hierbij worden met satellieten (InSAR) de bewegingen van peilmerken gemeten. Deze peilmerken staan op de vaste zandlaag, en zijn daardoor niet gevoelig voor zetting van zettingsgevoelige lagen of veenoxidatie. Enkel zakkingen vanuit de diepere ondergrond, zoals zakkingen door gas/oliewinning, hebben invloed op deze peilmerken.

In figuur 6.6 is de gemeten daling van de peilmerken in en rondom het projectgebied weergegeven. In het zwart zijn de peilmerknummers weergegeven en in het rood de peilmerkbeweging over de periode 2014-2019 in millimeters. Te zien is dat de beweging van de peilmerken varieert tussen ca. -4 à -9 mm over 5 jaar. De peilmerken zakken dus met ca. 1 à 2 mm/jaar. Aangezien deze zakking gering is en gelijkmatig is over het projectgebied, zal dit niet zorgen voor significante verschilzakkingen en is daarom geen oorzaak van de schade aan de panden in het projectgebied.

Volgens het winningsplan (2011) van de NAM bedraagt de totale verwachte bodemdaling door gaswinning in het gebied minder dan 2 cm.



Figuur 6.6: Gemeten daling peilmerken in en rond projectgebied

7. Verwachting voor de toekomst en andere veenkoloniale gebieden

Klimaatverandering

Voor de effecten van klimaatverandering op het projectgebied is de klimaateffectatlas van Nederland geraadpleegd (www.klimaateffectatlas.nl). Deze atlas is door verschillende kennisinstellingen en adviesbureaus opgesteld om inzicht te geven in de in de toekomst te verwachten risico's als gevolg van klimaatverandering.

Door klimaatverandering worden de zomers heter en worden de winters zachter en natter. Naast de verandering van het 'gemiddelde klimaat' nemen ook de extremen toe. Dit betekent dat piekneerslagen, extreme hitte, extreme droogte en hoge waterstanden vaker voor kunnen komen. Zo neemt bijvoorbeeld de intensiteit van extreme regenbuien in de zomer toe.

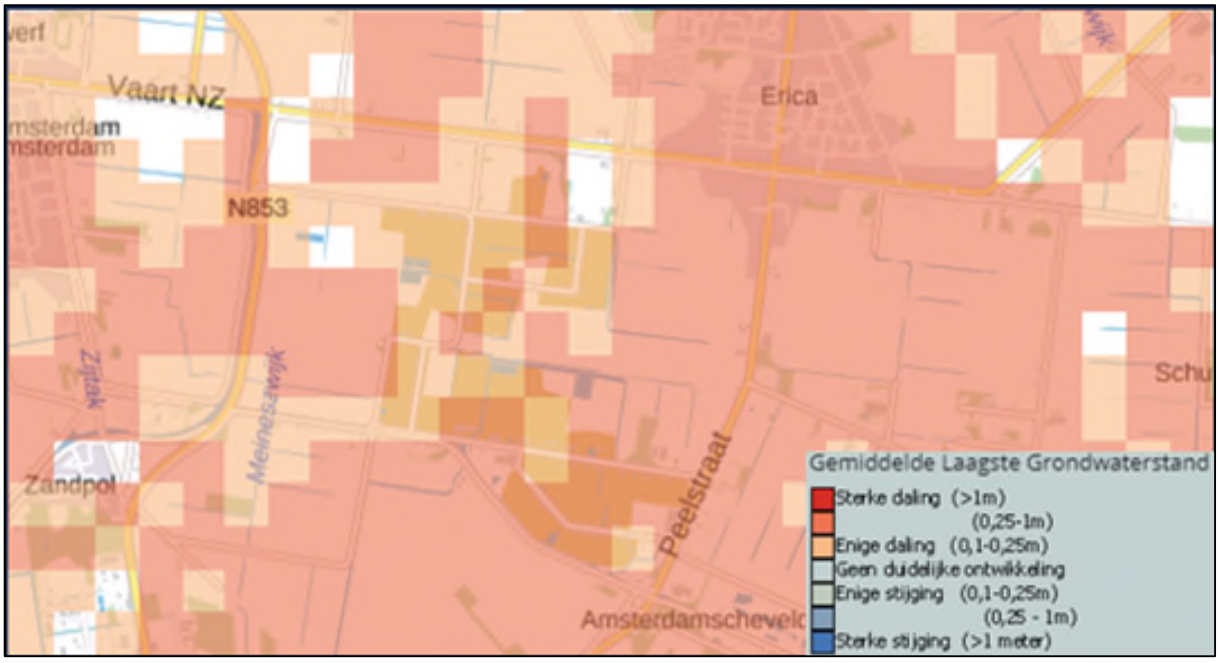
Hoe ons toekomstig klimaat er precies uit zal zien is onzeker. Op basis van de wereldwijde temperatuurstijging heeft het KNMI vier klimaatscenario's ontwikkeld voor Nederland. In de G-scenario's is er sprake van 1°C mondiale temperatuurstijging in 2050 en in de W-scenario's 2°C. In de GH en de WH-scenario's is er daarnaast ook sprake van verandering van luchtstromingspatronen waardoor bijvoorbeeld de zomers droger worden.

Samen geven de scenario's de hoekpunten weer waarbinnen klimaatverandering waarschijnlijk zal plaatsvinden. Voor de Klimaateffectatlas is er gekozen om het WH-scenario te gebruiken. Hiermee geeft de atlas inzicht in het scenario dat meestal de sterkste veranderingen laat zien (bron: Klimaateffectatlas).

Het WH-scenario betreft dus het worst-case scenario.

Voor de in het projectgebied optredende bodemdaling is vooral van belang wat de veranderingen in het potentieel maximaal neerslagtekort en de grondwaterstand/stijghoogte zullen zijn. Volgens de Klimaateffectatlas bedraagt het huidige potentieel maximaal neerslagtekort in het projectgebied gemiddeld 120-150 mm. Bij klimaatscenario WH zal dit in 2050 toegenomen zijn tot 180-210 mm.

In Figuur 7.1 is de verandering van de gemiddeld laagste grondwaterstand in de periode 2016-2050 bij het WH-klimaatscenario weergegeven. Te zien is dat in het grootste deel van het projectgebied een daling van 0,25 à 1 m wordt verwacht. Hierbij wordt opgemerkt dat de Klimaateffectatlas als uitgangspunt heeft dat de streefpeilen de maaiveldzakking zullen volgen. Als de peilen zoveel mogelijk gehandhaafd blijven zal de grondwaterstandsdaling en daarmee de bodemdaling, geringer zijn.



Figuur 7.1: Verandering gemiddelde laagste grondwaterstand tot 2016-2050 op basis van KNMI-scenario WH (bron: Klimaateffectatlas).

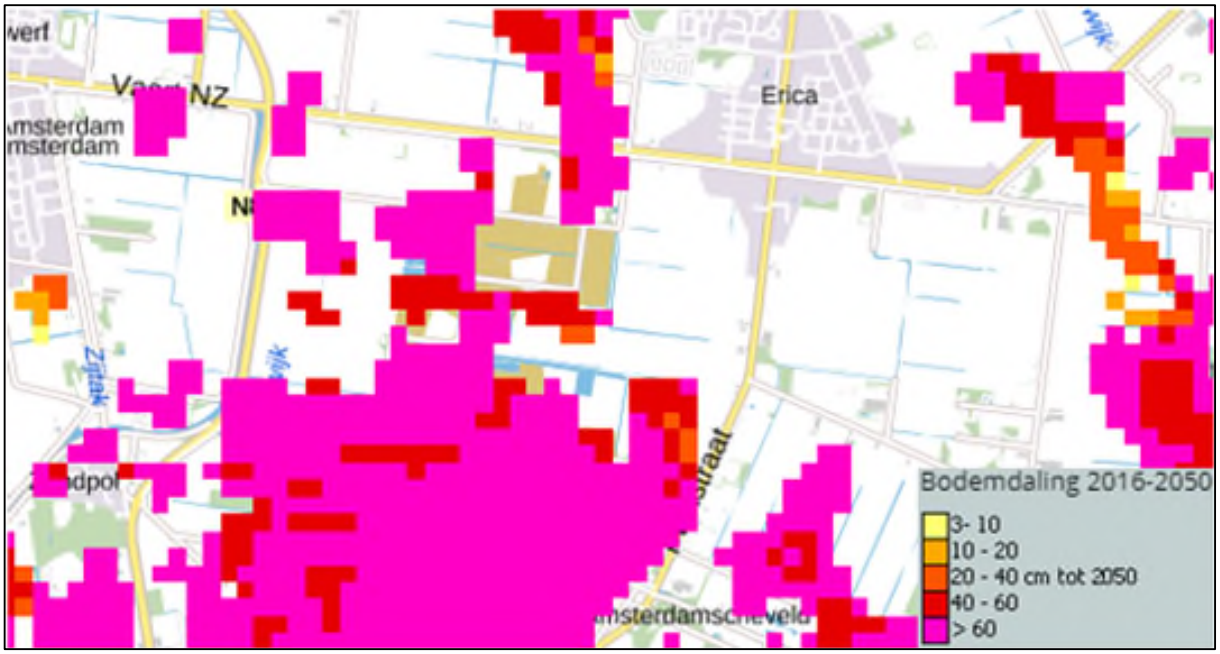
Verwachting bodemdaling

In een groot deel van het projectgebied is direct onder maaiveld een veenlaag aanwezig die in droge perioden vrijwel geheel droog komt te staan, waardoor het veen oxideert. Lokaal ligt de veenlaag zelfs boven de gemiddelde hoge grondwaterstand, hier kan de laag grote gedeeltes van het jaar droogvallen. Zoals te zien in figuur 7.1 zal de grondwaterstand in het projectgebied naar verwachting van het worst-case scenario van het KNMI sterk dalen. Zonder ingrijpen zal de veenoxidatie in de toekomst blijven doorgaan totdat de topveenlaag volledig is verdwenen.

Opgemerkt wordt dat oxidatie van de bovenste veenlaag over het algemeen niet leidt tot schade aan gebouwen, omdat deze op een bodemlaag onder de veenlaag staan gefundeerd. Wel kan de veenoxidatie leiden tot schade aan huisaansluitingen, bestrating, tuinen en eventuele ongefundeerde vloeren en schuren.

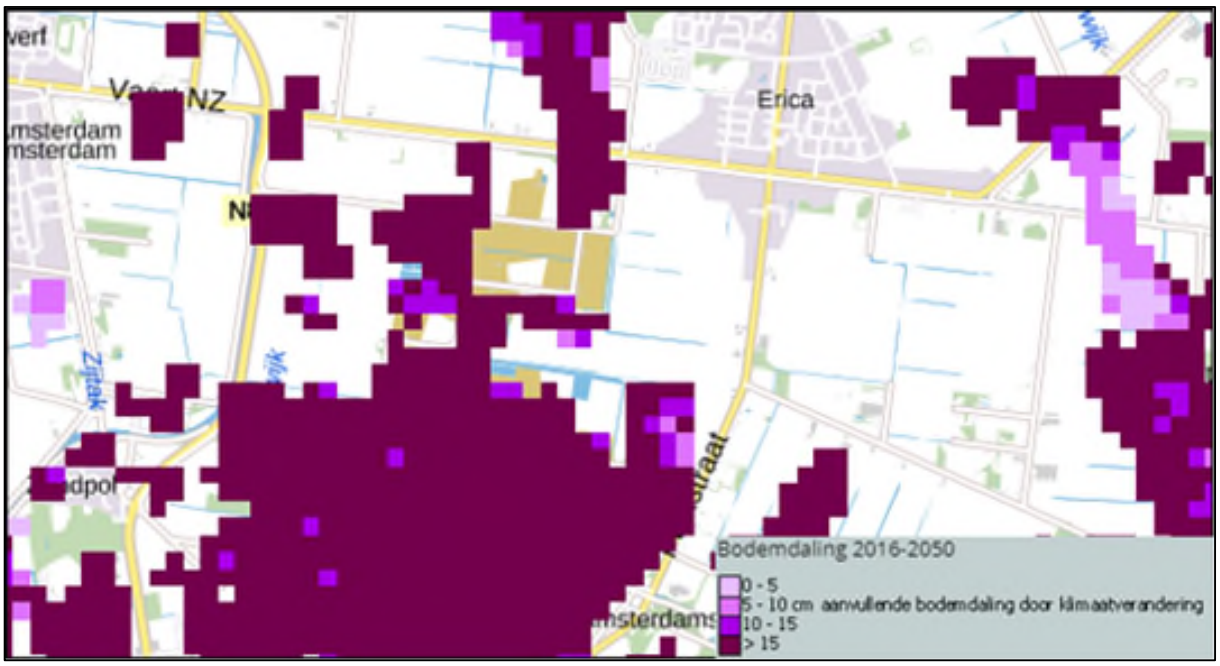
Zetting van dieper gelegen zettingsgevoelige lagen kan wel leiden tot schade aan gebouwen. Zoals eerder toegelicht kan zetting optreden wanneer de stijghoogte onder de historisch lage stijghoogte daalt. Zoals te zien in figuur 7.1 is de verwachting dat de grondwaterstand in het projectgebied zal dalen. Logischerwijs zal hierbij ook de diepere stijghoogte dalen. De zetting van diepere zettingsgevoelige lagen zal naar verwachting dus ook in de toekomst doorgaan.

In figuur 7.2 is de verwachte bodemdaling in de periode 2016-2050 in het projectgebied zonder klimaatverandering weergegeven. Te zien is dat in een groot deel van het projectgebied een bodemdaling van meer dan 60 cm wordt verwacht.



Figuur 7.2: Verwachte bodemdaling in het projectgebied in de periode 2016-2050 zonder klimaatverandering (bron: Klimaateffectatlas).

In figuur 7.3 is de verwachte aanvullende bodemdaling als gevolg van klimaatverandering weergegeven. Deze bedraagt in het gebied meer dan 15 cm.



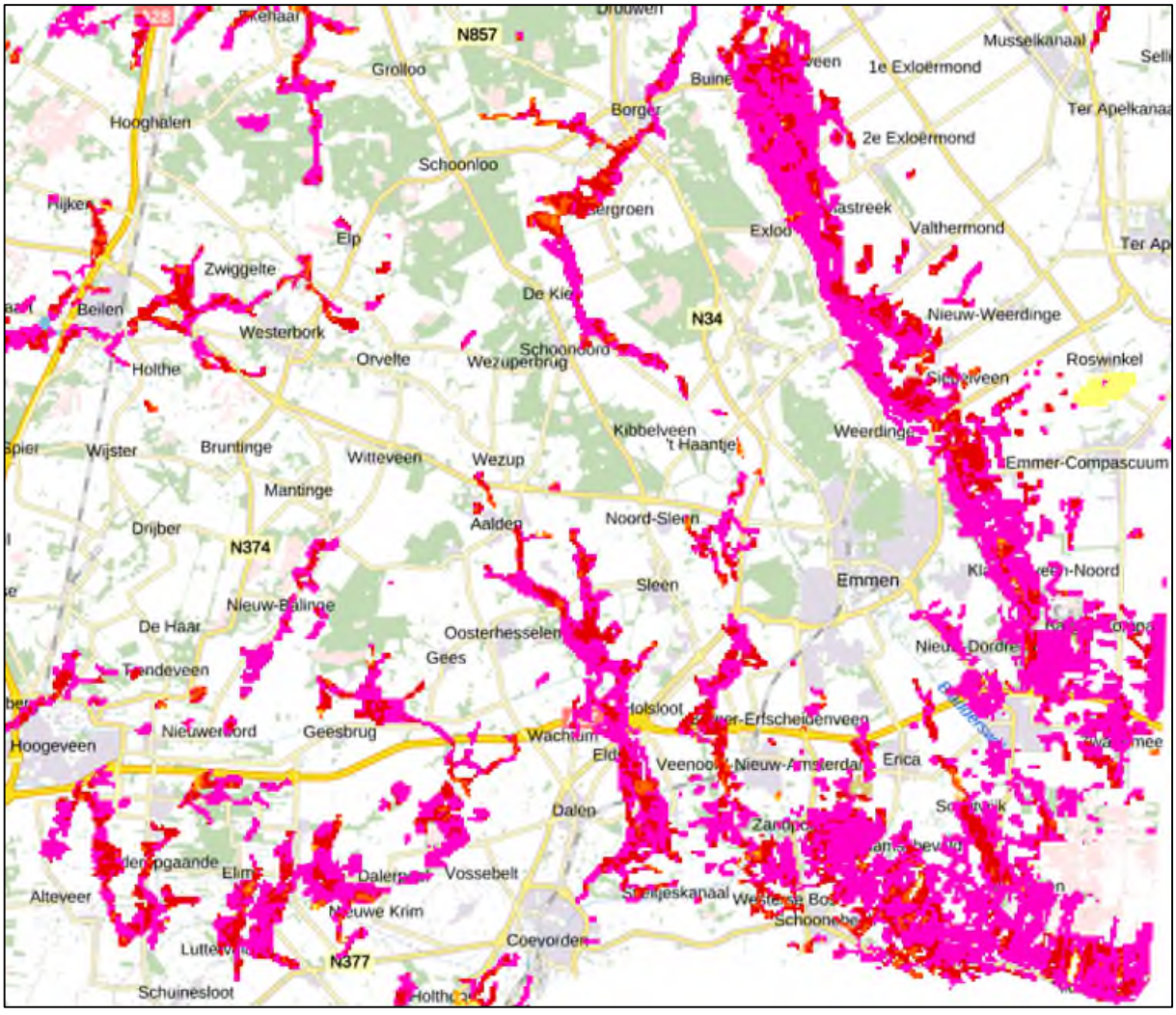
Figuur 7.3: Verwachte aanvullende bodemdaling in het projectgebied in de periode 2016-2050 als gevolg van klimaatverandering (bron: Klimaateffectatlas).

De verhouding tussen bodemdaling door oxidatie van de bovenste veenlaag en zetting van de diepere lagen is niet bekend, maar gezien de dikte van de bovenste veenlaag bestaat de verwachte bodemdaling vooral uit veenoxidatie.

Andere veenkoloniale gebieden

Bovenstaande geldt ook voor andere veenkoloniale gebieden waar nog veenlagen aanwezig zijn. In veel veenkoloniale gebieden is het bovenste veen in het verleden (grotendeels) afgegraven. Daar is de verwachte bodemdaling als gevolg van dalende grondwaterstanden minder ingrijpend. Ook in andere veenkoloniale gebieden dient rekening te worden gehouden met (significante) zettingen en hieruit volgende schades als ook op een dieper niveau veen (of klei) aanwezig is.

In figuur 7.4 is de verwachte bodemdaling in het zuidoosten van Drenthe weergegeven. De gebieden waar zakkingen worden verwacht komen overeen met de gebieden waar nog veen voorkomt. Zoals eerder al opgemerkt wordt in de Klimaateffectatlas het uitgangspunt gehanteerd dat de streefpeilen de maaiveldzakking zullen volgen. Als de peilen zoveel mogelijk gehandhaafd blijven zal de grondwaterstandsdaling en daarmee de bodemdaling, geringer zijn.



Figuur 7.4: Verwachte bodemdaling in andere veenkoloniale gebieden in de periode 2016-2050 zonder klimaatverandering (bron: Klimaateffectatlas).

8. Conclusies

In dit hoofdstuk zijn de conclusies van het onderzoek samengevat opgenomen. Hierbij wordt antwoord gegeven op de 2 onderzoeksvragen (zie hoofdstuk 1):

1. Welke mogelijke oorzaken kent de bodemdaling binnen het pilotgebied en in hoeverre is in de toekomst verdere bodemdaling te verwachten in het pilotgebied?
2. Wat zijn de mogelijke oorzaken voor de opgetreden schade aan de onderzochte gebouwen, in hoeverre is in de toekomst verdere schade te verwachten in het pilotgebied en in hoeverre is het pilotgebied representatief voor andere veenkoloniale ontginningsgebieden?

8.1 Onderzoek pilotlocaties

Om de mogelijke oorzaken van de opgetreden schade aan de woningen in het pilotgebied te achterhalen zijn 10 woningen in het gebied geselecteerd en onderzocht.

Bij alle onderzochte woningen is in meer of mindere mate schade opgetreden. Deze schade is vooral opgetreden bij panden welke niet op het vaste zand zijn gefundeerd. Bij het merendeel van de panden die wel op het vaste zand zijn gefundeerd is de schade beperkt en kan grotendeels worden verklaard door verschilzakkingen tussen aanbouwen en de originele woning, ondeugdelijke lateiconstructies en werking van de kap. Bij de panden welke niet op het vaste zand zijn gefundeerd is de schade groter dan bij de op het vaste zand gefundeerde panden. Bij deze panden kan zetting van dieper gelegen lagen zorgen voor verschilzakkingen welke kunnen leiden tot schade.

Het merendeel van de woningen is verbouwd. Verbouwingen kunnen zorgen voor een hogere belasting op de fundering, met mogelijk verschilzakkingen en schade tot gevolg. Bij een (groot) deel van de verbouwingen is geen vergunning aangevraagd. Doorgaans is geen constructeur geraadpleegd of geotechnisch onderzoek uitgevoerd.

Uit het trillingsonderzoek volgt dat trillingen hoogstwaarschijnlijk niet de primaire oorzaak van de schades zijn, maar kunnen wel het laatste zetje hebben gegeven bij de scheurvorming.

Het grondwaterpeil ter plaatse van de pilotlocaties is niet gedaald als gevolg van dalingen van het oppervlaktewaterpeil. Het grondwaterpeil ter plaatse van de pilotlocaties is waarschijnlijk wel gedaald, tot onder de historisch lage grondwaterstand, als gevolg van neerslagtekort en grondwateronttrekkingen.

Er is ter plaatse van de pilotlocaties bodemdaling als gevolg van olie- of gaswinning opgetreden, maar aangezien deze gering en gelijkmatig is, heeft deze niet geleid tot schade. In en rond het projectgebied zijn geen significante aardbevingen geweest.

8.2 Bodemdaling in het projectgebied

Uit een vergelijking van hoogtekaarten uit verschillende jaren in combinatie met InSar satellietmetingen blijkt dat vrijwel het gehele projectgebied aan bodemdaling onderhevig is. Deze bodemdaling varieert van enkele millimeters per jaar tot enkele centimeters per jaar. De bodemdaling in het projectgebied wordt veroorzaakt door een combinatie van veenoxidatie en zetting van dieper gelegen lagen. In een groot deel van het projectgebied is direct onder maaiveld een veenlaag aanwezig welke in droge perioden vrijwel geheel droog komt te staan, waardoor het veen oxideert (autonome zakking). Zakkingen van deze bovenste veenlaag zullen in het algemeen niet leiden tot (grote) schade aan de woningen omdat de meeste panden gefundeerd zijn op de onderliggende bodemlagen. Bij panden welke boven de bovenste veenlaag zijn gefundeerd kan wel schade optreden, deze hebben wij echter niet aangetroffen. De veenoxidatie kan er wel toe leiden dat de tuinen en schuren, bijgebouwen of vloeren die niet zijn gefundeerd gaan zakken.

De diepere zettingsgevoelige lagen kunnen gaan zetten wanneer de belasting op deze lagen wordt verhoogd. De belasting kan worden verhoogd door bijvoorbeeld een ophoging op maaiveld, de bouw (of verzwaring) van een constructie of door uitzakking/verlagingen van de grondwaterstand of stijghoogte tot onder het historisch lage niveau.

8.3 Zakking van panden

De gemeten zakking van de panden in het projectgebied varieert sterk. Over het gehele projectgebied komen zakkingen van 1 à 2 mm/jaar voor, echter lokaal zijn zakkingen gemeten van 5 mm (tientallen panden) of zelfs 10 mm/jaar (enkele panden). In het algemeen kunnen de meeste panden, afhankelijk van de staat, beter een “rechtstandige zakking” (alle gevels ondervinden dezelfde zakking) verwerken dan een hoekverdraaiing (ongelijkmatige zakking van de gevels).

In het projectgebied geldt voor een groot deel van de panden waar een zakking van 1 à 2 mm/jaar optreedt dat na tientallen jaren zakken schade kan ontstaan. Bij de tientallen panden waar zakkingen van 5 mm/jaar of de enkele panden met zakkingen van 10 mm/jaar kan al na enkele jaren schade optreden.

De opgetreden zakkingen kunnen zijn veroorzaakt door interne oorzaken (zoals onvoldoende draagkrachtige funderingen of belastingsverhogingen als gevolg van verbouwingen) of door externe oorzaken.

8.4 Mogelijke externe oorzaken bodemdaling

Naast lokale belastingverhogingen (interne oorzaken) kan een daling van de grondwaterstand/ stijghoogte tot onder de historisch laagste grondwaterstand/stijghoogte zorgen voor een belastingverhoging op de zettingsgevoelige lagen, met zetting tot gevolg. Daarnaast kan een lage grondwaterstand leiden tot veenoxidatie. Onderzocht is of daling van

de grondwaterstand/stijghoogte een oorzaak is van de bodemdaling. Hiernaast is ook bodemdaling als gevolg van gas/oliewinning beschouwd.

Voor bodemdaling door zetting en veenoxidatie zijn de droge perioden van belang en de meest extreme ontwateringstoestand uit het verleden. Uit het berekende neerslagoverschot in het projectgebied volgt dat in de jaren 2018 en 2019 het neerslagtekort in de zomermaanden zeer groot was.

Uit de beschikbare grondwaterstand-/stijghoogtemetingen is niet eenduidig vast te stellen of de grondwaterstand/stijghoogte in 2018/2019 de historisch lage waarde heeft onderschreden. Op veel meetpunten is namelijk niet in de betreffende zomers gemeten en bij andere meetpunten niet gedurende een lange periode. Om toch inzicht te verkrijgen over de historisch laagste grondwaterstand/stijghoogte is het grondwater-/stijghoogteregime ter plaatse van de grondwatermeetpunten gemodelleerd met een tijdreeksanalyse door gebruik te maken van de neerslag en verdampingsreeksen die in tegenstelling tot de grondwatermetingen wel compleet zijn. Hieruit volgt dat de gemodelleerde reeksen in de zomers van 2018 en 2019 inderdaad een onderschrijding van de historisch lage grondwaterstanden met een orde grootte van ca. 0,1 à 0,2 m laten zien.

Om na te gaan of er naast de neerslag en verdamping nog mogelijke andere verklarende factoren een rol spelen is een residu-analyse uitgevoerd.

Uit deze analyse blijkt dat er in de zomers buiten de neerslag en verdamping een aanvullende factor aanwezig is welke zorgt voor een lagere grondwaterstand/stijghoogte. Mogelijke externe factoren zijn een verlaging van het oppervlaktewaterpeil in de zomers of grondwateronttrekkingen welke in de zomer actief zijn. Aangezien het oppervlaktewaterpeil in de zomer goed op peil wordt gehouden lijken aanvullende dalingen in de recente zomers te worden veroorzaakt door grondwateronttrekkingen.

Omdat exacte gegevens van de grondwateronttrekkingen in het gebied niet beschikbaar zijn, zijn 2 scenario’s met mogelijke onttrekkingen doorgerekend. Uit deze berekening blijkt dat bij bodemtype 3 (zie paragraaf 3.2.3) zelfs een geringe onttrekking in een droge periode kan zorgen voor extra zettingen.

De bodemopbouw in het projectgebied is zeer wisselend, zo kan bijvoorbeeld onder de ene zijde van een pand veel veen aanwezig zijn en aan de andere zijde aanzienlijk minder. Er kunnen dus aanzienlijke verschilzakkingen als gevolg van zetting optreden, waardoor schade kan optreden. Dit is sterk afhankelijk van de bodemopbouw ter plaatse en de kenmerken van het gebouw. Gezien de beperkte hoeveelheid beschikbare informatie en metingen kan de verhouding tussen natuurlijke en antropogene oorzaken niet worden achterhaald.

Naast zakkingen als gevolg van veenoxidatie of samendrukking van zettingsgevoelige lagen is ook sprake geweest van bodemdaling als gevolg van de winning van olie en/of gas. Uit de verstrekte meetgegevens blijkt dat deze zakking gering is en gelijkmatig is over het

projectgebied. De zakking zal niet zorgen voor significante verschilzakkingen en is daarom geen oorzaak van de schade aan de panden in het projectgebied.

8.5 Verwachting voor de toekomst

Door klimaatverandering worden de zomers heter en worden de winters zachter en natter. Naast de verandering van het 'gemiddelde klimaat' nemen ook de extremen toe. Naar verwachting zal het potentieel maximaal neerslagtekort in de toekomst toenemen en als gevolg hiervan de gemiddeld laagste grondwaterstand in het lager worden.

In een groot deel van het projectgebied is direct onder maaiveld een veenlaag aanwezig die in de huidige situatie in droge perioden vrijwel geheel droog komt te staan, waardoor het veen oxideert. Lokaal ligt de veenlaag zelfs boven de gemiddelde hoge grondwaterstand, hier kan de laag grote gedeeltes van het jaar droogvallen. Als in de toekomst de grondwaterstand daalt zal de veenoxidatie toenemen. Zonder ingrijpen zal de veenoxidatie in de toekomst blijven doorgaan totdat de topveenlaag volledig is verdwenen.

Logischerwijs zal bij een daling van de grondwaterstand ook de diepere stijghoogte dalen. De zetting van diepere zettingsgevoelige lagen zal naar verwachting dus ook in de toekomst doorgaan. In een groot deel van het projectgebied wordt een bodemdaling van meer dan 60 cm wordt verwacht. Wanneer klimaatverandering wordt meegenomen kan hier nog meer dan 15 cm daling bijkomen.

De verhouding tussen bodemdaling door oxidatie van de bovenste veenlaag en zetting van de diepere lagen is niet bekend, maar gezien de dikte van de bovenste veenlaag bestaat de verwachte bodemdaling vooral uit veenoxidatie.

Opgemerkt wordt dat oxidatie van de bovenste veenlaag over het algemeen niet leidt tot schade aan gebouwen, omdat deze op een bodemlaag onder de veenlaag staan gefundeerd. Wel kan de veenoxidatie leiden tot schade aan huisaansluitingen, bestrating, tuinen en eventuele ongefundeerde vloeren en schuren. Zetting van dieper gelegen zettingsgevoelige lagen kan wel leiden tot schade aan gebouwen.

8.6 Andere veenkoloniale gebieden

De in paragraaf 8.5 genoemde toekomstverwachtingen gelden ook voor andere veenkoloniale gebieden waar nog veenlagen aanwezig zijn. In veel veenkoloniale gebieden is het bovenste veen in het verleden (grotendeels) afgegraven. Daar zijn is de verwachte bodemdaling als gevolg van dalende grondwaterstanden minder ingrijpend. Ook in andere veenkoloniale gebieden dient rekening te worden gehouden met (significante) zettingen en hieruit volgende schades als ook op een dieper niveau veen (of klei) aanwezig is.

9. Aanbevelingen

Om nieuwe schades in het gebied te voorkomen wordt geadviseerd de bewoners in het gebied voorlichting te geven over funderingen, waarbij de nadruk ligt op belang van het uitvoeren van grondonderzoek. Dit om te zorgen dat nieuwe funderingen op het juiste niveau worden aangebracht en niet op de 1^{e} zandlaag die men tegenkomt.

Hierbij dient ook te worden uitgelegd dat bij verbouwingen waarbij een significant gewicht wordt toegevoegd de effecten moeten worden beschouwd door een constructeur en geotechnisch adviseur.

Met betrekking tot de grondwateronttrekkingen wordt geadviseerd alle bestaande onttrekkingen in een centrale database te registreren en de debieten en verlagingen te (laten) monitoren. Hierbij is het wenselijk om een monitoringsplan op te stellen en de stijghoogte in het projectgebied continu te monitoren, zodat de werkelijke invloed van de onttrekkingen op de grondwaterstand/stijghoogte kan worden achterhaald. Ook kan in dat geval worden ingegrepen wanneer de stijghoogte te laag wordt. Hiervoor dienen aanvullende grondwatermeetpunten te worden geplaatst.

Verder wordt aanbevolen om voor nieuwe grondwateronttrekkingen strengere regelgeving in te voeren. Geadviseerd wordt in de regels op te nemen dat de effecten van nieuwe onttrekkingen moeten worden beschouwd voordat toestemming wordt gegeven voor de onttrekking. Hierbij is het belangrijk dat ook de cumulatieve effecten van de onttrekkingen in de omgeving worden meegenomen en dat voldoende grondonderzoek wordt uitgevoerd.

Bijlagen

A. Meetreeksen oppervlaktewaterpeil

B. Meetreeksen grondwaterstanden/stijghoogtes

C. Tijdreeksanalyse (Menyanthes)

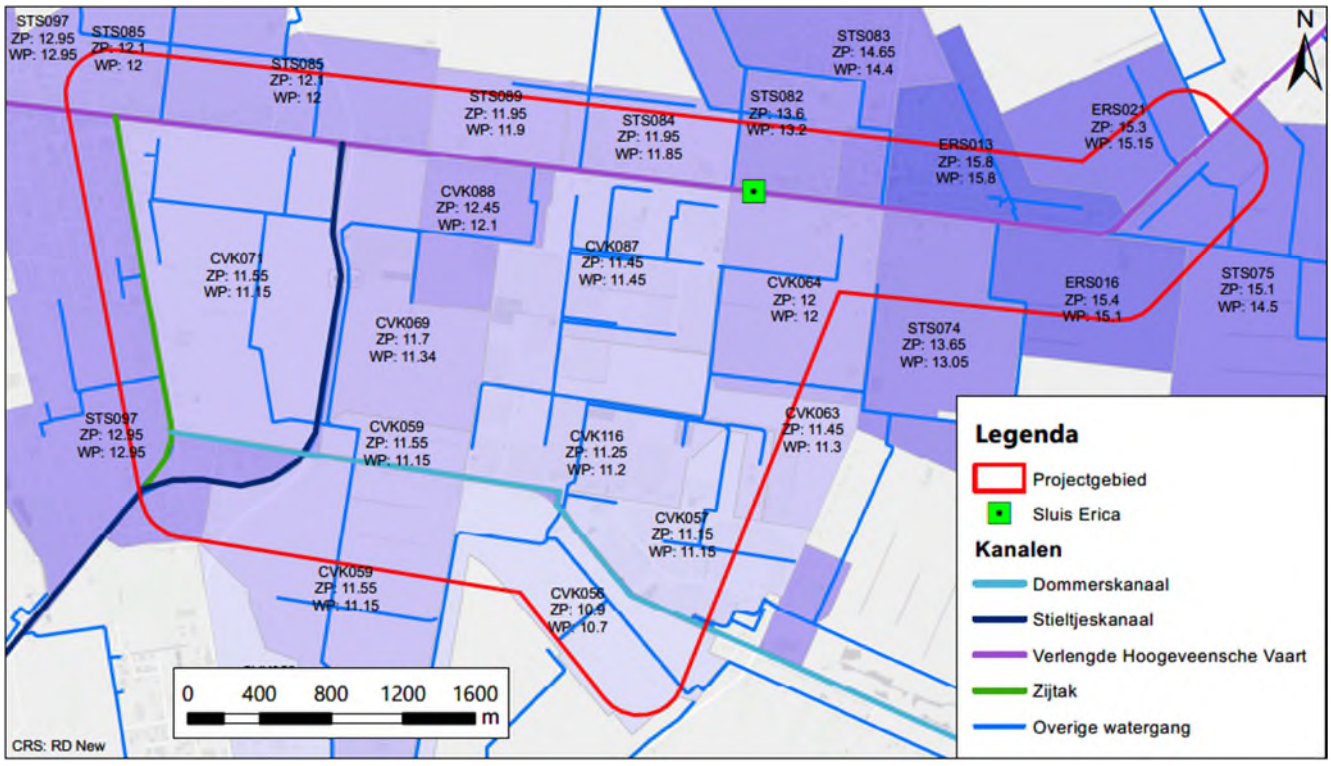
D. Gemodelleerde Grondwaterregimes

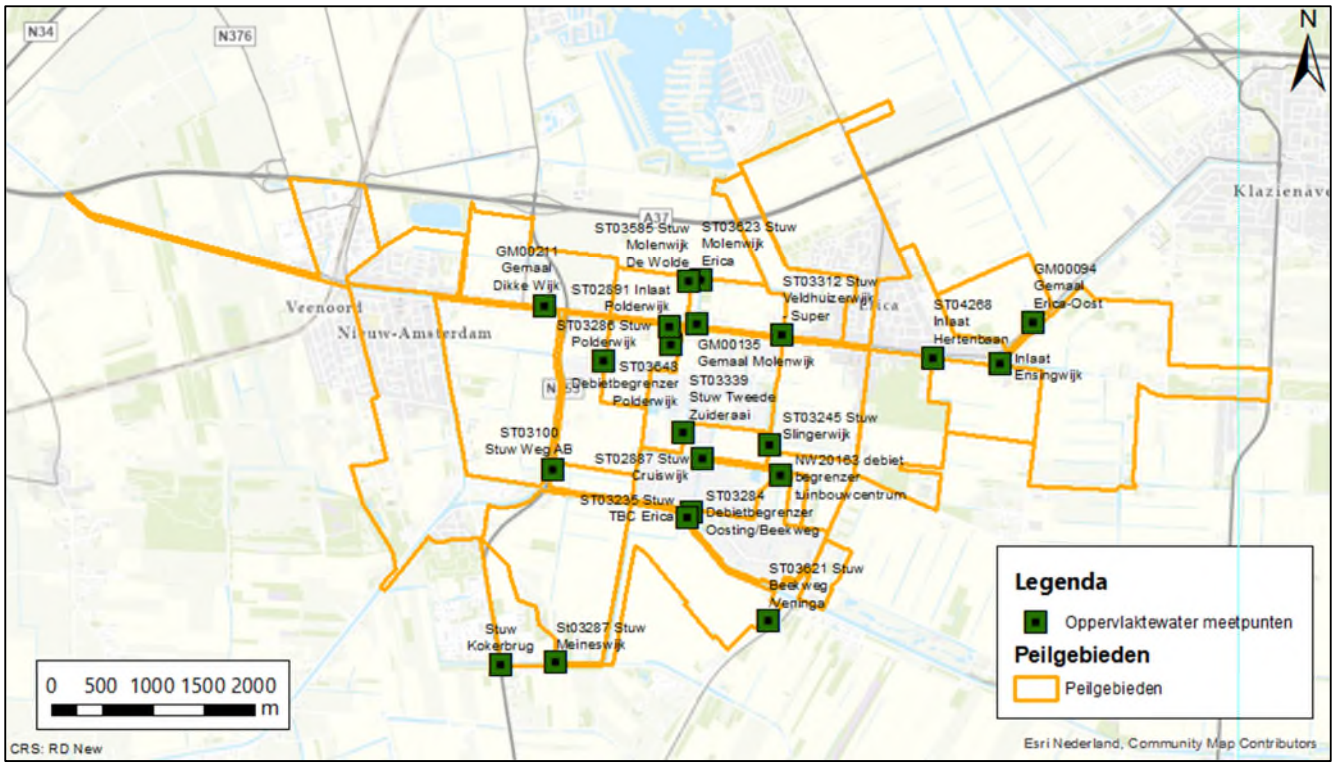
E. Grondwatermodel (MicroFEM)

F. Scenario's grondwateronttrekkingen

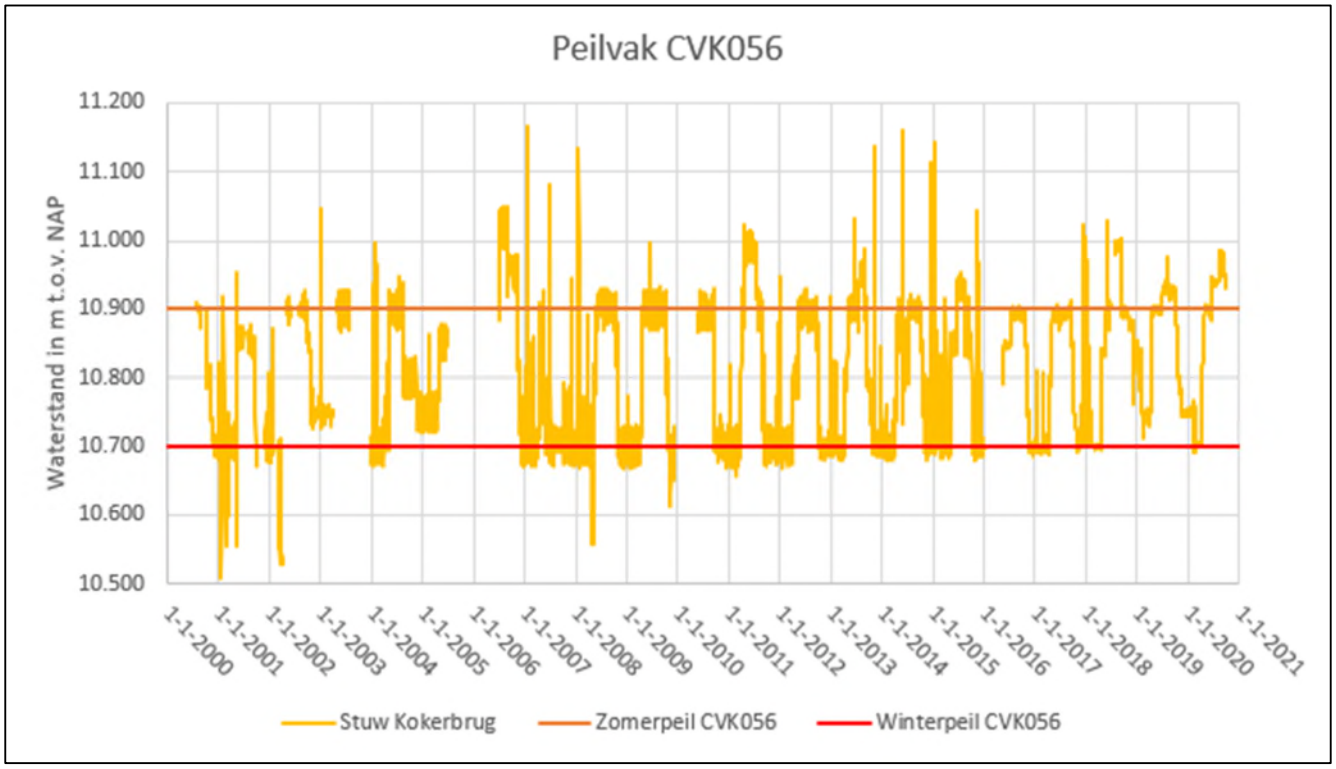
G. Zettingsberekeningen

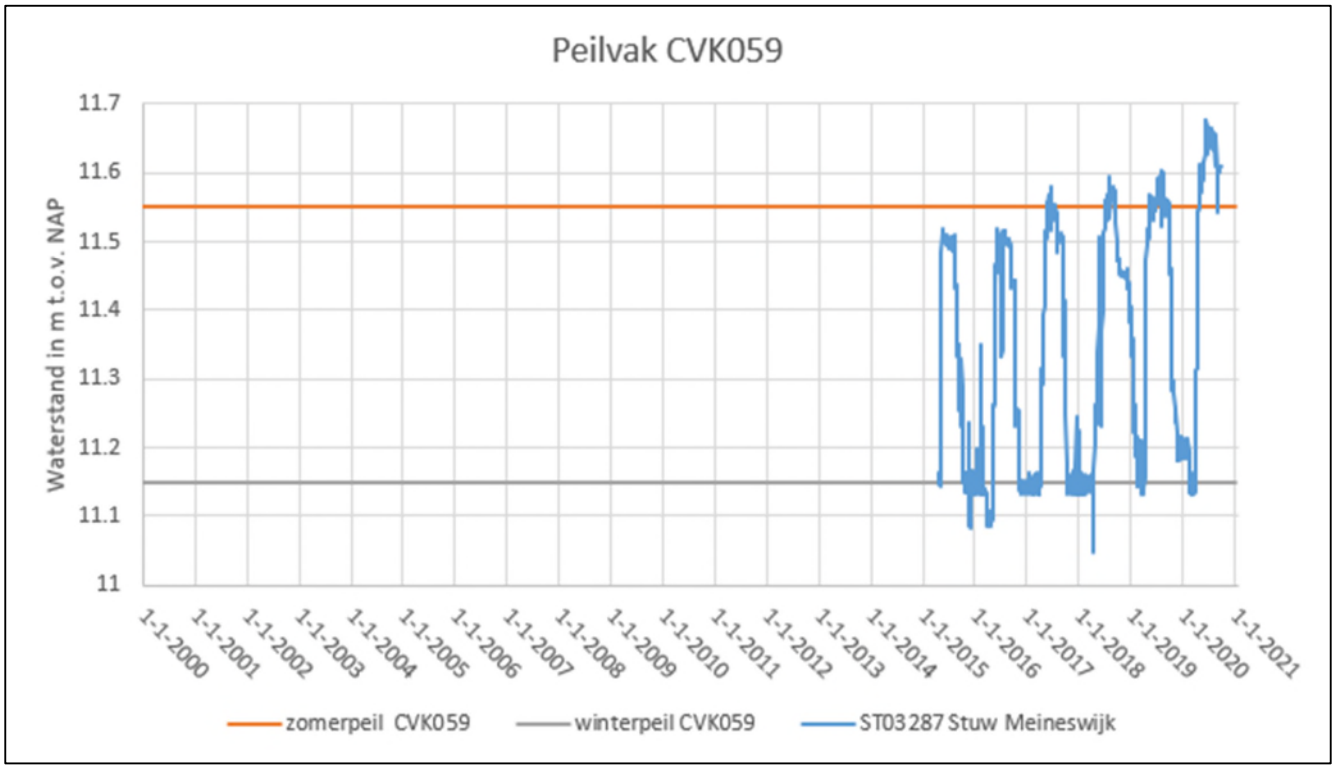
A. Bijlage Meetreeksen Oppervlaktewaterpeil

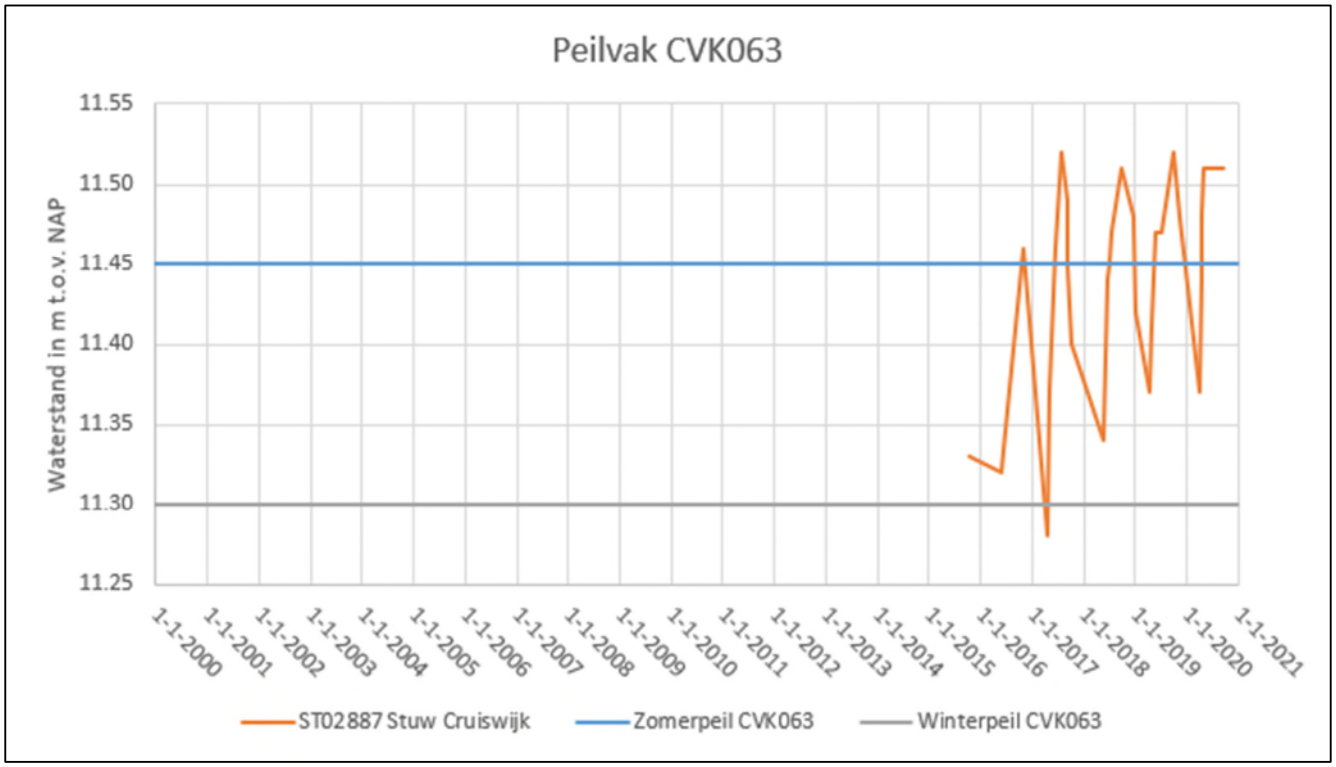


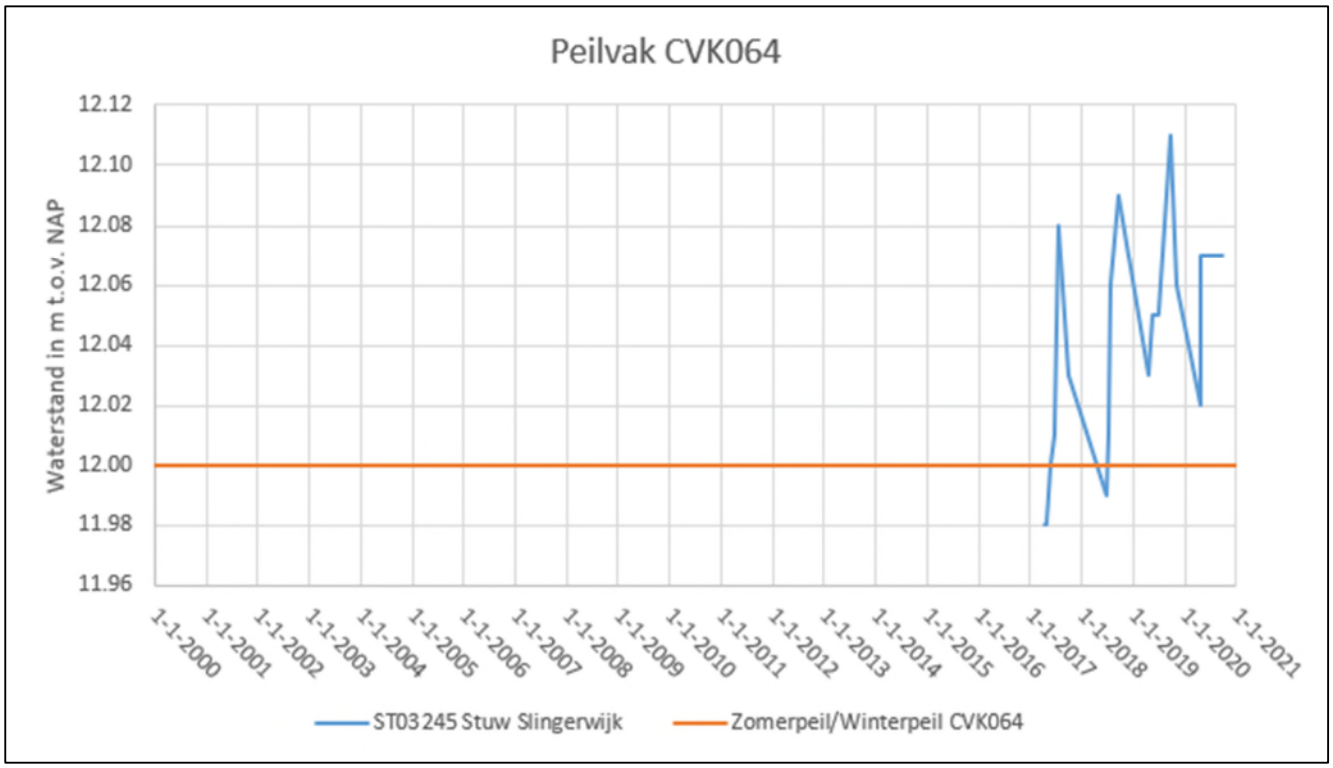


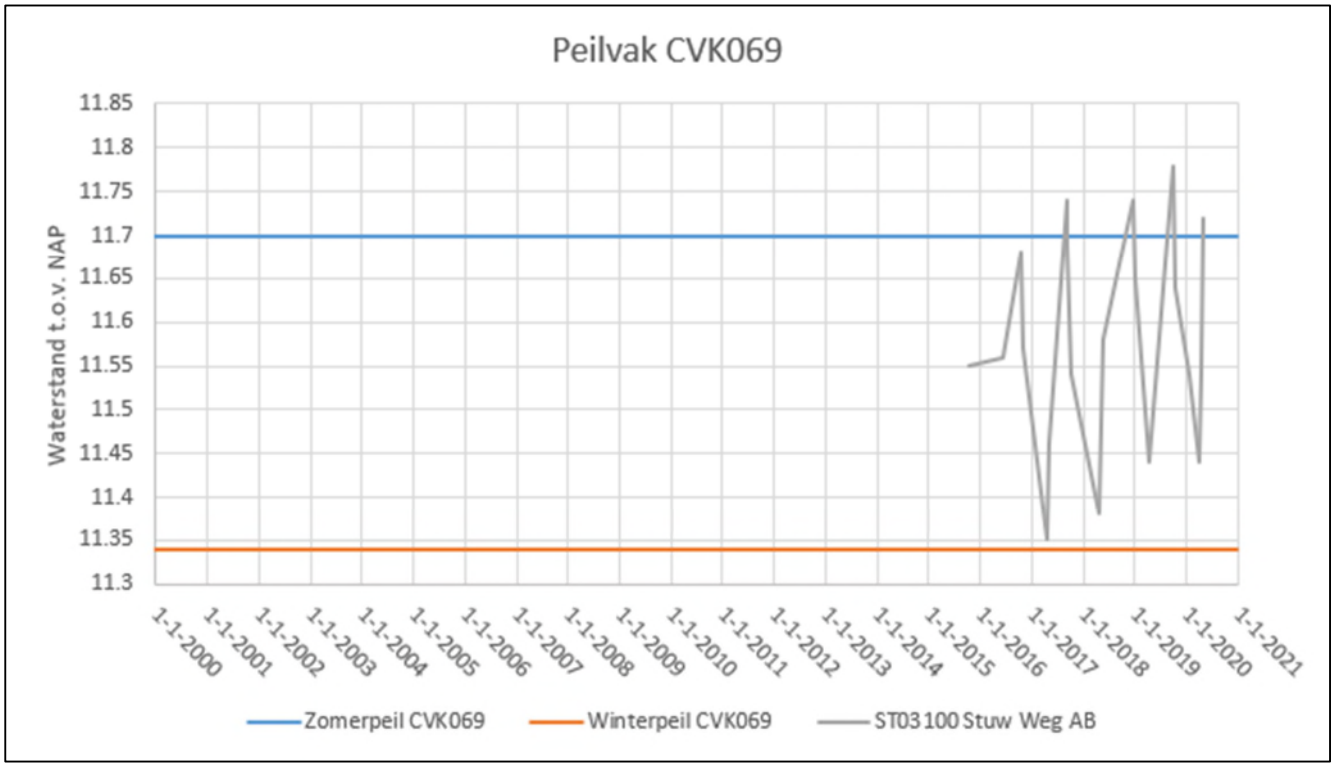
In peilvak CVK057, CVK087, STS074, STS075, STS083 zijn geen metingen beschikbaar

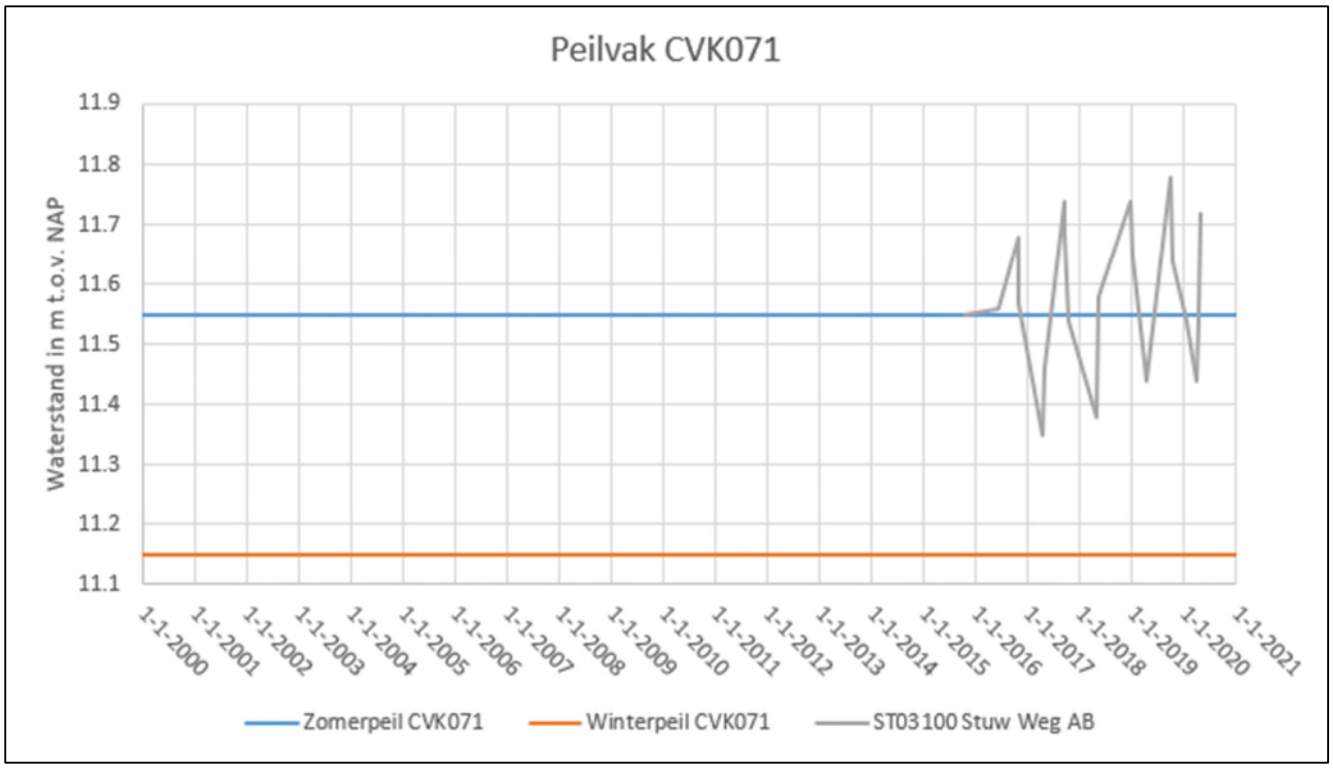

Peilvak CVK056
Waterstand in m t.o.v. NAP
11.200
11.100
11.000
10.900
10.800
10.700
10.600
10.500
1-1-2000
1-1-2001
1-1-2002
1-1-2003
1-1-2004
1-1-2005
1-1-2006
1-1-2007
1-1-2008
1-1-2009
1-1-2010
1-1-2011
1-1-2012
1-1-2013
1-1-2014
1-1-2015
1-1-2016
1-1-2017
1-1-2018
1-1-2019
1-1-2020
1-1-2021
Stuw Kokerbrug
Zomerpeil CVK056
Winterpeil CVK056

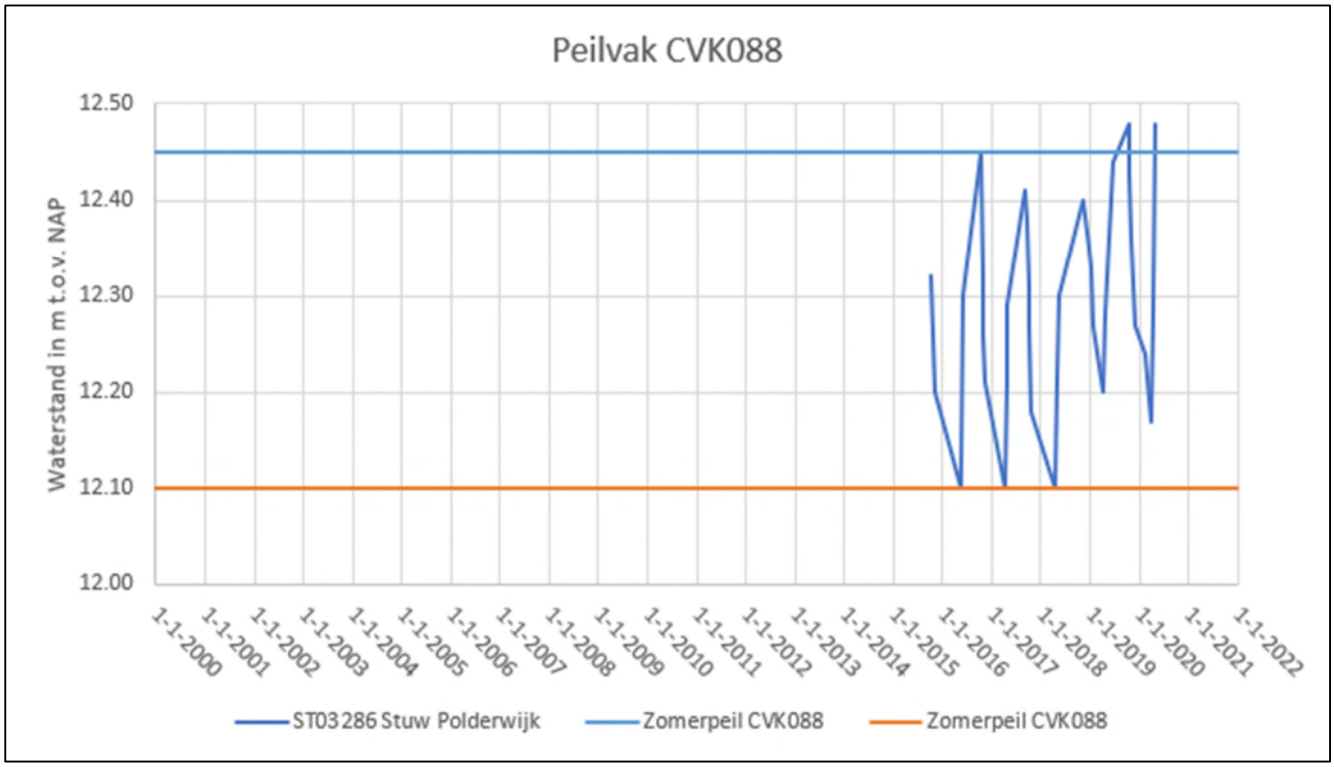

Peilvak CVK059
Waterstand in m t.o.v. NAP
11.7
11.6
11.5
11.4
11.3
11.2
11.1
11
1-1-2000
1-1-2001
1-1-2002
1-1-2003
1-1-2004
1-1-2005
1-1-2006
1-1-2007
1-1-2008
1-1-2009
1-1-2010
1-1-2011
1-1-2012
1-1-2013
1-1-2014
1-1-2015
1-1-2016
1-1-2017
1-1-2018
1-1-2019
1-1-2020
1-1-2021
zomerpeil CVK059
winterpeil CVK059
ST03287 Stuw Meineswijk

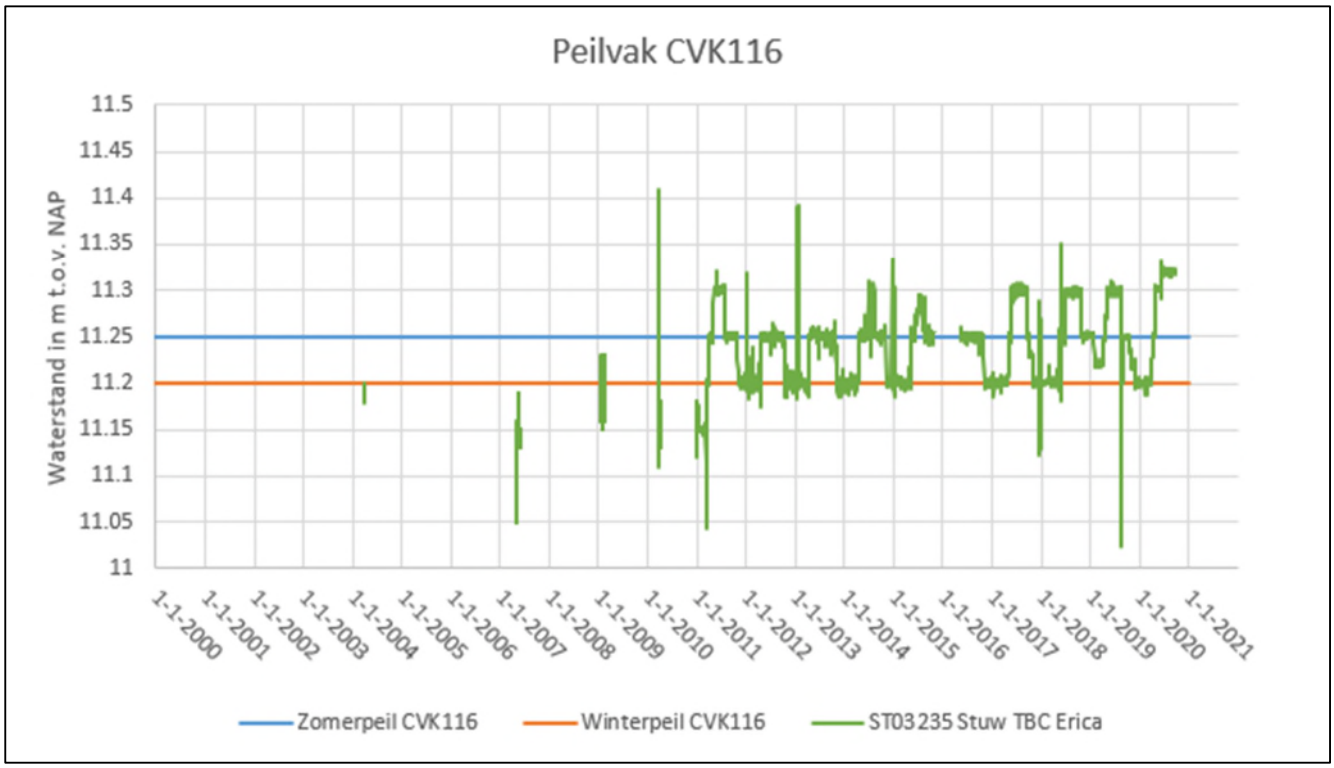

Peilvak CVK063
Waterstand in m t.o.v. NAP
11.55
11.50
11.45
11.40
11.35
11.30
11.25
1-1-2000
1-1-2001
1-1-2002
1-1-2003
1-1-2004
1-1-2005
1-1-2006
1-1-2007
1-1-2008
1-1-2009
1-1-2010
1-1-2011
1-1-2012
1-1-2013
1-1-2014
1-1-2015
1-1-2016
1-1-2017
1-1-2018
1-1-2019
1-1-2020
1-1-2021
ST02887 Stuw Cruiswijk
Zomerpeil CVK063
Winterpeil CVK063

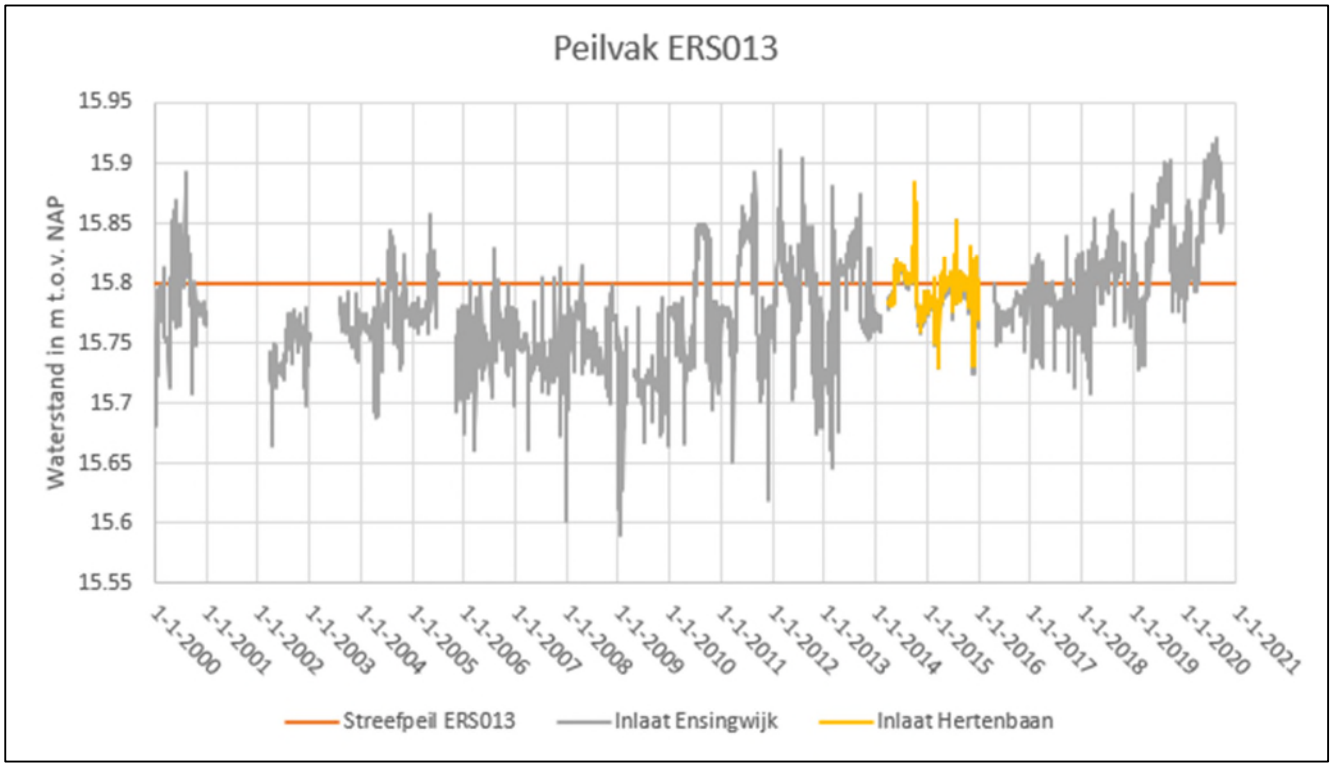

Peilvak CVK064
Waterstand in m t.o.v. NAP
12.12
12.10
12.08
12.06
12.04
12.02
12.00
11.98
11.96
1-1-2000
1-1-2001
1-1-2002
1-1-2003
1-1-2004
1-1-2005
1-1-2006
1-1-2007
1-1-2008
1-1-2009
1-1-2010
1-1-2011
1-1-2012
1-1-2013
1-1-2014
1-1-2015
1-1-2016
1-1-2017
1-1-2018
1-1-2019
1-1-2020
1-1-2021
ST03245 Stuw Slingerwijk
Zomerpeil/Winterpeil CVK064

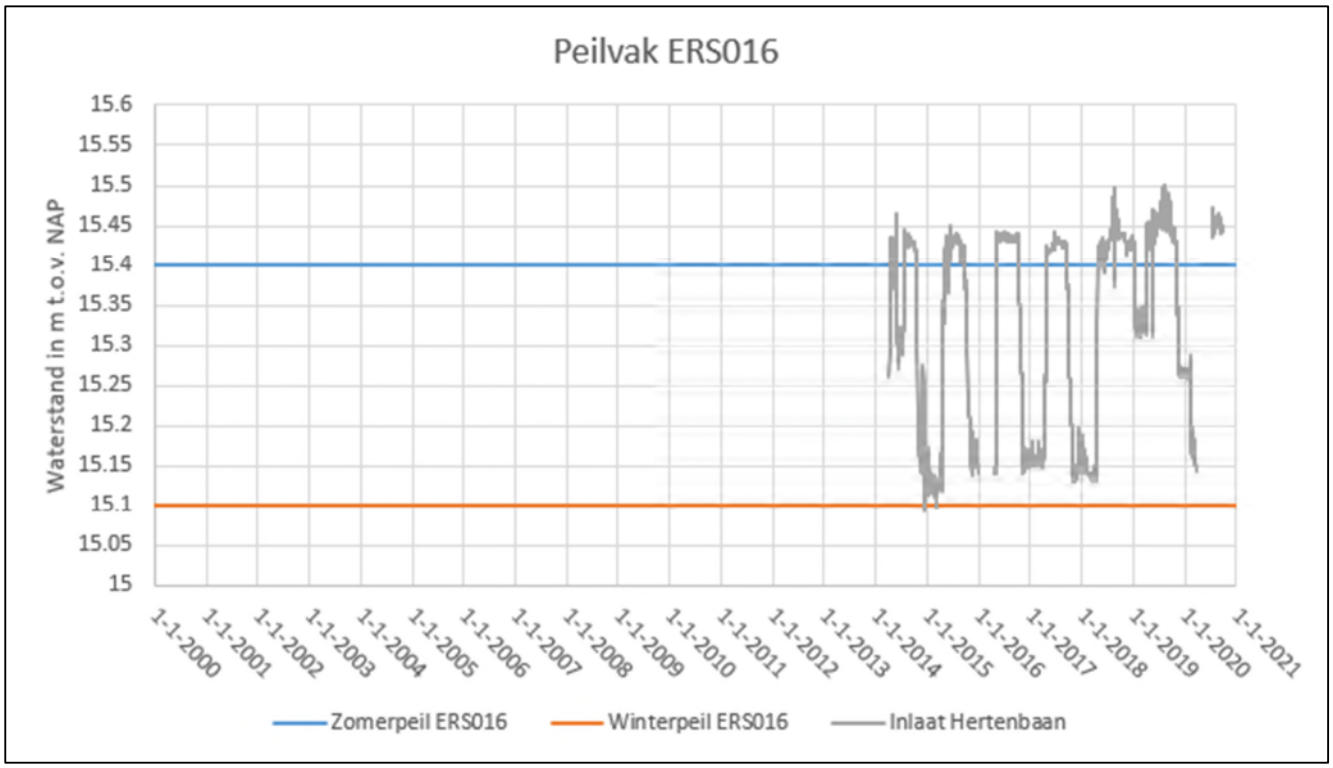

Peilvak CVK069
Waterstand t.o.v. NAP
11.85
11.8
11.75
11.7
11.65
11.6
11.55
11.5
11.45
11.4
11.35
11.3
1-1-2000
1-1-2001
1-1-2002
1-1-2003
1-1-2004
1-1-2005
1-1-2006
1-1-2007
1-1-2008
1-1-2009
1-1-2010
1-1-2011
1-1-2012
1-1-2013
1-1-2014
1-1-2015
1-1-2016
1-1-2017
1-1-2018
1-1-2019
1-1-2020
1-1-2021
Zomerpeil CVK069
Winterpeil CVK069
ST03100 Stuw Weg AB

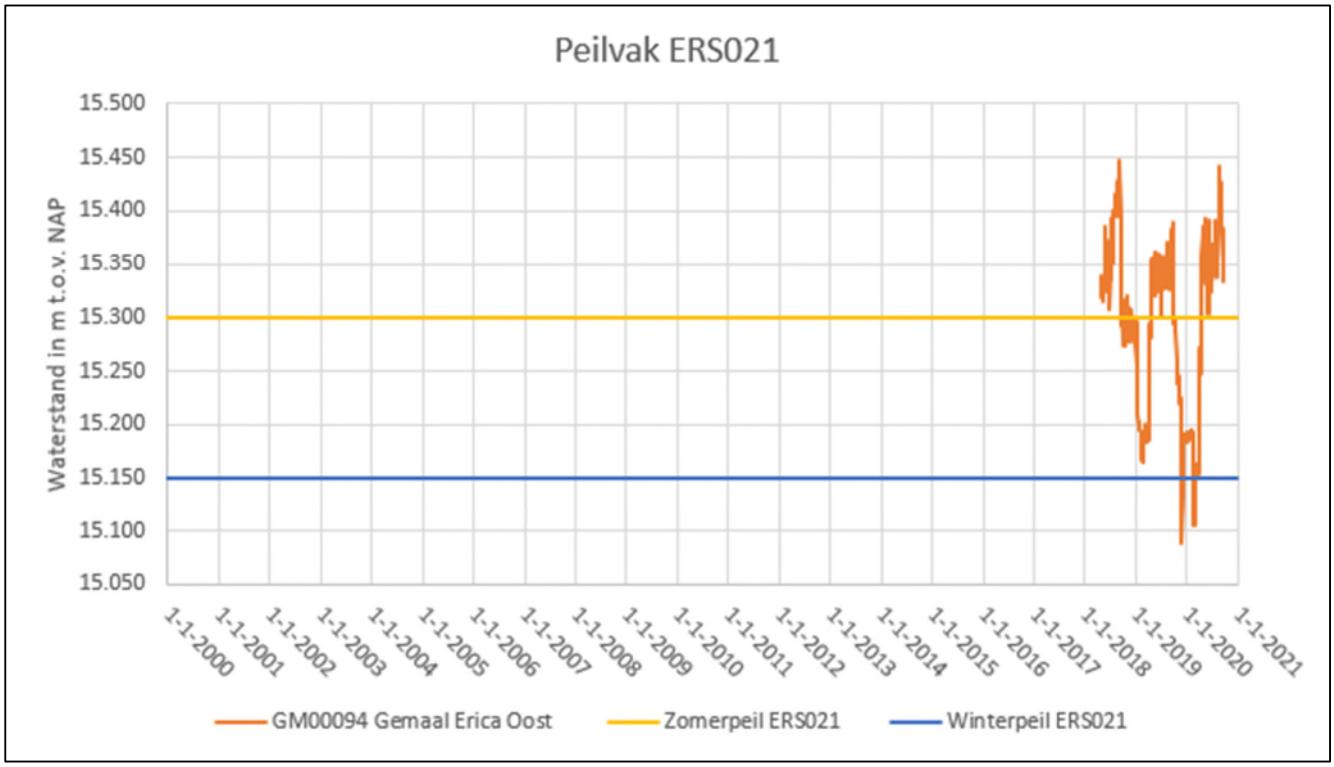

Peilvak CVK071
Waterstand in m t.o.v. NAP
11.9
11.8
11.7
11.6
11.5
11.4
11.3
11.2
11.1
1-1-2000
1-1-2001
1-1-2002
1-1-2003
1-1-2004
1-1-2005
1-1-2006
1-1-2007
1-1-2008
1-1-2009
1-1-2010
1-1-2011
1-1-2012
1-1-2013
1-1-2014
1-1-2015
1-1-2016
1-1-2017
1-1-2018
1-1-2019
1-1-2020
1-1-2021
Zomerpeil CVK071
Winterpeil CVK071
ST03100 Stuw Weg AB

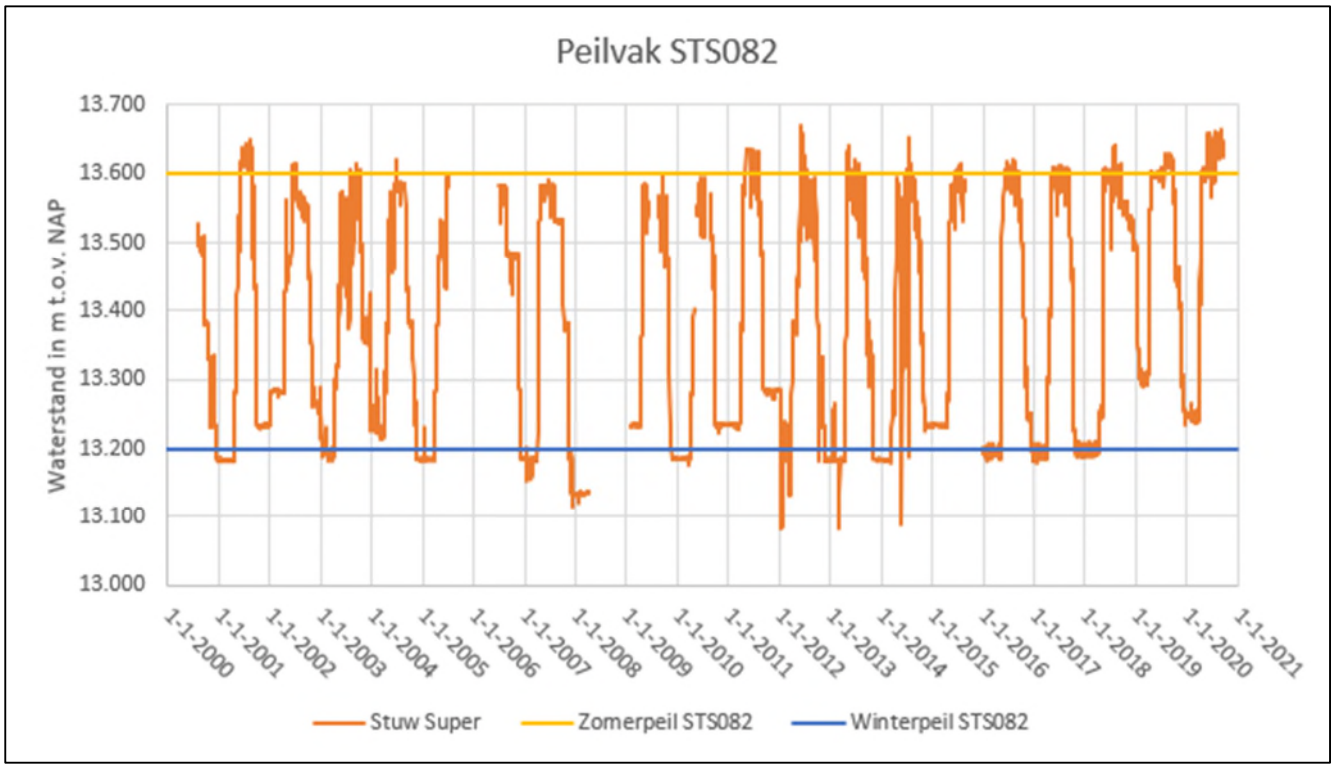

Peilvak CVK088
Waterstand in m t.o.v. NAP
12.50
12.40
12.30
12.20
12.10
12.00
1-1-2000
1-1-2001
1-1-2002
1-1-2003
1-1-2004
1-1-2005
1-1-2006
1-1-2007
1-1-2008
1-1-2009
1-1-2010
1-1-2011
1-1-2012
1-1-2013
1-1-2014
1-1-2015
1-1-2016
1-1-2017
1-1-2018
1-1-2019
1-1-2020
1-1-2021
1-1-2022
ST03286 Stuw Polderwijk
Zomerpeil CVK088
Zomerpeil CVK088

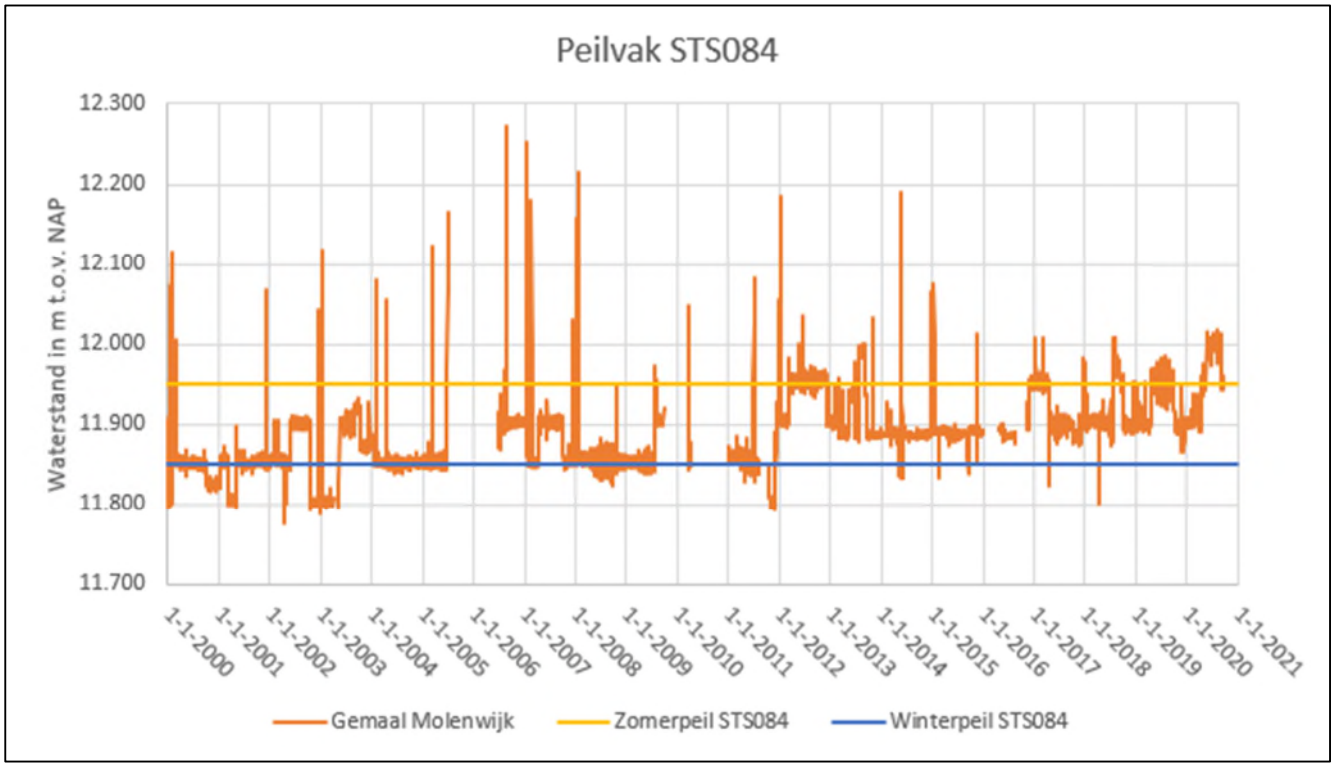

Peilvak CVK116
Waterstand in m t.o.v. NAP
11.5
11.45
11.4
11.35
11.3
11.25
11.2
11.15
11.1
11.05
11
1-1-2000
1-1-2001
1-1-2002
1-1-2003
1-1-2004
1-1-2005
1-1-2006
1-1-2007
1-1-2008
1-1-2009
1-1-2010
1-1-2011
1-1-2012
1-1-2013
1-1-2014
1-1-2015
1-1-2016
1-1-2017
1-1-2018
1-1-2019
1-1-2020
1-1-2021
Zomerpeil CVK116
Winterpeil CVK116
ST03235 Stuw TBC Erica

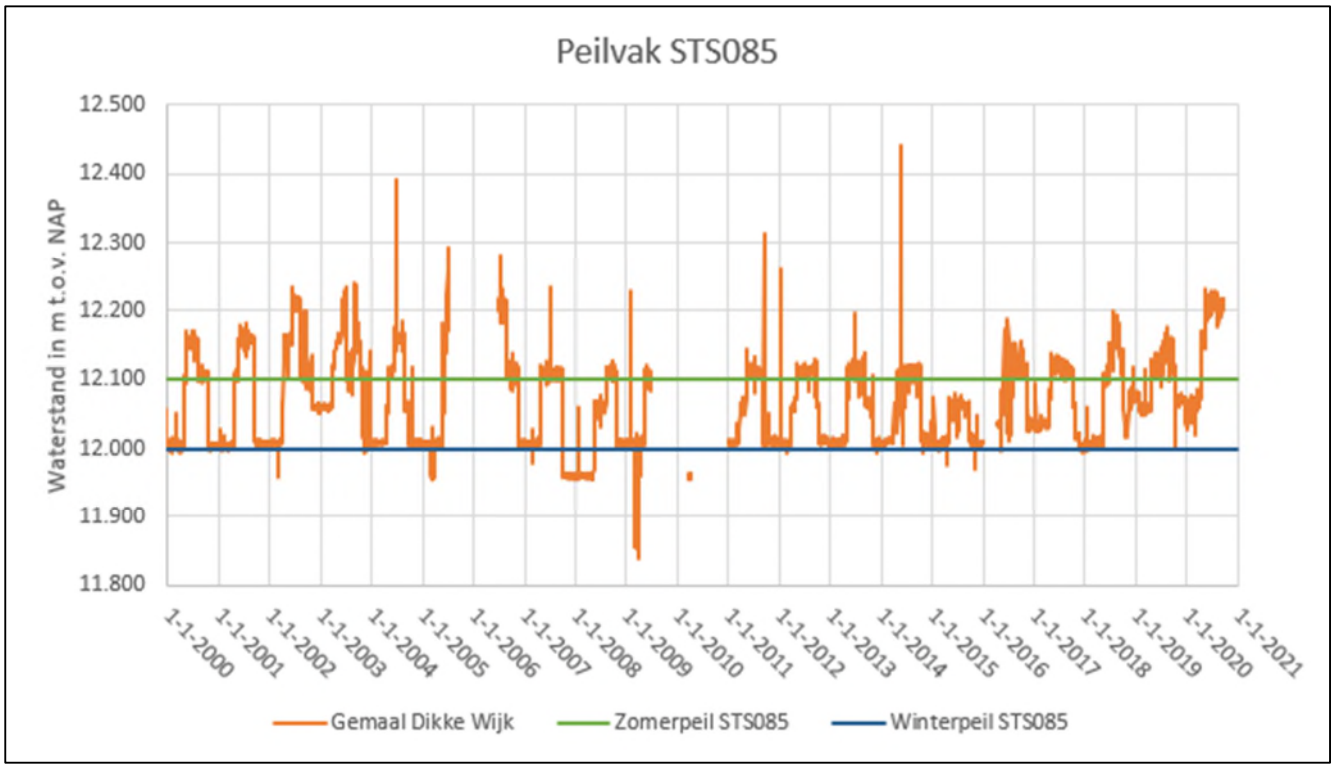

Peilvak ERS013
Waterstand in m t.o.v. NAP
15.95
15.9
15.85
15.8
15.75
15.7
15.65
15.6
15.55
1-1-2000
1-1-2001
1-1-2002
1-1-2003
1-1-2004
1-1-2005
1-1-2006
1-1-2007
1-1-2008
1-1-2009
1-1-2010
1-1-2011
1-1-2012
1-1-2013
1-1-2014
1-1-2015
1-1-2016
1-1-2017
1-1-2018
1-1-2019
1-1-2020
1-1-2021
Streefpeil ERS013
Inlaat Ensingwijk
Inlaat Hertenbaan

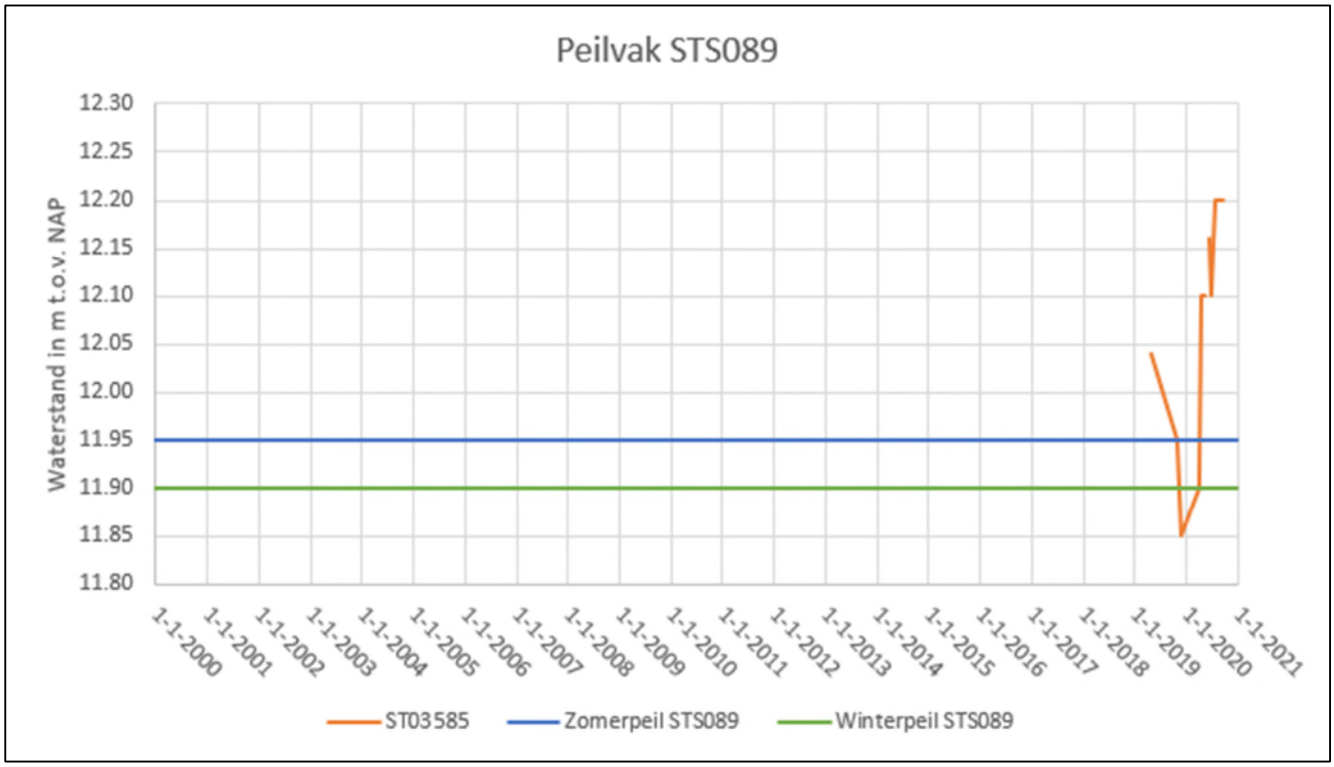

Peilvak ERS016
Waterstand in m t.o.v. NAP
15.6
15.55
15.5
15.45
15.4
15.35
15.3
15.25
15.2
15.15
15.1
15.05
15
1-1-2000
1-1-2001
1-1-2002
1-1-2003
1-1-2004
1-1-2005
1-1-2006
1-1-2007
1-1-2008
1-1-2009
1-1-2010
1-1-2011
1-1-2012
1-1-2013
1-1-2014
1-1-2015
1-1-2016
1-1-2017
1-1-2018
1-1-2019
1-1-2020
1-1-2021
Zomerpeil ERS016
Winterpeil ERS016
Inlaat Hertenbaan

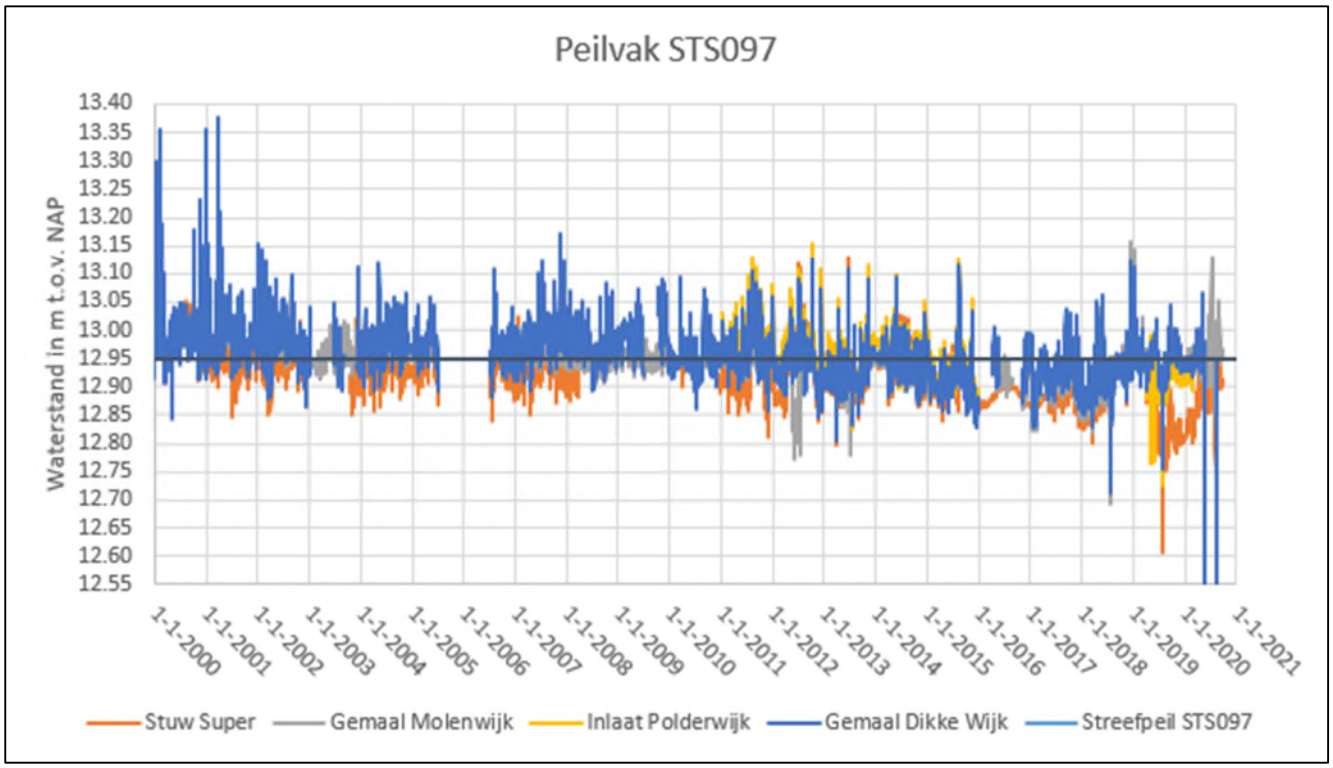

Peilvak ERS021
Waterstand in m t.o.v. NAP
15.500
15.450
15.400
15.350
15.300
15.250
15.200
15.150
15.100
15.050
1-1-2000
1-1-2001
1-1-2002
1-1-2003
1-1-2004
1-1-2005
1-1-2006
1-1-2007
1-1-2008
1-1-2009
1-1-2010
1-1-2011
1-1-2012
1-1-2013
1-1-2014
1-1-2015
1-1-2016
1-1-2017
1-1-2018
1-1-2019
1-1-2020
1-1-2021
GM00094 Gemaal Erica Oost
Zomerpeil ERS021
Winterpeil ERS021


Peilvak STS082
Waterstand in m t.o.v. NAP
13.700
13.600
13.500
13.400
13.300
13.200
13.100
13.000
1-1-2000
1-1-2001
1-1-2002
1-1-2003
1-1-2004
1-1-2005
1-1-2006
1-1-2007
1-1-2008
1-1-2009
1-1-2010
1-1-2011
1-1-2012
1-1-2013
1-1-2014
1-1-2015
1-1-2016
1-1-2017
1-1-2018
1-1-2019
1-1-2020
1-1-2021
Stuw Super
Zomerpeil STS082
Winterpeil STS082

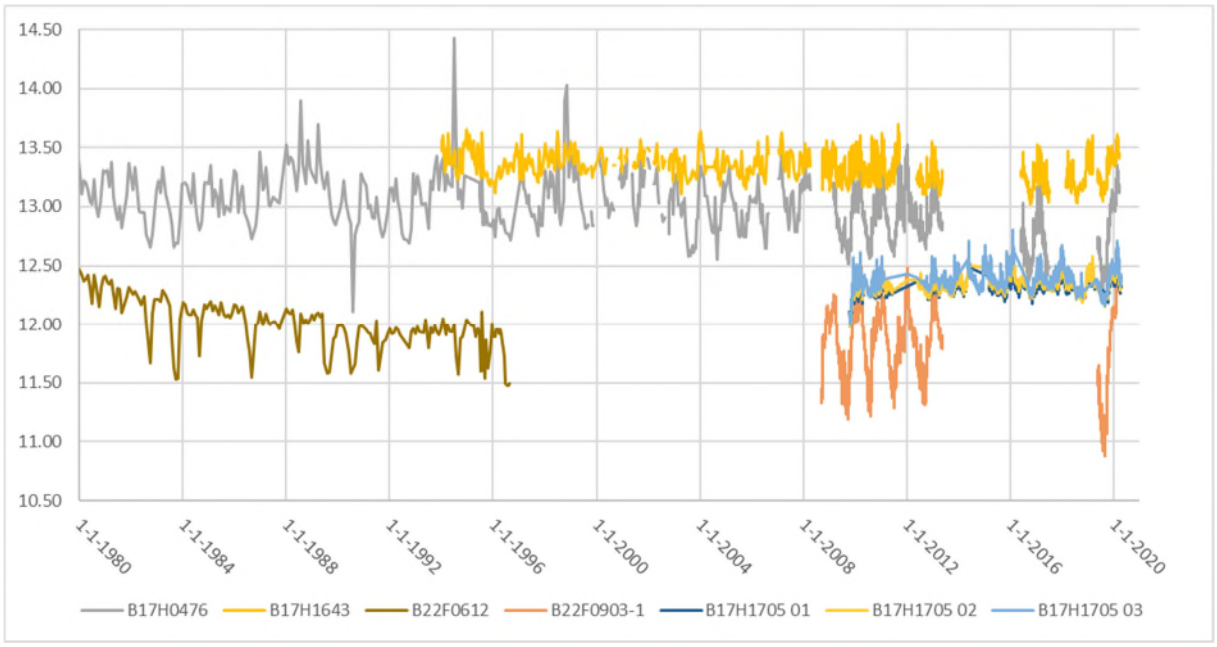

Peilvak STS084
Waterstand in m t.o.v. NAP
12.300
12.200
12.100
12.000
11.900
11.800
11.700
1-1-2000
1-1-2001
1-1-2002
1-1-2003
1-1-2004
1-1-2005
1-1-2006
1-1-2007
1-1-2008
1-1-2009
1-1-2010
1-1-2011
1-1-2012
1-1-2013
1-1-2014
1-1-2015
1-1-2016
1-1-2017
1-1-2018
1-1-2019
1-1-2020
1-1-2021
Gemaal Molenwijk
Zomerpeil STS084
Winterpeil STS084


Peilvak STS085
Waterstand in m t.o.v. NAP
12.500
12.400
12.300
12.200
12.100
12.000
11.900
11.800
1-1-2000
1-1-2001
1-1-2002
1-1-2003
1-1-2004
1-1-2005
1-1-2006
1-1-2007
1-1-2008
1-1-2009
1-1-2010
1-1-2011
1-1-2012
1-1-2013
1-1-2014
1-1-2015
1-1-2016
1-1-2017
1-1-2018
1-1-2019
1-1-2020
1-1-2021
Gemaal Dikke Wijk
Zomerpeil STS085
Winterpeil STS085

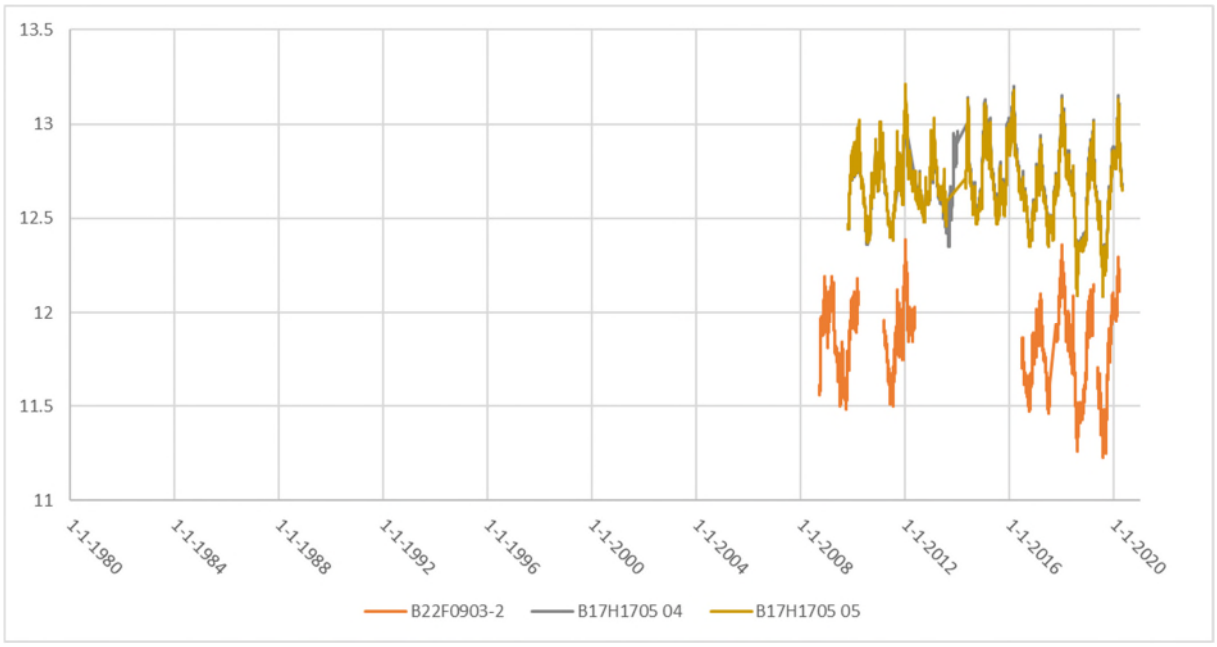

Peilvak STS089
Waterstand in m t.o.v. NAP
12.30
12.25
12.20
12.15
12.10
12.05
12.00
11.95
11.90
11.85
11.80
1-1-2000
1-1-2001
1-1-2002
1-1-2003
1-1-2004
1-1-2005
1-1-2006
1-1-2007
1-1-2008
1-1-2009
1-1-2010
1-1-2011
1-1-2012
1-1-2013
1-1-2014
1-1-2015
1-1-2016
1-1-2017
1-1-2018
1-1-2019
1-1-2020
1-1-2021
ST03585
Zomerpeil STS089
Winterpeil STS089


Peilvak STS097
Waterstand in m t.o.v. NAP
13.40
13.35
13.30
13.25
13.20
13.15
13.10
13.05
13.00
12.95
12.90
12.85
12.80
12.75
12.70
12.65
12.60
12.55
1-1-2000
1-1-2001
1-1-2002
1-1-2003
1-1-2004
1-1-2005
1-1-2006
1-1-2007
1-1-2008
1-1-2009
1-1-2010
1-1-2011
1-1-2012
1-1-2013
1-1-2014
1-1-2015
1-1-2016
1-1-2017
1-1-2018
1-1-2019
1-1-2020
1-1-2021
Stuw Super
Gemaal Molenwijk
Inlaat Polderwijk
Gemaal Dikke Wijk
Streefpeil STS097

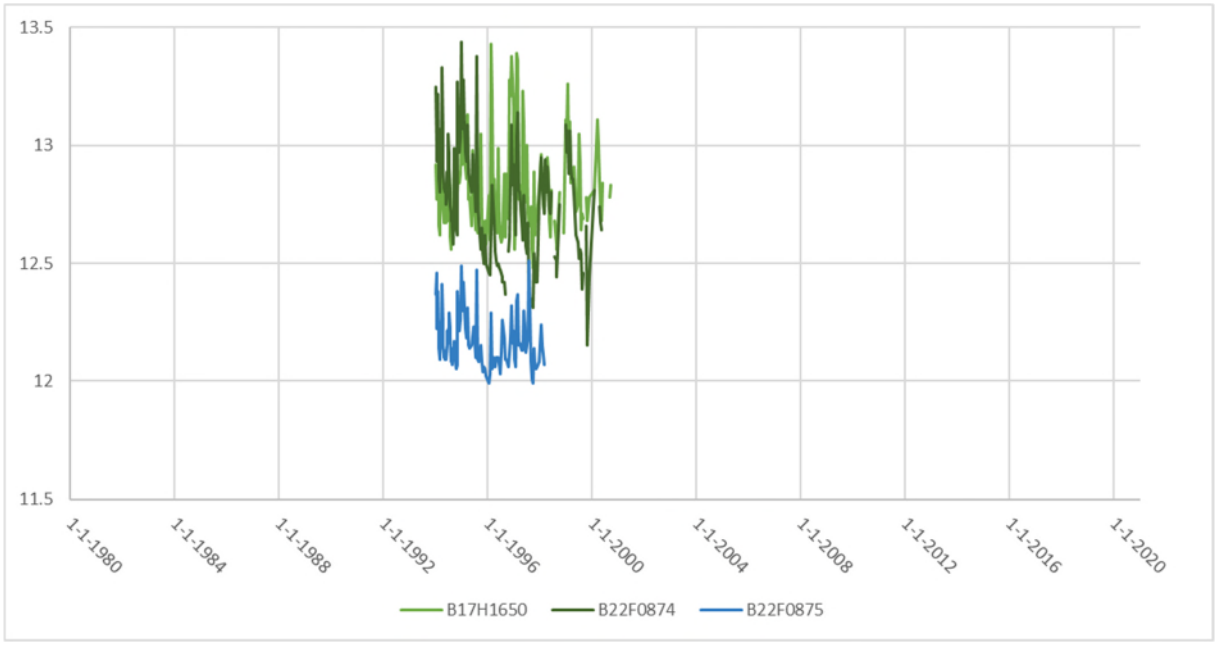
B. Bijlage Meetreeksen Grondwaterstanden/Stijghoogtes



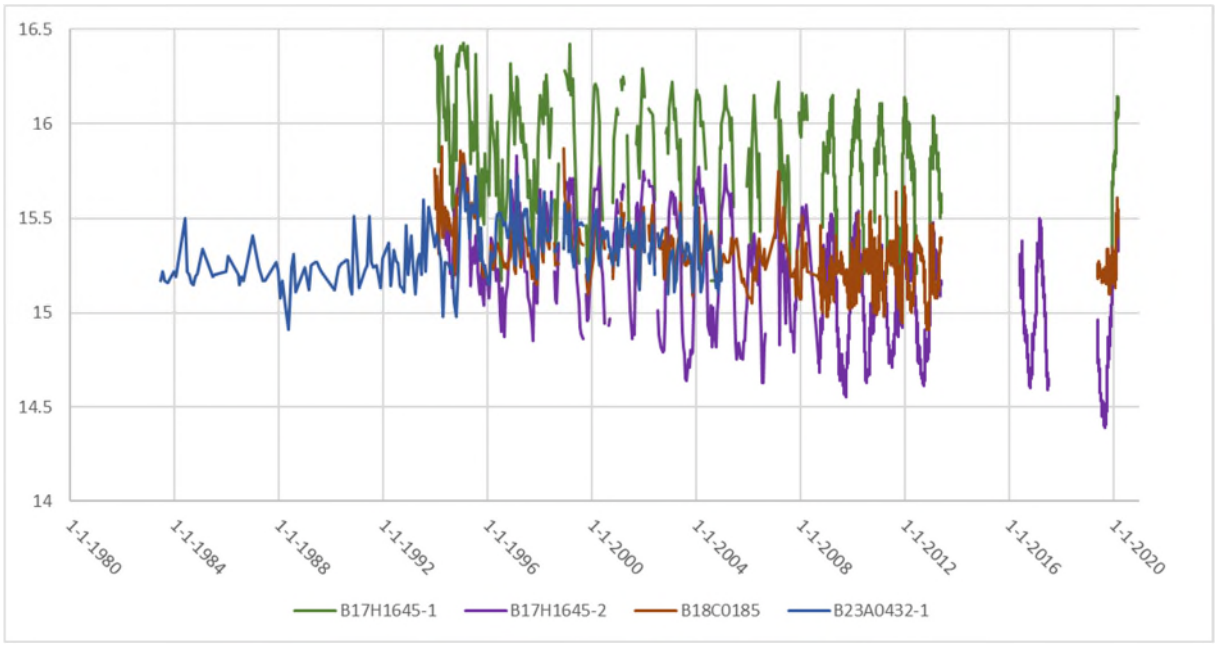
Figuur B.1: Laaggelegen gebied (veenvlakte), ondiepe peilbuizen (freatische zand of in veenlagen)



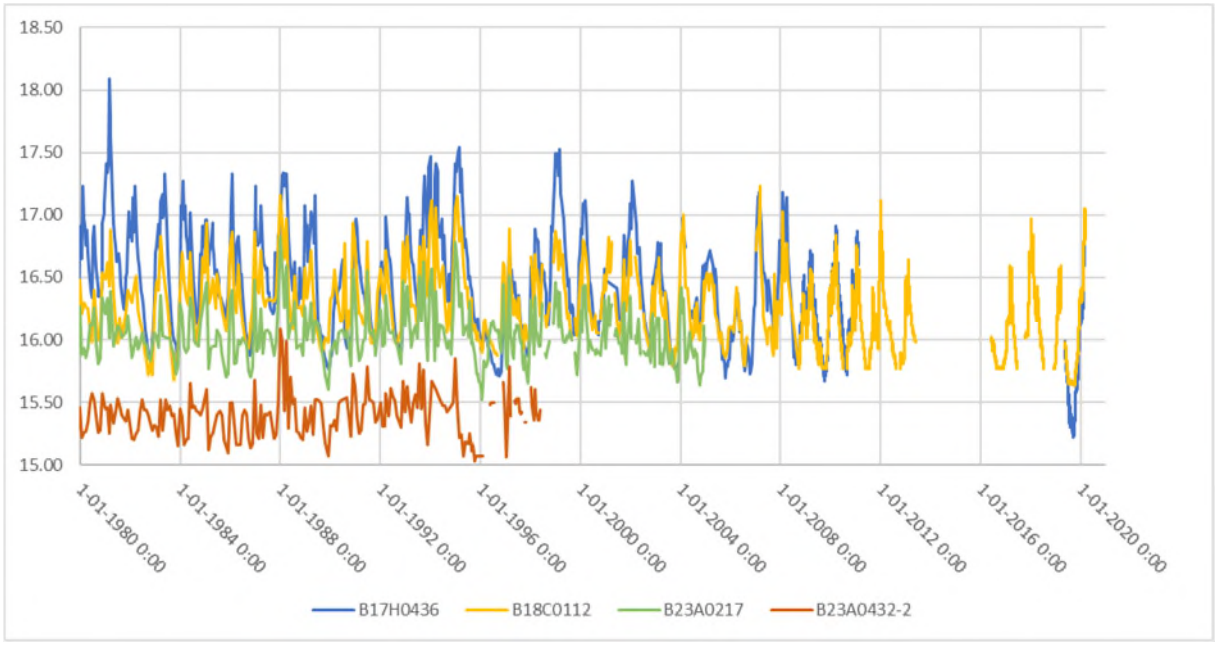
Figuur B.2: Laaggelegen gebied (veenvlakte), diepe peilbuizen (onder veen of kleilagen)



Figuur B.3: Laaggelegen gebied (veenvlakte), peilbuizen op onbekende diepte



Figuur B.4: Hooggelegen gebied (Hondsrug), ondiepe peilbuizen (freatisch zand of in veenlagen)



Figuur B.5: Hooggelegen gebied (Hondsrug), diepe peilbuizen (onder veen/kleilaag)

C. Bijlage Tijdreeksanalyse (Menyanthes)

Verificatie tijdreeksen

De tijdreeksen van freatische grondwaterstanden en stijghoogtes zijn met Menyanthes gesimuleerd met als resultaat onder andere de karakteristieken zoals hieronder weergegeven in tabel c.1. Menyanthes leidt uit de reeksen een groot aantal kenmerken af die niet alleemaal zijn weergegeven. Voor een onderbouwing van waarom gekozen is voor Menyanthes verwijzen wij naar de tweede druk van het Grondwaterzakboekje en de literatuur die daarin genoemd wordt.

Tabel C.1: Verificatie tijdreeksmodellen, dikgedrukte reeksen hebben een verklaarde variantie (EVP) van > 70% door alleen neerslag en verdamping.

Grondwater-meetpunt	Filterdiepte [ca. m-mv]	EVP [%]	Gain (M_0) / standaard-deviatie (σ)	Lokale drainage-weerstand [dagen]	Verdampings-factor	Drainage-basis [m t.o.v. NAP]	Zomerpeil/ Winterpeil [m NAP]
B17H0436-1	**5,5 – 6,5**	**87,7**	**927,7 / 21**	**655**	**1,24**	**+16,4**	+16,15 / +15,8
B17H0474-1	**2,5 – 3,0**	**77,4**	**712,5 / 39**	**690**	**0,79**	**+17,0**	+16,15 / +15,8
B17H0476-1	**2,5 – 3,0**	**80,1**	**289,4 / 12**	**266**	**0,94**	**+12,8**	+11,95 / +11,9 Kanaal: +12,95
B17H1643-1	1,8 – 2,3	63,9	116,6 / 4	100	0,53	+13,3	+13,6 / +13,2
B17H1645-1	0,8 – 1,3	75,7	893,3 / 48	298	2,33	+16,3	+15,4 / +15,1
B17H1645-2	**2,4 – 2,9**	**85,45**	**553,7 / 16**	**368**	**1,79**	**+15,5**	Kanaal: +15,8
B17H1650-1	Onbekend	28,54	1149 / 110.000	767	1,32	+12,6	+11,95 / +11,85 Kanaal: +12,95
B17H1705-1	2,7 – 4,7	31,9	165,9 / 62	62	0,43	+12,2	+12,5 / +12,2
B17H1705-2	7,7 – 9,7	49,4	350,1/ 150	117	0,84	+12,2	
B17H1705-3	21,5 – 23,5	62,2	351,3 / 50	157	0,90	+12,2	
B17H1705-4	**29,4 – 31,4**	**91,7**	**260,5 / 3,7**	**257**	**0,98**	**+12,5**	
B17H1705-5	**48,5 – 50,5**	**89,8**	**243,1 / 3,7**	**240**	**0,90**	**+12,5**	
B18C0112-1	**0,7 – 1,7**	**78,9**	**416,1 / 11**	**386**	**1,01**	**+16,1**	+15,8
B18C0185-1	0,7 – 1,7	33,1	52,4 / 0,45	55	0	+15,3	+15,1 / +14,5
B22F0609-1	1,4 – 1,9	24,7	207,9 / 34	336	0,32	+13,3	+13,65 / +13,05
B22F0612-1	1,6 – 2,1	59,7	79,5 / 18	88	2,04	+12,0	+11,25 / +11,2 Kanaal: +12,95
B22F0874-1	**Onbekend**	**76,6**	**293,8 / 28**	**261**	**0,74**	+12,5	+11,45
B22F0875-1	Onbekend	58,6	81,8 / 10	145	0,52	+11,9	+11,55 / +11,15
B22F0903-1	**1,0 – 2,0**	**91,4**	**539,3 / 28**	**307**	**1,43**	+11,9	+11,45 / +11,15
B22F0903-2	**4,7 – 5,7**	**90,6**	**253,1 / 7,3**	**235**	**1,13**	+11,8	
B23A0217-1	2,5 – 3,0	43,9	159,8 / 17	168	0,24	+15,8	+15,1 / +14,5
B23A0432-1	2,6 – 3,1	17,2	121,7 / 81	132	0,1	+15,1	+15,1 / +15,4
B23A0432-2	13,9 – 14,9	27,3	77,6 / 15	82	0	+15,3	

Hierin zijn **EVP** = Explained Variance Percentage, **Gain** = responsekarakteristiek of gevoeligheid, **Gain/sigma** = maat voor verhouding gevoeligheid en variatie.

De betrouwbaarheid (hoe significant is het resultaat) van het model is afhankelijk van het aantal datapunten van zowel verklarende als te verklaren reeksen, en daarvoor is de **Gain/Sigma** de meest bruikbare maat. Menyanthes geeft in stoplichtkleuren weer als er aandacht moet worden gegeven aan bepaalde aspecten van een model.

Een lage **EVP** is in het geval van tijdreeksanalyse niet hetzelfde als een onbruikbaar resultaat. Wel geldt dat hoe lager de EVP, hoe minder goed het model bruikbaar is voor sommige doelen zoals het simuleren van reeksen om gaten op te vullen of te extrapoleren. Het niet verklaarde deel van de reeks kan dankzij de grafische output van Menyanthes nog altijd betrouwbare informatie leveren over trends en de factoren die ontbreken in de modelbouw zoals grondwateronttrekkingen, polderbemaling, rivierpeil, getijden of beregening met water van elders. Met dat doel is de Tabel C.1 ook niet uitgedund. Trends kunnen vele oorzaken hebben, zoals veranderingen in de waterbalans van bovenstroomse regio's en veranderingen in landgebruik (verhardingen of ontbossing etc) of ontwateringsmiddelen zoals draindiepte, drainafstand, ontgrondingen en kanaalverdieping.

Menyanthes is al met weinig metingen in staat een hydrologisch systeem te karakteriseren, zelfs als die niet regelmatig over de tijd verdeeld zijn. Het maakt daarvoor bij de parameterbepaling gebruik van de natuurlijke vorm van de recessie van grondwater na neerslag, de Pearsson 3 verdeling. Het bijzondere daarvan is in vergelijking met eenvoudiger tijdreeksmodellen dat het model ook informatie oppikt als de metingen een onregelmatige of veel lagere intervallengte hebben dan de processen die zich in het systeem voordoen zoals het de karakteristieke traagheid van het wegstromen van een neerslaggebeurtenis en de stapeling van neerslaggebeurtenissen als die elkaar snel opvolgen. Het heeft dan wel veel metingen nodig om de "toevalligheid van de timing van meettijdstippen te kunnen compenseren". Bij neerslag is het wel van groot belang dat er geen "water ontbreekt", want het effect van dat water op de grondwaterstand weegt dan zwaar mee. De kwaliteit van de neerslagreeksen in Nederland is gelukkig zeer hoog. Een andere eis in hydrologische processen is dat de meetreeksen bij voorkeur vele jaren beslaat omdat daardoor de jaarcyclus wordt gecompenseerd. Dat gold ook al bij het bepalen van grondwaterregimes met 2-wekelijkse metingen waarvoor 8 jaar wordt aangehouden als minimum.

Een belangrijk resultaat van tijdreeksmodellen zijn de drainagebasis (de geschatte eindtoestand van het systeem na uitval van de neerslag) en de lokale drainageweerstand (de "traagheid" waarmee die eindtoestand wordt bereikt). Als bij acceptabele EVP de drainagebasis hoger ligt dan de echte oppervlaktewaterpeilen in de omgeving, en de drainageweerstand is hoog dan is er sprake van stagnerend water. Bij lage drainageweerstand is er sprake van een andere bron van water zoals kwel. Daar waar bij acceptabele EVP de drainagebasis lager ligt dan het oppervlaktewater wijst het op inzijging, en als daarbij de drainageweerstand groot is in ondiepe buizen kan het zijn dat er zich schijngrondwaterstanden voordoen. In tabel B1 zijn de drainagebasiswaarden blauw gemarkeerd als de drainagebasis hoger ligt dan het ingestelde oppervlaktewaterpeil. De werkelijke bereikte oppervlaktewaterstand wijkt hier ook nog wel van af van de ingestelde peilen.

De lokale drainageweerstand is een maat voor de traagheid waarmee de initiële stijging weer wegzakt na neerslag. Deze heeft doorgaans een waarde van enkele dagen voor een

grondwatermeetpunt dicht bij een drainerend middel tot duizenden dagen voor een grondwatermeetpunt ver van een drainerend middel. De gevonden waarden komen overeen met de literatuurwaarden en zijn daardoor naar onze mening betrouwbaar.

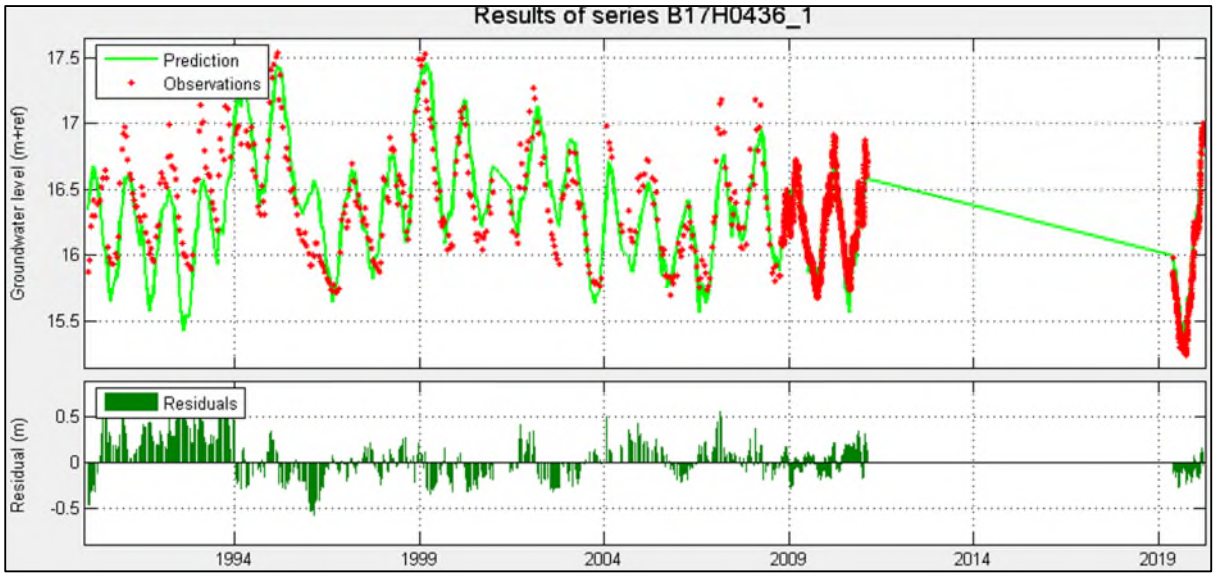
De verdampingsfactor is de factor die de respons van de grondwaterstand op de verdamping schaalt t.o.v. de respons op neerslag. Dat is dus niet hetzelfde als de gewasfactor om de verdamping gemeten door het KNMI om te rekenen. De verdampingsfactor heeft normaliter een waarde tussen 0,5 en 2,0. In situaties waarin bijvoorbeeld door oppervlakkige afstroming intensieve neerslag afgevoerd wordt zonder het grondwater aan te vullen en waar de bodemsamenstelling een grote hangwatervoorraad kan vasthouden (sterk lemig zand) is de verdampingsfactor in potentie erg groot, zolang er vegetatie op staat om het hangwater ook daadwerkelijk te verdampen. De verdampingsfactoren zijn dus niet beperkt tot de range van 0,5 tot 2.

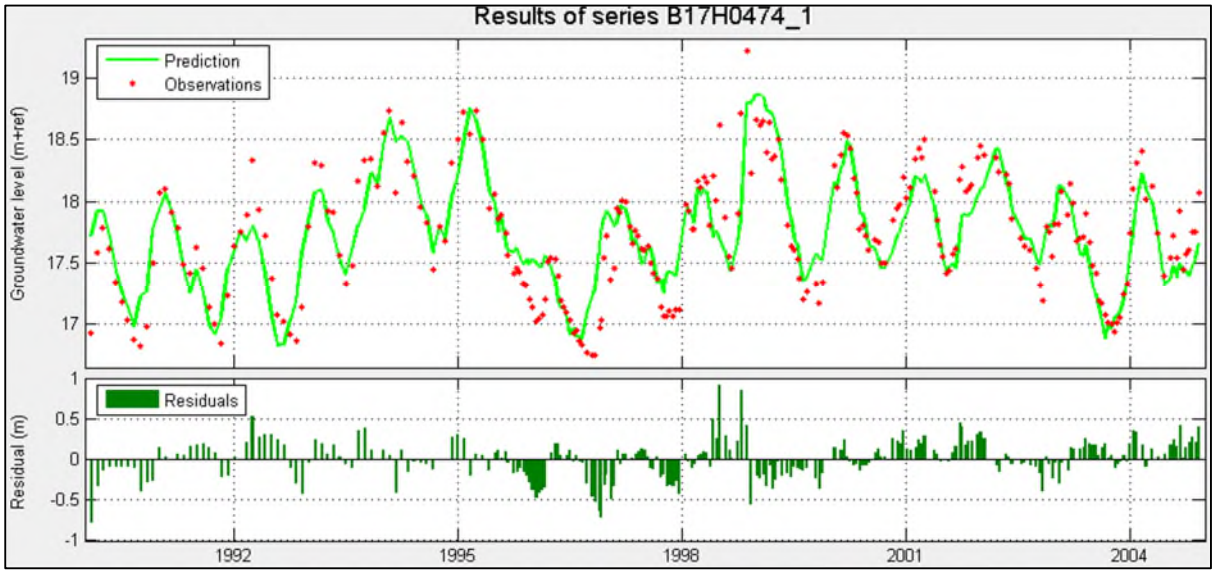
Residuen geverifieerde tijdreeksen

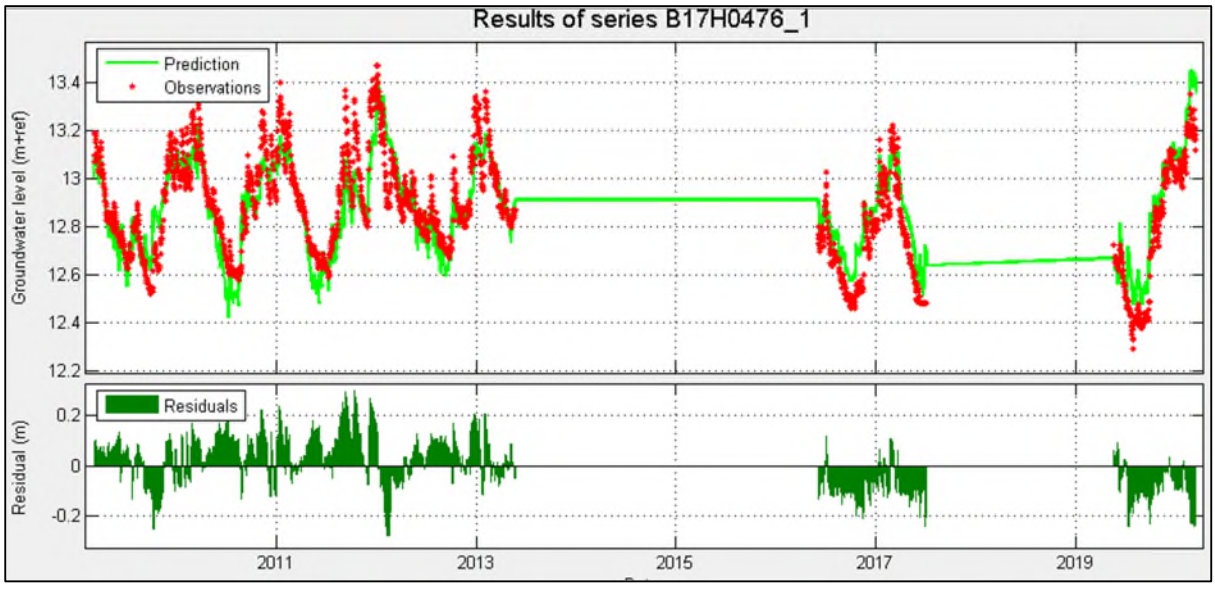
Menyanthes produceert naast de statistische modelkenmerken ook voor iedere meting de afwijking van de gemodelleerde waarde, de residuenreeks. Deze residuen mogen geen autocorrelatie meer bevatten en moeten eigenlijk witte ruis zijn, een verzamelbak van alle meetfoutjes. Meetfoutjes die systematisch van aard zijn en gecorreleerd met een van de verklarende reeksen worden in het model meegenomen. Door de residuen onder de gemodelleerde reeks te plaatsen kunnen clusters van afwijkingen goed worden herkend en toegeschreven aan bijvoorbeeld perioden waarin zich speciale omstandigheden voordeden. Als er echt een systematische factor ontbreekt in de hele verklarende reeks dan zal het model een vervorming bevatten om zo goed en zo kwaad als het kan te zorgen voor een statistisch optimale fit. De ontbrekende factor kan bijvoorbeeld een zomerse onttrekking zijn bij droog weer. Het gevolg is dat het model dan ook in de natte perioden meer afwijkingen toelaat om neutrale residuen te houden. Immers het model mag niet gemiddeld lagere of hogere grondwaterstanden simuleren dan de metingen. Hetzelfde kan gebeuren als er extra wordt beregend in de natte perioden, met als gevolg dat ook dan de laagste gesimuleerde grondwaterstanden meer residuen laten zien. In werkelijkheid is een kleine systematische afwijking mogelijk al een goede indicator voor het ontbreken van een verklarende reeks. De bestudering van de residuenreeksen is dus zeer belangrijk voor de diagnose van wat er aan de hand is met het systeem.

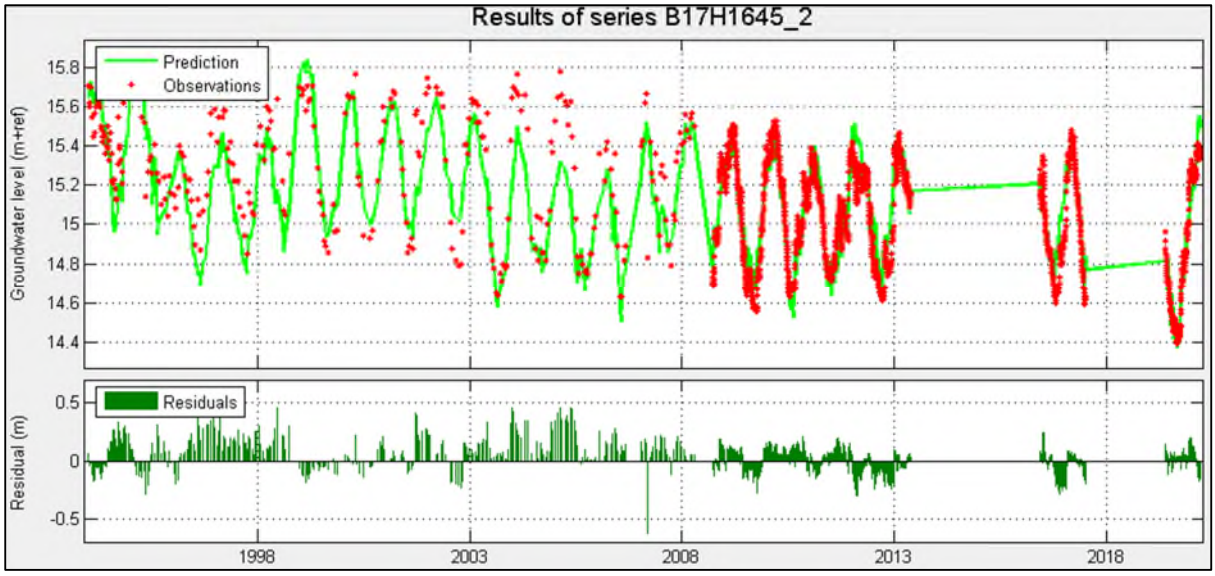
Hetzelfde kan zich voordoen als bijvoorbeeld een grondwateronttrekking iedere zomer toeneemt. Waar het model er misschien in slaagt om dan de balans tussen natte en droge perioden te behouden zal het model door de onbekende verandering in de zomerse waterbalans (ontbreken van informatie over de grondwateronttrekking) een slechtere fit gaan vertonen met de oude laagste grondwaterstanden en de meest recente. De oude worden dieper berekend door het model en de recente worden dan niet diep genoeg geschat.. Zoiets lijkt het geval te zijn in B17H0476 en B17H1705 en in mindere mate in B22F0903.

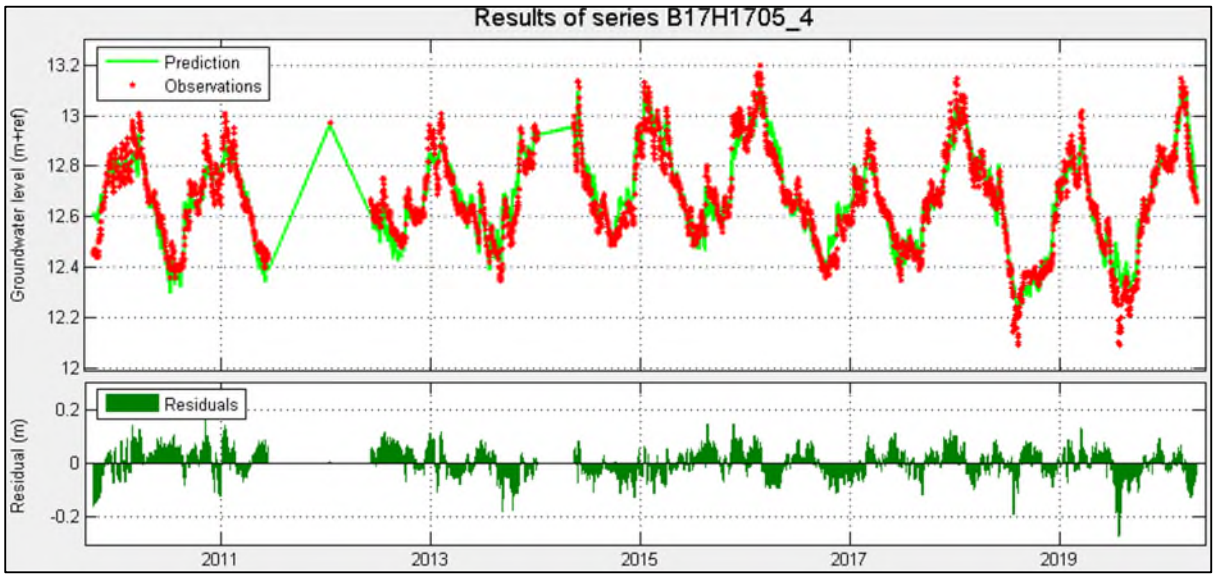
De residuen van de verschillende meetpunten zijn hieronder weergegeven.

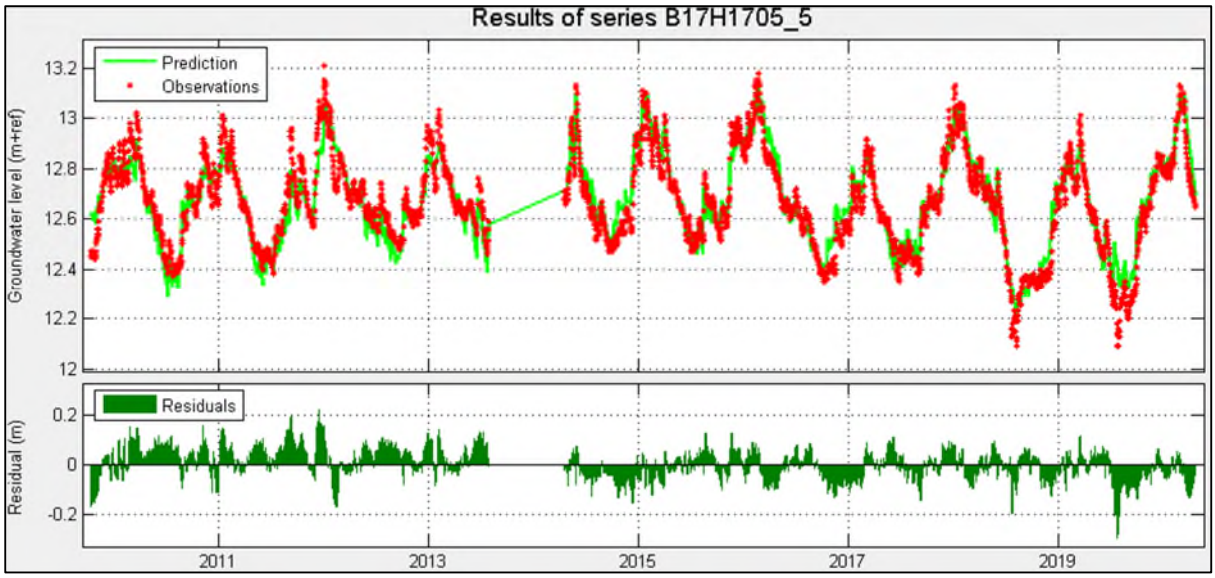


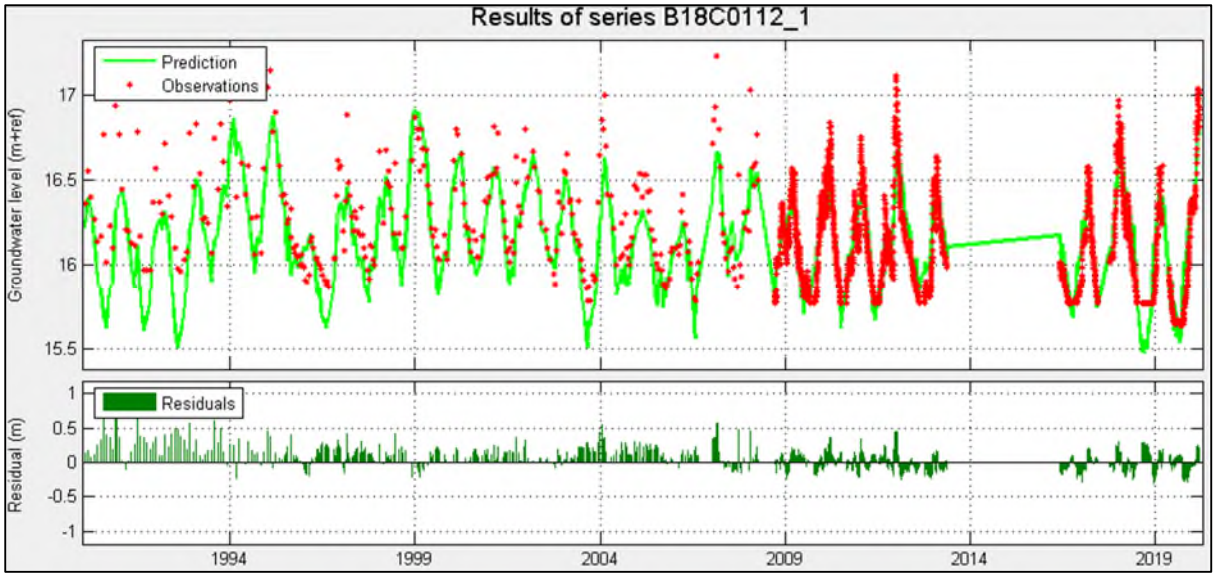


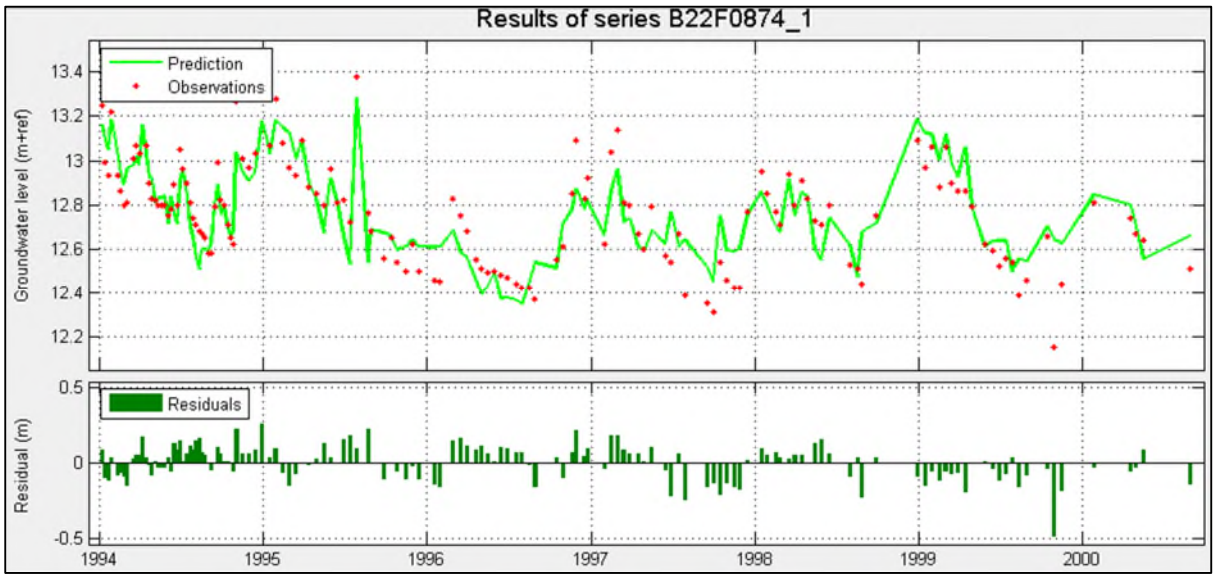



Results of series B17H1645_2
Prediction
Observations
Groundwater level (m+ref)
15.8
15.6
15.4
15.2
15
14.8
14.6
14.4
Residuals
Residual (m)
0.5
0
-0.5
1998
2003
2008
2013
2018

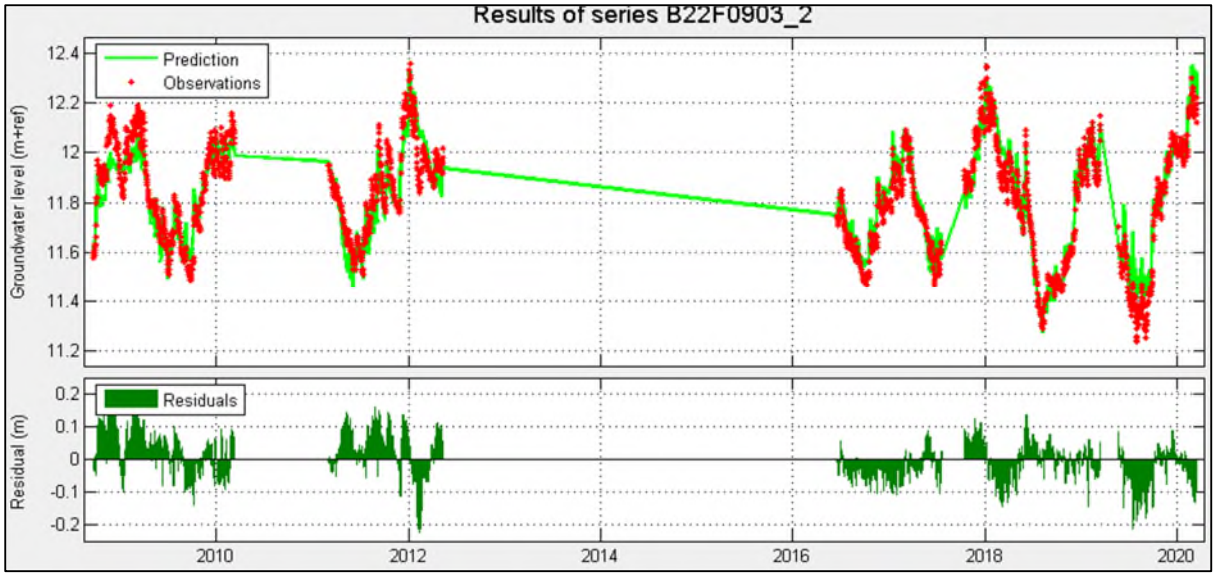

Results of series B17H1705_4
Prediction
Observations
Groundwater level (m+ref)
13.2
13
12.8
12.6
12.4
12.2
12
Residuals
Residual (m)
0.2
0
-0.2
2011
2013
2015
2017
2019


Results of series B17H1705_5
Prediction
Observations
Groundwater level (m+ref)
13.2
13
12.8
12.6
12.4
12.2
12
Residuals
Residual (m)
0.2
0
-0.2
2011
2013
2015
2017
2019


Results of series B18C0112_1
Prediction
Observations
Groundwater level (m+ref)
17
16.5
16
15.5
Residuals
Residual (m)
1
0.5
0
-0.5
-1
1994
1999
2004
2009
2014
2019

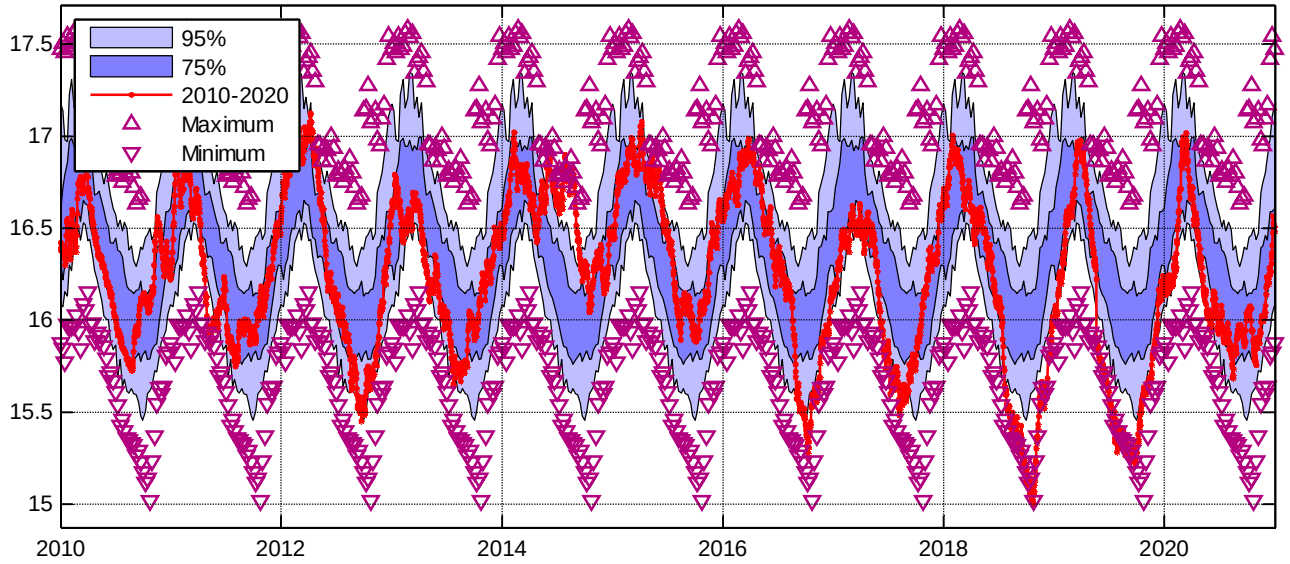

Results of series B22F0874_1
Prediction
Observations
Groundwater level (m+ref)
13.4
13.2
13
12.8
12.6
12.4
12.2
Residuals
Residual (m)
0.5
0
-0.5
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000


Results of series B22F0903_1
Prediction
Observations
Groundwater level (m+ref)
12.5
12
11.5
11
Residuals
Residual (m)
0.2
0
-0.2
2010
2012
2014
2016
2018
2020

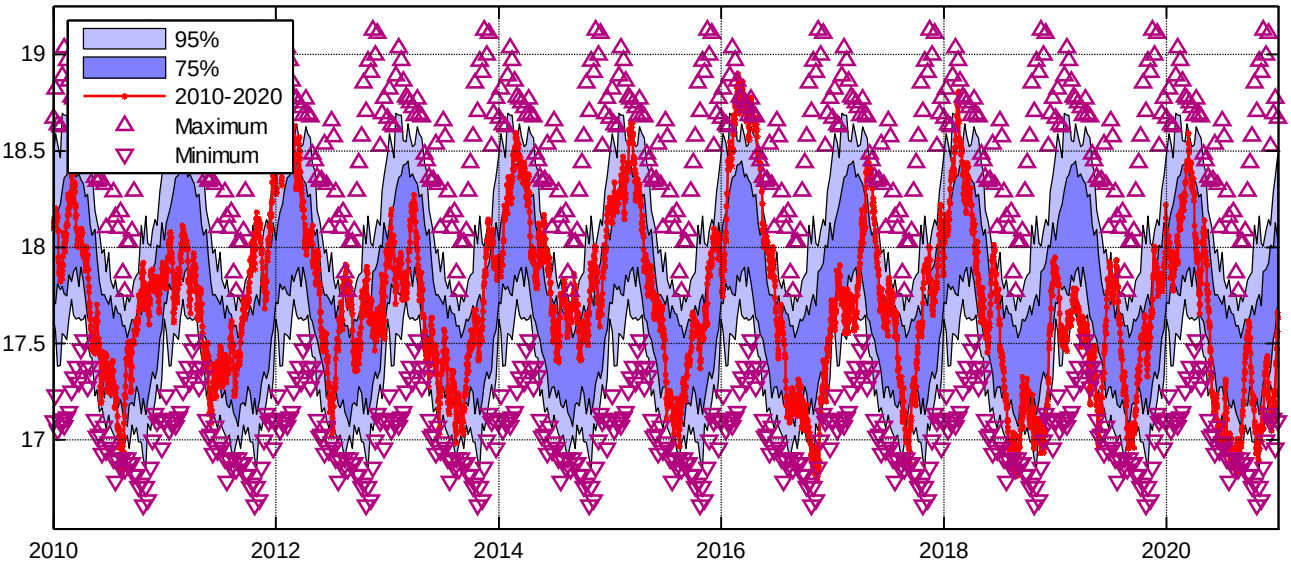

Results of series B22F0903_2
Prediction
Observations
Groundwater level (m+ref)
12.4
12.2
12
11.8
11.6
11.4
11.2
Residuals
Residual (m)
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
2010
2012
2014
2016
2018
2020

D. Bijlage Gemodelleerde Grondwaterregimes

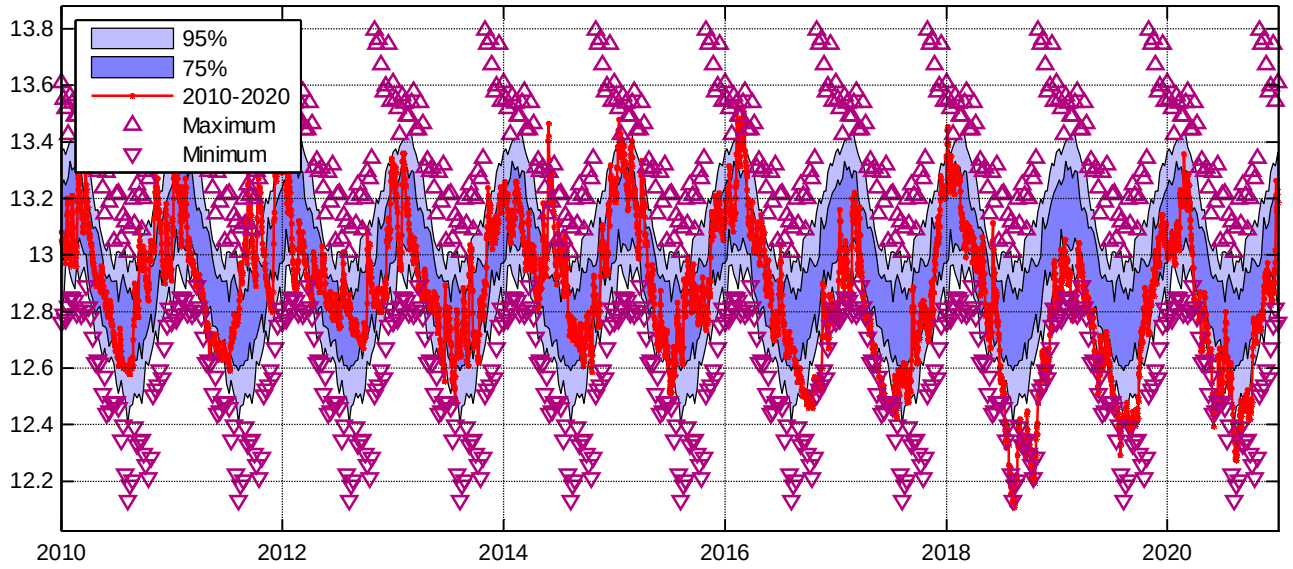
B17H0436-1:



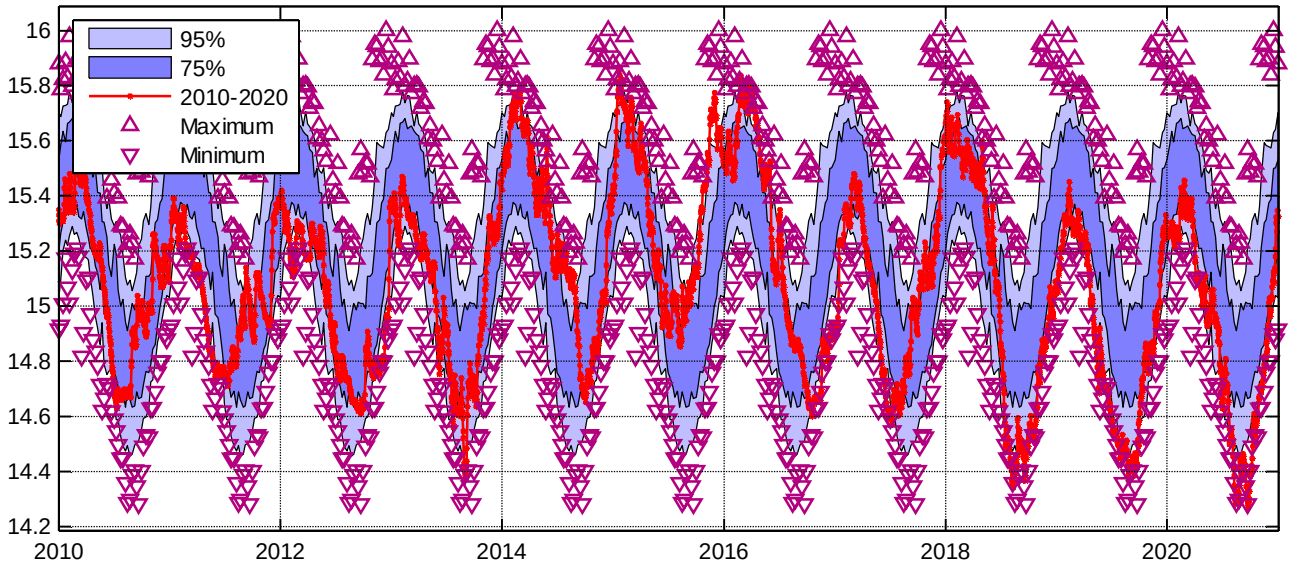
B17H0474-1:



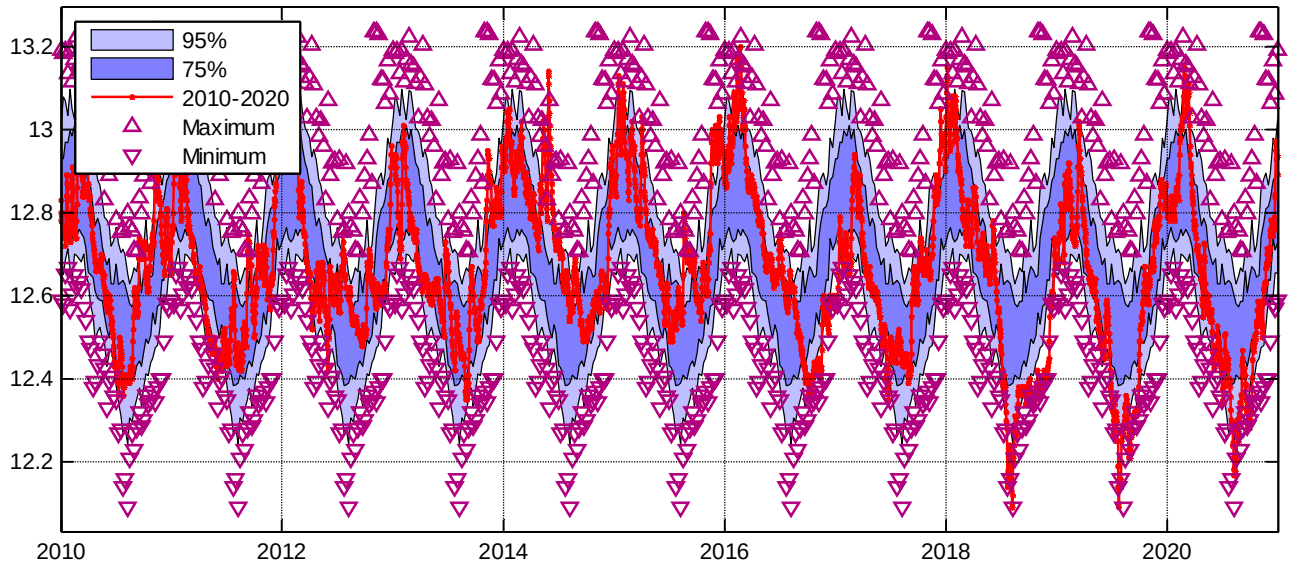
B17H0476-1



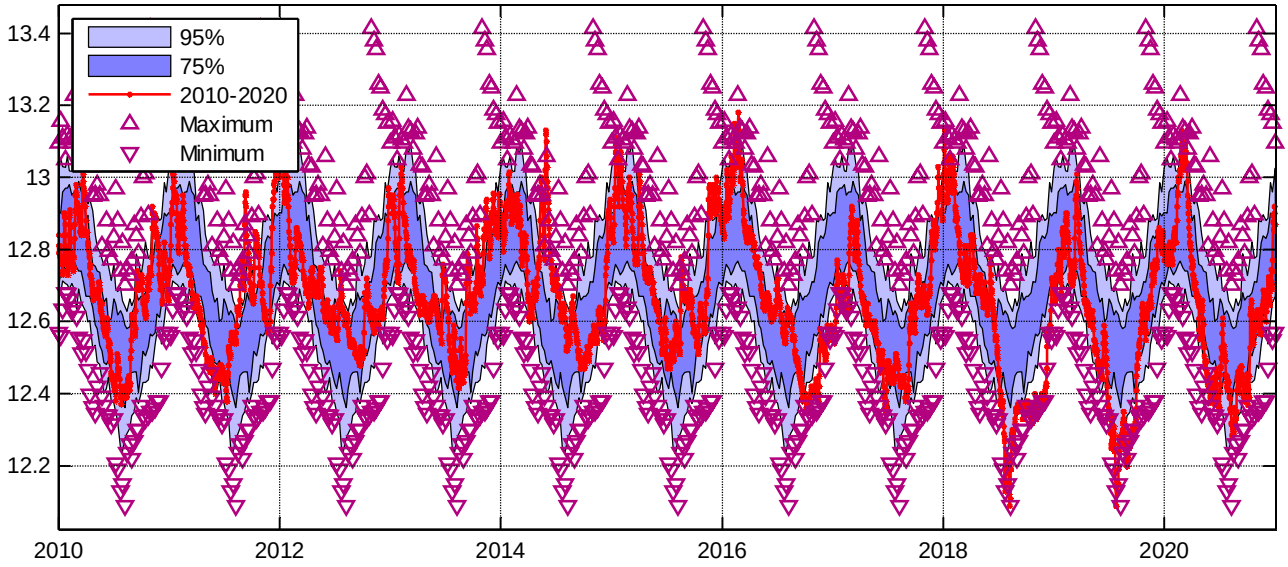
B17H1645-2:



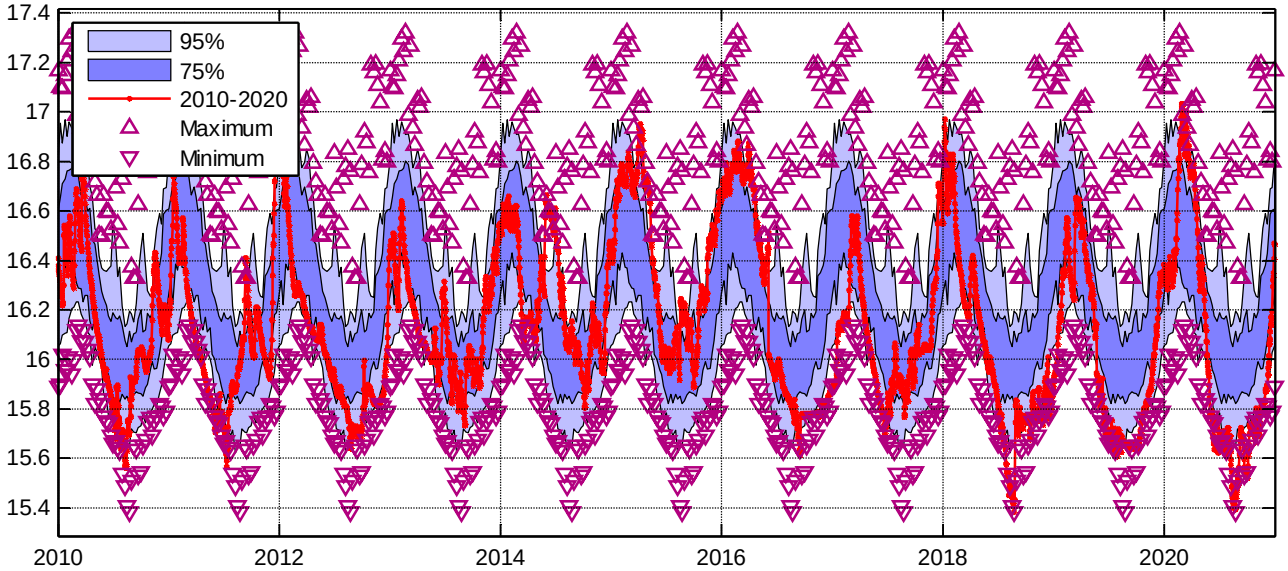
B17H1705-4:



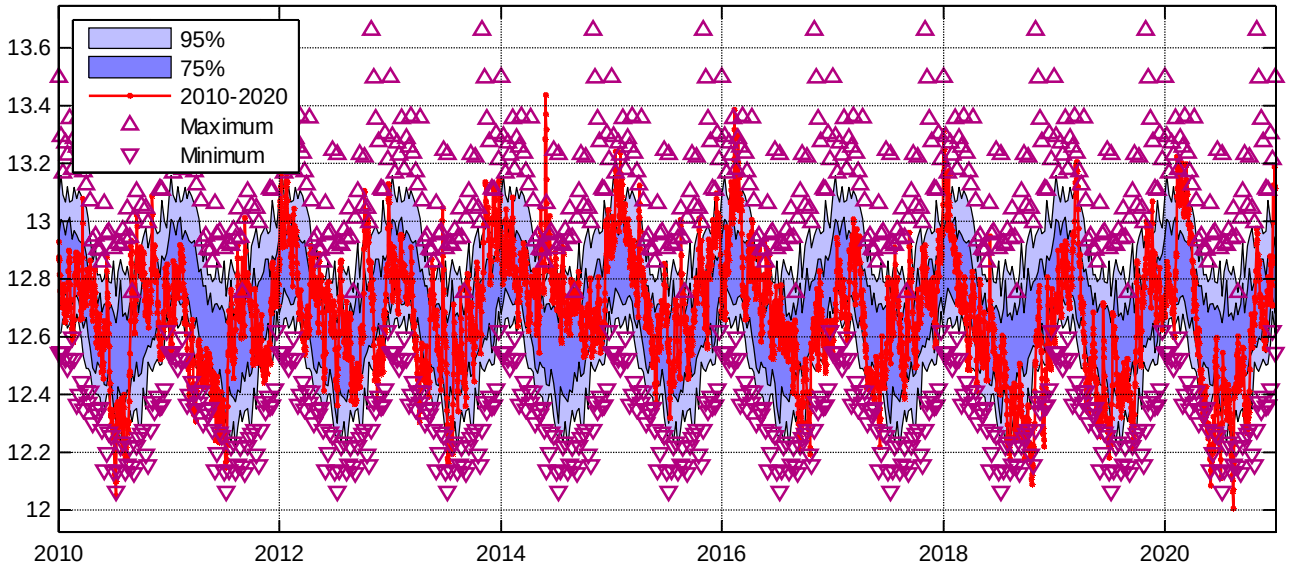
B17H1705-5:



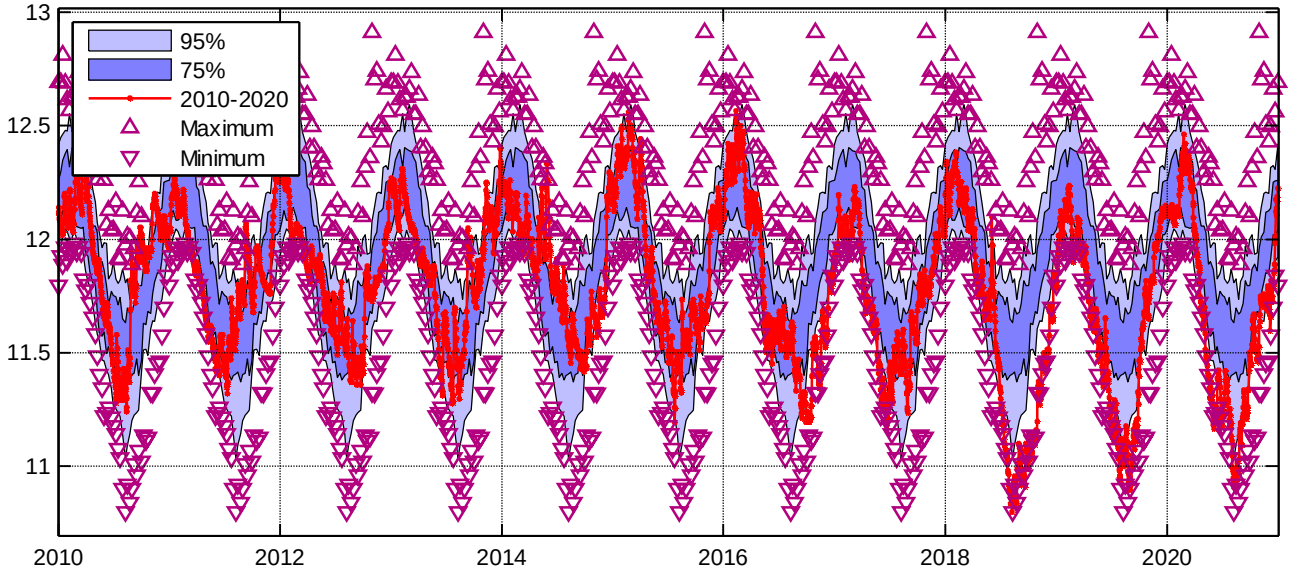
B18C0112-1:



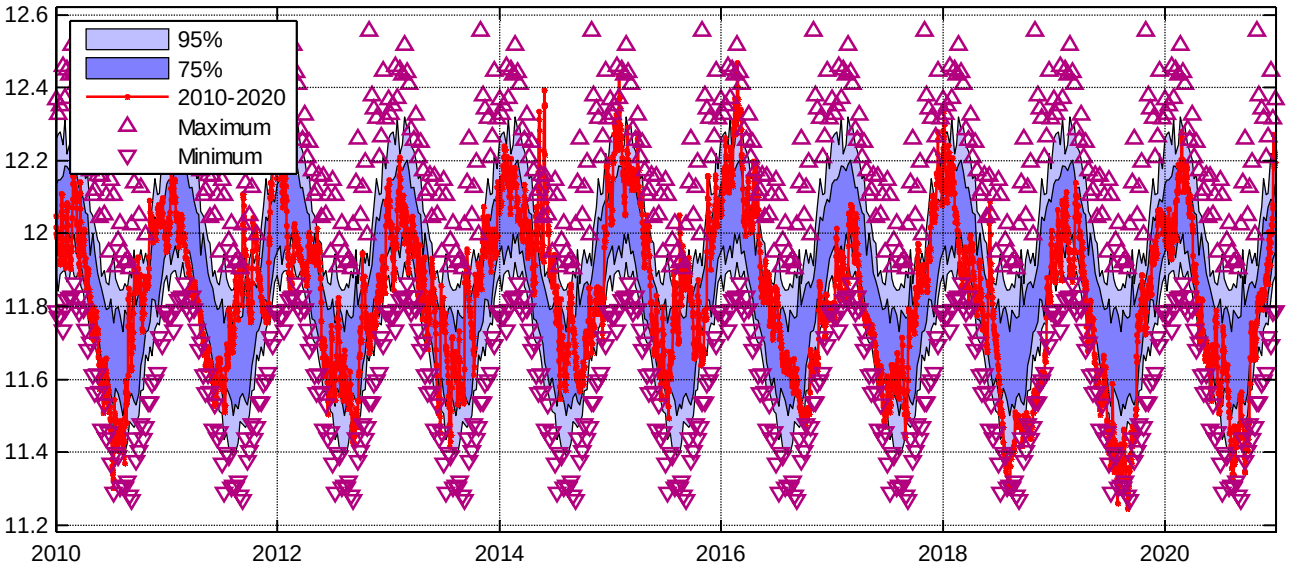
B22F0874-1:



B22F0903-1:



B22F0903-2:



E. Bijlage Grondwatermodel (MicroFEM)

Om inzicht te krijgen in de grondwaterstandsverlagingen in het projectgebied als gevolg van de grondwateronttrekkingen zijn instationaire berekeningen uitgevoerd.

Door het waterschap/provincie is toegang verleend tot het MIPWA (Methodiek Interactieve Planning Waterbeheer)-Modflow-grondwatermodel. Dat model is geschikt om de regionale effecten van ingrepen in het (grond)watersysteem te modelleren. Er is gekozen om voor de berekeningen het softwarepakket MicroFEM te gebruiken. MicroFEM wordt veelal ingezet bij bemalingsvraagstukken en is derhalve zeer geschikt voor het modelleren van grondwateronttrekkingen. Het projectgebied kan hierin eenvoudig op een hoog detailniveau worden gemodelleerd. Het MIPWA-grondwatermodel is voornamelijk gebruikt als database voor de parameterwaarden.

Er is onvoldoende grondonderzoek beschikbaar om de bodemopbouw van de toplagen (type 1, 2 of 3; zie paragraaf 3.2.3) in het gehele projectgebied in kaart te brengen. Omdat vooral de verlagingen ter plaatse van bodemtype 3 van belang zijn, is er voor gekozen om in het model uit te gaan dat het gehele onderzoeksgebied bestaat uit bodemtype 3. Bij de zettingsberekeningen worden daarna de zettingen berekend op basis van het op de locatie van de zettingsberekening uitgevoerde grondonderzoek.

In het grondwatermodel is de bodemopbouw onderverdeeld in verschillende modellagen, waaraan geohydrologische parameterwaarden zijn toegekend. Hierbij is de weerstand tegen verticale grondwaterstroming door een waterremmende laag weergegeven met een c-waarde en is het horizontaal doorlaatvermogen van een watervoerende laag weergegeven met een kD-waarde.

De parameterwaarden zijn gebaseerd op parameters uit het door het waterschap gehanteerde regionale MIPWA-grondwatermodel. Op basis van deze parameters, aangevuld met de sonderingen het uitgevoerde grondonderzoek en het Fugro-archief en openbare gegevens uit het DINO-loket (REGISIIv2.2 en diepe boringen), is de bodemopbouw in het projectgebied globaal geschematiseerd zoals is weergegeven in tabel e.1.

Tabel E.1: Bodemopbouw en geohydrologische schematisering

Laag		Diepte [ca. m NAP]	Bodembeschrijving	Typering	Parameterwaarden*c [dagen] / kD [m²/dag]	
0	a	+19 à +12	Maaiveld	Infiltratieoppervlak	c	250
1		+19 à +12 tot +18 à +4	Topzandlaag	Watervoerend	kD	1
	b		Veen	Waterremmend	c	100
			Tussenzandlaag	Watervoerend	kD	5
	c		Veen/Klei	Waterremmend	c	100
2		+18 à +4 tot ca. -70**	Zand (watervoerend pakket)***	Watervoerend	kD	150
	d			Waterremmend	c	1,3****
				Watervoerend	kD	100
	e			Waterremmend	c	0,7****
				Watervoerend	kD	200
	f			Waterremmend	c	0,4****
				Watervoerend	kD	500
	g			Waterremmend	c	0,4****
				Watervoerend	kD	200
	h			Waterremmend	c	0,6****
				Watervoerend	kD	200
	i			Waterremmend	c	0,6****
				Watervoerend	kD	200

* c-waarde = weerstand tegen verticale stroming. kD-waarde = horizontaal doorlaatvermogen

** Op basis van REGISIIv2.2/ MIPWA wordt op deze diepte een kleilaag aangetroffen.

*** Op basis van REGISIIv2.2. en MIPWA verdeeld in lagen met verschillende doorlatendheden.

**** Fictieve weerstand gebaseerd op doorlatendheid boven- en onderliggende zandlagen en anisotropie-factor.

F. Scenario's Onttrekkingen Land- en Glastuinbouw

Scenario 1: Best-case scenario: enkel de vergunde onttrekkingen zijn actief

De kenmerken van de 2 vergunningen voor permanente grondwateronttrekkingen t.b.v. gietwater voor de glastuinbouw zijn weergegeven in tabel f.1.

Tabel F.1: Vergunde grondwateronttrekkingen t.b.v. gietwater in projectgebied

	Diepte onttrekking [m-mv]	Vergunde hoeveelheid [m^3/jaar]	Vergunde maximale debiet [m/u^3]	Gemiddeld per uuronttrekking [m/u^3]	Onttrekking jaardebiet in 2 zomermaanden [m/u^3]
Vergunning 1	53	120.000	28	14	83
Vergunning 2	64	110.000	25	13	76

In het MicroFEM-grondwatermodel zijn de effecten van de vergunde grondwateronttrekkingen doorgerekend. Hierbij zijn 3 varianten doorgerekend.

1. Gemiddeld debiet bij een continue onttrekking over het jaar (figuur f.1);
   Bij deze variant is de vergunde hoeveelheid verspreid over het gehele jaar. Dit levert een gemiddelde onttrekking van 14 m^3/u voor vergunning 1 en 13 m^3/u voor vergunning 2.

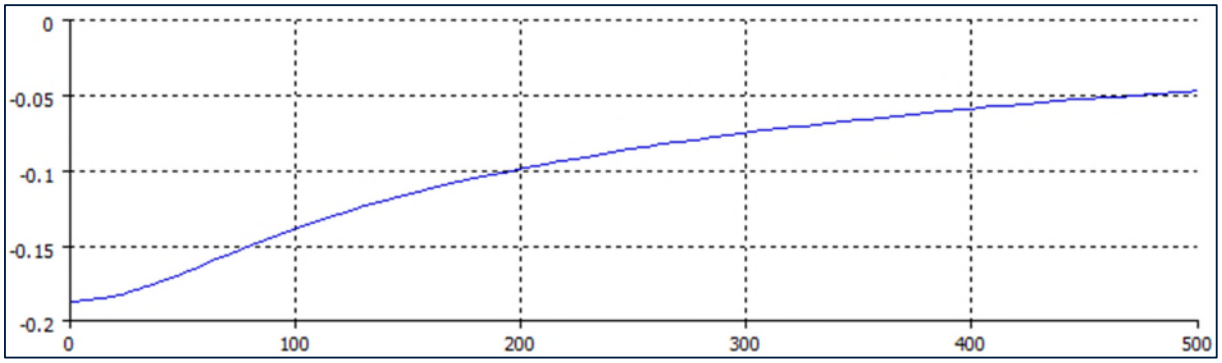
2. Vergund maximaal uurdebiet (figuur f.2);
   In deze variant is uitgegaan van het vergunde maximale uurdebiet van 28 m^3/u voor vergunning 1 en 25 m^3/u voor vergunning 2.

3. Onttrekking van het volledige jaardebiet in 2 maanden (figuur f.3).
   Bij deze variant is aangenomen dat in het grootste gedeelte van het jaar neerslag kan worden gebruikt als gietwater en dat het vergunde volume volledig in de zomer wordt onttrokken, wanneer het watertekort het grootst is. Dit betekent een onttrekking van 83 m^3/u voor vergunning 1 en 76 m^3/u voor vergunning 2 gedurende ca. 2 maanden.

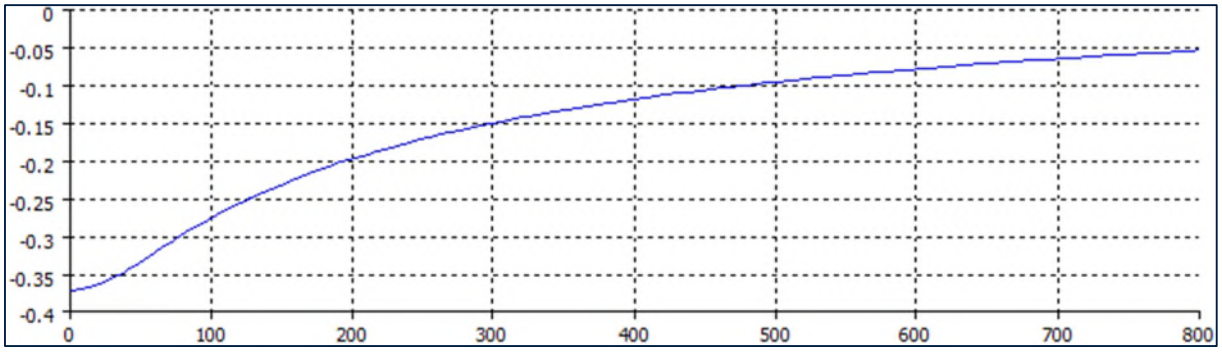
Door opdrachtgever is aangegeven dat bij 1 van de vergunningen in 2018 en 2019 het werkelijk onttrokken debiet 200.000 m^3/jaar bedroeg. Dit komt bij een continue onttrekking over het hele jaar overeen met een debiet van 23 m^3/u. Dit komt overeen met de situatie in rekenvariant 2.

Opgemerkt wordt dat in de effectenstudie voor 1 van de vergunningen op een diepte van ca. 30 m-mv (ca. NAP -18 m) een kleilaag met een weerstand van 400 dagen is aangenomen. Deze is niet op alle boringen in de omgeving aangetroffen en is in het ondergrondmodel REGISIIv.2.2 en het MIPWA-grondwatermodel niet aanwezig. In het MicroFEM model is deze kleilaag daarom niet meegenomen. Indien deze kleilaag wel in het gehele gebied aanwezig zou zijn, dan zou het effect van diepe onttrekkingen op de stijghoogte onder de veenlagen nihil zijn.

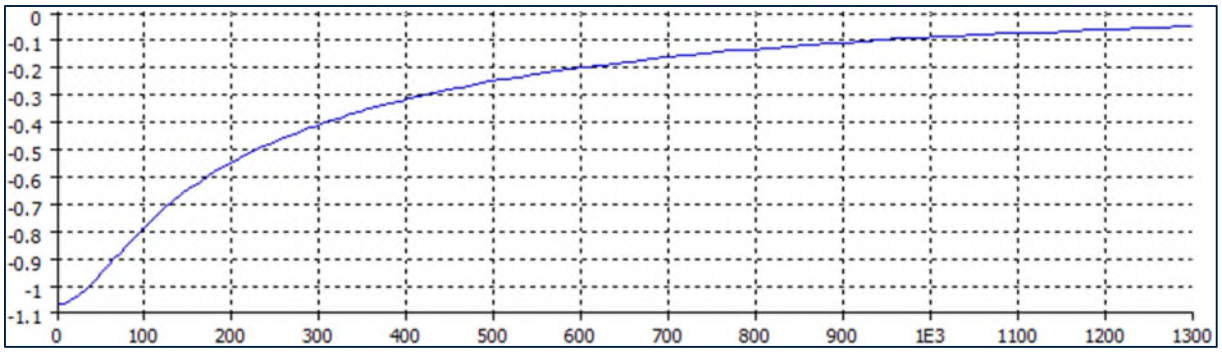
De berekende verlagingen bij van de 3 varianten zijn weergegeven in figuur f.1, figuur f.2 en figuur f.3.



Figuur F.1: Berekende verlaging van de stijghoogte onder de veenlagen (y-as) bij continue onttrekking verspreid over het jaar (13-14 m^3/u). Het invloedsgebied (x-as) bedraagt ca. 500 m.



Figuur F.2: Berekende verlaging van de stijghoogte onder de veenlagen (y-as) bij de vergunde maximale debieten (25-28 m^3/u). Het invloedsgebied (x-as) bedraagt ca. 800 m.



Figuur F.3: Berekende verlaging van de stijghoogte onder de veenlagen (y-as) bij onttrekking volledige vergunde debiet in 2 maanden (76-83 m^3/u) . Het invloedsgebied (x-as) bedraagt ca. 1.300 m.

1.1.1.1 Scenario 2: Reëel scenario: verwacht watergebruik

<u>Verwachtte onttrekking t.b.v. landbouw</u>

Door het waterschap is aangegeven dat in de omgeving van het projectgebied 14 beregeningsbronnen voor de landbouw bekend zijn. De onttrekkingsdebieten van deze bronnen zijn bij het waterschap niet bekend. Zonder vergunning mag de pompcapaciteit maximaal 60 m^3/u bedragen, niet langer dan 3 maanden aaneengesloten worden onttrokken en binnen deze periode niet meer dan 25.000 m^3 worden onttrokken. De onttrokken debieten van de onttrekkingen zijn niet geregistreerd. In het verwachtingsscenario wordt

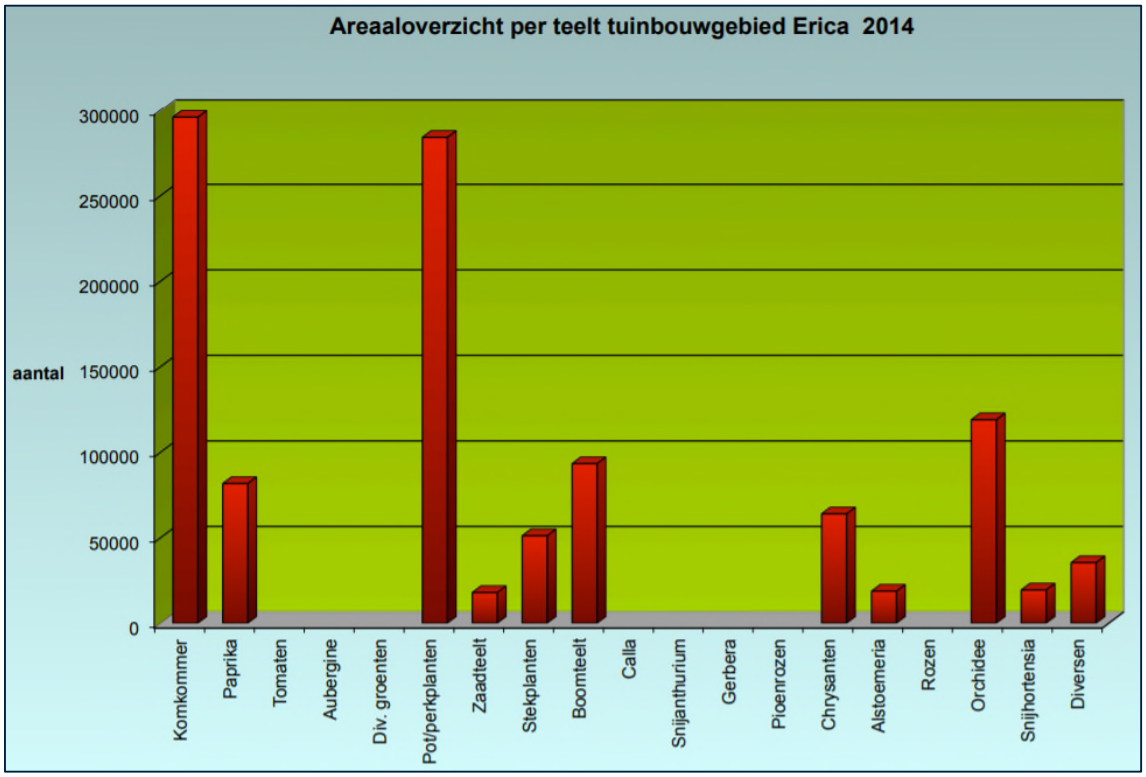
daarom bij gebrek aan verdere informatie voor de beregeningsbronnen uitgegaan van een onttrekking van 25.000 m^3 in 3 maanden, wat overeenkomt met een gemiddeld debiet van ca. 12 m^3/u. Aangenomen is dat de zowel de bronnen voor landbouw als voor glastuinbouw tegelijkertijd in bedrijf zijn.

Verwachtte onttrekking t.b.v. glastuinbouw

In het glastuinbouwgebied zijn ca. 60 kassen aanwezig die water nodig hebben. Het is waarschijnlijk dat er uit meer bronnen wordt onttrokken dan alleen uit de 2 vergunde bronnen.

Aangezien bij Fugro geen informatie over het waterverbruik van de glastuinbouw in het gebied bekend is, is getracht het waterverbruik te bepalen op basis van openbaar beschikbare gegevens.

Het waterverbruik is sterk afhankelijk van het soort gewas dat wordt verbouwd. Op de website van de 'Promotie Groep Tuinbouw Emmen' (www.tuinbouwemmen.nl) is het areaaloverzicht per teelt in het tuinbouwgebied in 2014 gegeven (figuur f.4).



Figuur F.4: Areaaloverzicht per teelt tuinbouwgebied Erica 2014 (bron: Promotie Groep Tuinbouw Emmen (www.tuinbouwemmen.nl))

Uit de grafiek in figuur f.4 blijkt dat in het projectgebied in 2014 vooral komkommers en pot/perkplanten worden geteeld.

In het rapport 'Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw 2019' van de universiteit Wageningen worden voor verschillende gewassen verbruiksklassen voor watergebruik gegeven (tabel f.2).

Tabel F.2: Vier verbruiksklassen voor waterverbruik en bijbehorende gewassen (bron: *Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw 2019,* Universiteit Wageningen).

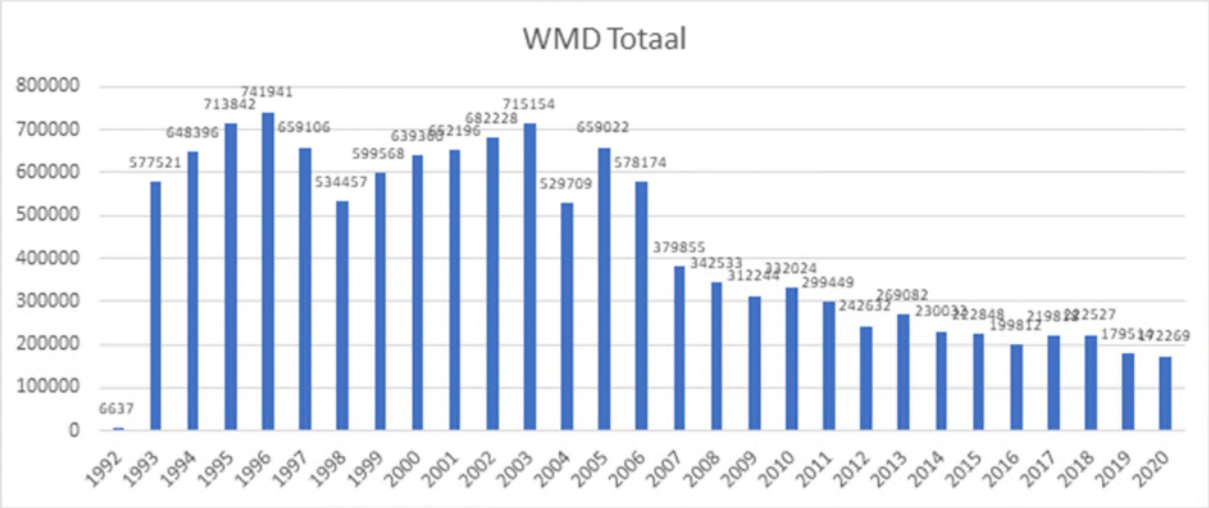
Laag <550 l/m²/jaar	Normaal 550 -750 l/m²/jaar		Hoog 750-950 l/m²/jaar	Zeer hoog 950-1.100 l/m²/jaar
IJspegels	Amsoi	Radijs	Aubergine	Amaryllis
Knolvenkel	Andijvie	Sla	Augurk	Roos
Koolrabi	Asperges	Spinazie	Komkommer	
Kroten	Bleekselderij	Spitskool	Meloen	
Kruiden	Bloemkool	Veldsla	Paprika	
Peen	Bosui		Snijboon	
Peterselie	Broccolli	Anjer	Sperzieboon	
Rabarber	Chinese kool	Bouvardia	Tomaat	
Rettich	Courgette	Decoratiegroen		
	Groenten overig	Gerbera	Aster	
Anemoon	Houtig klein fruit	Gladiool	Chrysant	
Euphorbia	Knolselderij	Gypsofphila	Iris vollegrond	
Eustoma	Kouseband	Lelie vollegrond	Matricaria	
Nerine	Paksoi	Sierteelt overig		
Snijgroen	Peulen	Tulp broei vollegrond		
Alstroemeria	Postelein	Zomerbloemen		
Freesia	Prei			
Limonium	Raapstelen			

Uit deze tabel blijkt dat komkommers een 'hoog' waterverbruik van 750-950 l/m²/jaar hebben. Van pot/perkplanten wordt aangenomen dat deze onder 'sierteelt overig' vallen en een 'normaal' waterverbruik van 550-750 l/m²/jaar hebben. Op basis van deze gegevens wordt aangenomen dat het gemiddelde waterverbruik van alle kassen ca. 750 l/m²/jaar bedraagt.

De totale oppervlakte van de kassen in het projectgebied bedraagt in totaal ca. 117 ha / 1.170.000 m² (Kadaster Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG)). Bij een waterverbruik van 750 l/m²/jaar geeft dit een totaal benodigd watervolume van ca. 877.500 m³/jaar.

In het verleden werden de kassen voornamelijk van water voorzien door een gietwaterplas. Deze pas is enkele kilometers ten oosten van het kassengebied gelegen en in beheer van het Drentse waterbedrijf WMD. In de loop der jaren is de vraag naar water uit deze plas afgenomen omdat het water van onvoldoende kwaliteit is om in de kassen te gebruiken. In 2009 is de levering vanuit de gietwaterplas volledig gestopt. WMD levert nu enkel nog leidingwater aan de kassen.

Door de WMD zijn de in totaal geleverde hoeveelheden water (gietwaterplas en leidingwater) aangeleverd (figuur f.5).



Figuur F.5: Door WMD aan het kassengebied geleverd water (gietwaterplas + leidingwater)

In de periode dat de gietwaterplas nog volledig in gebruik was (1993-2006) bedroeg de levering gemiddeld ca. 640.000 m^3/jaar. In de periode hierna nam de vraag naar water uit de gietwaterplas af, tot in 2009 de levering vanuit de gietwaterplas volledig is stopgezet. De levering uit leidingwater (2010-2020) bedraagt gemiddeld 235.000 m^3/jaar.

Dit betekent dat de levering vanuit WMD met ca. 400.000 m^3/jaar is afgenomen. Dit verschil moet (bij ongewijzigd gebruik van de kassen) uit andere bronnen zoals neerslag, grondwater en oppervlaktewater worden gehaald. Mogelijk is ook de efficiëntie van het hergebruik van water toegenomen. Aangezien het water een zeer hoge kwaliteit dient te hebben wordt het aandeel oppervlaktewater klein geacht.

Uit de KNMI-metingen t.p.v. neerslagstation Schoonebeek volgt dat de gemiddelde jaarneerslag in de periode 2010-2020 ca. 828 mm/jaar bedroeg. Dit betekent dat gemiddeld ca. 970.000 m^3/jaar aan neerslag op de kassen valt. In een uitzonderlijk droog jaar als 2018 bedroeg de neerslag 665 mm/jaar. Dit komt overeen met 780.000 m^3/jaar.

Om de gevallen neerslag volledig te kunnen benutten dient deze neerslag te worden opgevangen en opgeslagen in een bassin of tank. Uit een inventarisatie van luchtfoto's blijkt dat voor de ca. 60 kassen maar 11 bassins aanwezig zijn. De reden hiervoor is hoogstwaarschijnlijk dat ten tijde van de bouw van de kassen de gietwaterplas nog in gebruik was, waardoor het opvangen van al het regenwater niet nodig was.

Door de Universiteit Wageningen (*Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw 2019*) is een inschatting gemaakt van het percentage water dat door regenwater ingevuld kan worden bij verschillende bassin groottes (tabel f.3).

Tabel F.3: Inschatting van het percentage water dat door regenwater ingevuld kan worden bij verschillende bassingroottes en verschillende waterbehoefte. Neerslag op basis gemiddelde neerslag KNMI meteopunt Rotterdam (2002-2011)

Waterverbruik gewas [l/m²/jaar]	Percentage regenwater bij bassin-inhoud X [m³/ha]					
	X=500	X=1.000	X=1.500	X=2.000	X=2.500	X=3.000
750	70%	80%	85%	90%	95%	95%
800	70%	75%	80%	85%	90%	90%
850	65%	75%	80%	85%	85%	85%
900	65%	70%	75%	80%	80%	80%
950	60%	65%	70%	75%	75%	75%

Uit bovenstaande tabel volgt dat, wanneer er voldoende bassins zijn, ca. 70-95% van het waterverbruik van de kassen met regenwater kan worden ingevuld. Op basis van luchtfoto's blijkt echter dat voor de ca. 60 kassen maar 11 bassins aanwezig zijn. Bovendien is in de effectenstudie van 1 van de vergunde onttrekkingen aangegeven dat weliswaar een waterbassin van 3.600 m³/ha aanwezig is, maar dat dit bassin niet wordt gebruikt als gietwaterbassin, omdat de waterkwaliteit dermate laag is dat de gewasontwikkeling wordt benadeeld. Op basis van bovenstaande informatie wordt aangenomen dat in het projectgebied slechts ca. 35% van het waterverbruik door regenwater wordt ingevuld.

Uit bovengenoemde aannames wordt het totale benodigde grondwater als volgt berekend:

Gemiddeld waterverbruik:	750	l/m²/j
Totale waterverbruik:	880.000	m³/jaar
Water uit neerslag (gemiddeld):	305.000	m³/jaar (35% van totale waterverbruik)
Geleverd door WMD:	235.000	m³/jaar (gemiddelde 2010-2020)
Water uit grondwater (gemiddeld):	335.000	m³/jaar

Om gietwater van voldoende kwaliteit te krijgen wordt omgekeerde osmose toegepast. Dit is een veelgebruikte filtertechniek in de tuinbouw voor het verwijderen van zouten, mineralen, meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen. Bij dit proces moet ca. 2 keer zoveel grondwater worden onttrokken als dat er gietwater nodig is. Aangenomen wordt dat het totaal te onttrekken grondwatervolume 670.000 m³ per jaar bedraagt. Rekening houdend dat bij het omgekeerde osmose proces 2 keer zoveel grondwater benodigd is, komt de geraamde hoeveelheid van 670.000 m³/jaar overeen met de leveringsafname van 400.000 m³/jaar vanuit de WMD.

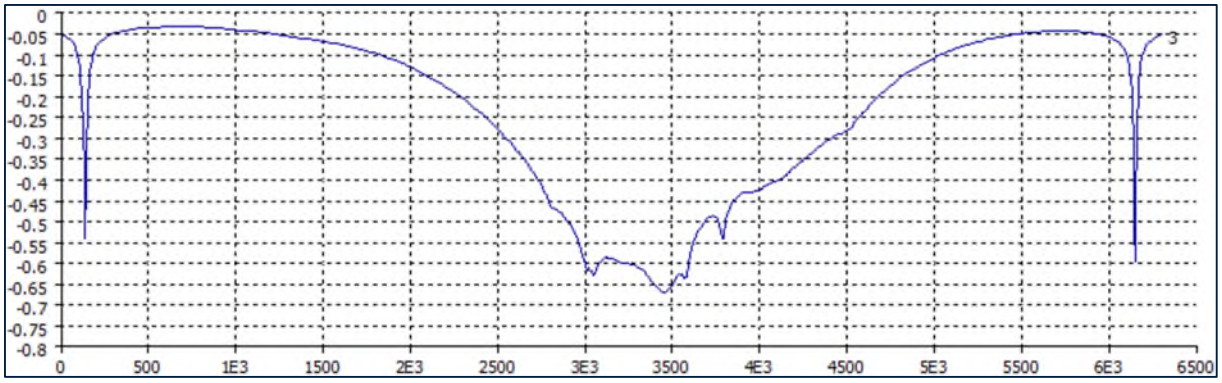
Naar verwachting is vooral in het droge zomerseizoen onvoldoende water uit neerslag en leidingwater beschikbaar. Het tekort zal dan in de zomermaanden uit het grondwater moeten worden onttrokken. Uitgaande van ca. 60 kassen en een totale watervraag van 670.000 m³ in 2 maanden bedraagt het gemiddelde debiet per kas in dit scenario ca. 8 m³/u.

<u>Berekende debieten reëel scenario: verwacht watergebruik</u>

- Landbouw beregeningsbronnen: 11 m³/u uit ondiepe bronnen (ca. 10 m-mv)
- Glastuinbouw vergunde onttrekkingen: 25 & 28 m³/u uit diepe bronnen (50 à 60 m-mv)
- Glastuinbouw overige onttrekkingen: 8 m³/u uit ondiepe bronnen (ca. 10 m-mv)

Resultaten

In figuur f.6 zijn de berekende verlagingen van de stijghoogte direct onder de veenlagen weergegeven.



Figuur F.6: Doorsnede van berekende verlagingen onder de veenlagen bij verwachte debieten (25 – 28 m^3/u per vergunde onttrekking glastuinbouw, 8 m^3/u per melding glastuinbouw, 12 m^3/u per beregeningsbron landbouw). In het midden van de doorsnede zijn de berekende verlagingen als gevolg van de onttrekkingen t.b.v. de glastuinbouw te zien. Aan het begin en het eind van de doorsnede zijn de verlagingen als gevolg van onttrekkingen t.b.v. de landbouw te zien.

Direct buiten het kassengebied wordt een verlaging van de stijghoogte van ca. 0,2 à 0,5 m berekend. Ook direct naast onttrekkingen t.b.v. de landbouw worden verlagingen van ca. 0,5 m berekend. Opgemerkt wordt dat in de modelberekeningen geen rekening is gehouden met oppervlaktewater. Op locaties waar waterlopen insnijden in de zandlaag zullen de verlagingen in werkgelijkheid lager zijn.

G. Bijlage Zettingsberekening

Zettingen worden veroorzaakt door verhogingen van de korrelspanningen. Deze korrelspanningen worden beïnvloed door het aanbrengen of weghalen van ophogingen en veranderingen in de grondwaterstanden. De zettingen treden tijdsafhankelijk op. Enerzijds is sprake van het uitdrijven van water (consolidatie gedurende de hydrodynamische periode), anderzijds treedt kruip op (ook secundaire zakking genoemd).

Tijd-zettingsverloop

Het optreden van de zettingen is een tijdsafhankelijk proces. In eerste instantie zal een toename van de belasting een wateroverspanning veroorzaken in de samendrukbare lagen. Het hierdoor ontstane potentiaalverschil geeft een grondwaterstroming, waardoor de wateroverspanning geleidelijk afneemt en de korrelspanning toeneemt, hetgeen zetting veroorzaakt. De tijdsduur van dit proces wordt de hydrodynamische periode genoemd. De lengte van deze periode (t_e) is afhankelijk van de laagdikte, de doorlatendheid van de samendrukbare lagen en de afstromingsmogelijkheden van het uit te persen water. De hydrodynamische periode is met de volgende formule berekend:

$$t_e = \frac{T \cdot (a \cdot h)^2}{c_v} \qquad \text{vgl. G-1}$$

waarin: t_e = hydrodynamische periode in seconden

h = laagdikte samendrukbaar pakket in m

c_v = consolidatiecoëfficiënt in m^2/s

T = tijdfactor; praktisch einde van de consolidatie bij T=2

a = constante; bij tweezijdige afstroming a=0,5; bij eenzijdige afstroming a=1

Het verband tussen de consolidatiegraad U en de tijdfactor T is benaderd volgens:

$$U_v(\Delta t) = \left(\frac{T^3}{0{,}5 + T^3}\right)^{1/6} \qquad \text{vgl. G-2}$$

waarin: $U_v(\Delta t)$ = consolidatiegraad na tijdsduur Δt bij alleen verticale afstroming (-)

De zetting die in de hydrodynamische periode optreedt, bestaat deels uit primaire en deels uit secundaire zetting. Na het verstrijken van de hydrodynamische periode treden alleen nog secundaire zettingen op. In geval van een dik pakket slappe lagen bepaalt de duur van de hydrodynamische periode in belangrijke mate de grootte van de restzettingen na ingebruikname.

Methode Zettingsberekening met Koppejan (Terzaghi-Keverling Buisman)

Voor de berekening van zettingen wordt in Nederland vaak de methode Koppejan (C_p/C_s) gebruikt.

In het logaritmische tijd-zettingen diagram wordt na de consolidatieperiode een min of meer rechtlijnig kruipverband gevonden. Keverling Buisman stelde derhalve de onderstaande relatie op:

$$\varepsilon_v = \frac{-\Delta H}{H} = \left(\alpha_p + \alpha_s \cdot \log \frac{t}{t_d} \right) \cdot \Delta \sigma_v^{'}$$

Waarin

ε_v lineaire rek (Cauchy rek) = zetting / initiële laagdikte [-]

ΔH totale samendrukking van de grondlaag [m]

H initiële dikte van de grondlaag [m]

α_p primaire samendrukkingsconstante van Keverling Buisman [-]

α_s secundaire samendrukkingsconstante van Keverling Buisman [-]

t tijdsduur na aanvang van de belastingverhoging [dag]

t_d referentietijdsduur van één dag [= 1 dag]

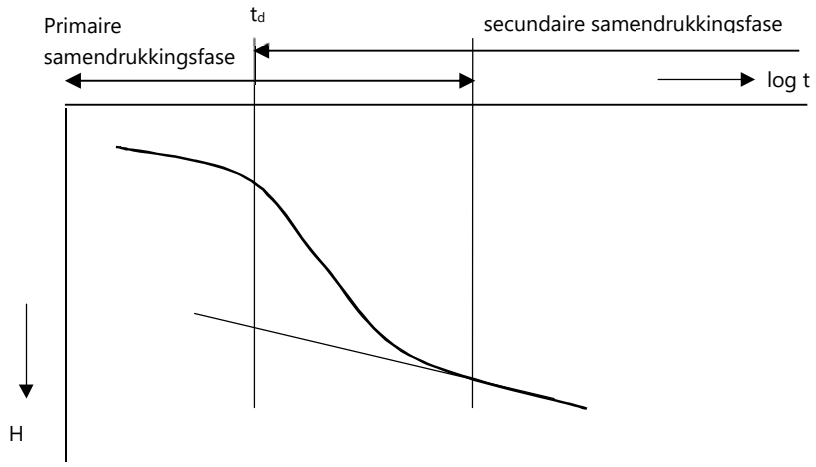
$\Delta\sigma'_v$ toename van de korrelspanning na consolidatie [kPa]

Koppejan heeft de formule van Keverling Buisman gecombineerd met de logaritmische samendrukking van Terzaghi en komt voor het samendrukkingsdeel boven de grensspanning tot de volgende formule:

$$\varepsilon_v = \frac{-\Delta H}{H} = \left(\frac{1}{C_p^{'}} + \frac{1}{C_s^{'}} \cdot \log \frac{t}{t_d} \right) \cdot \ln \left(\frac{\sigma_v^{'} + \Delta \sigma_v^{'}}{\sigma_v^{'}} \right)$$

Onderscheid wordt gemaakt tussen korrelspanningen onder en boven de grensspanning. Boven de grensspanning gelden lagere samendrukkingscoëfficiënten en dus een slapper grondgedrag. De primaire en secundaire samendrukkingscoëfficiënt onder de grensspanning worden aangeduid met C_p en C_s .

De zettingsformule van Koppejan geeft de som van de primaire samendrukking na volledige consolidatie en de secundaire samendrukking bij een belastingsduur t. De primaire samendrukking treedt op in de fase waarin het overspannen poriënwater wordt uitgedreven (consolidatie) en de belasting wordt overgedragen op het korrelskelet. De secundaire zetting betreft de bijdrage van de kruip. Het secundaire samendrukkingsproces wordt doorgaans ook het seculair effect genoemd. De seculaire zettingen worden geacht te starten vanaf de oorsprong van de referentietijd: 1 dag (figuur g.1).



Figuur G.1 Voorbeeldverloop samendrukking (éénmalige belasting) met daarin schematisch weergegeven de primaire- en secundaire samendrukkingsfasen volgens de formule Koppejan.

De primaire zetting kan worden uitgedrukt als een functie van de voortgang van het verloop van het consolidatieproces met behulp van de consolidatiegraad U.

Volgens CUR rapport 162 [1] wordt de consolidatiegraad U gedefinieerd als de verhouding tussen de primaire samendrukking na een belastingsduur t en de primaire samendrukking na volledige consolidatie. De primaire samendrukking op tijdstip t kan eenvoudig worden bepaald door de totale primaire samendrukking te vermenigvuldigen met de consolidatiegraad U die behoort bij de tijdsduur t. Door in de formule van Koppejan de consolidatiegraad te betrekken wordt behalve met tijdsafhankelijke zetting ten gevolge van het secundair effect tevens rekening gehouden met tijdsafhankelijke zetting ten gevolge van consolidatie.

Dit geeft dan als aanvulling op de formule van Koppejan de onderstaande formule:

$$\varepsilon_v = \frac{-\Delta H_t}{H} = \left(\frac{1}{C_p^{'}} \cdot U(t) + \frac{1}{C_s^{'}} \cdot \log \frac{t}{t_d} \right) \cdot \ln \left(\frac{\sigma_i^{'} + \Delta\sigma^{'}}{\sigma_i^{'}} \right)$$

Waarin:

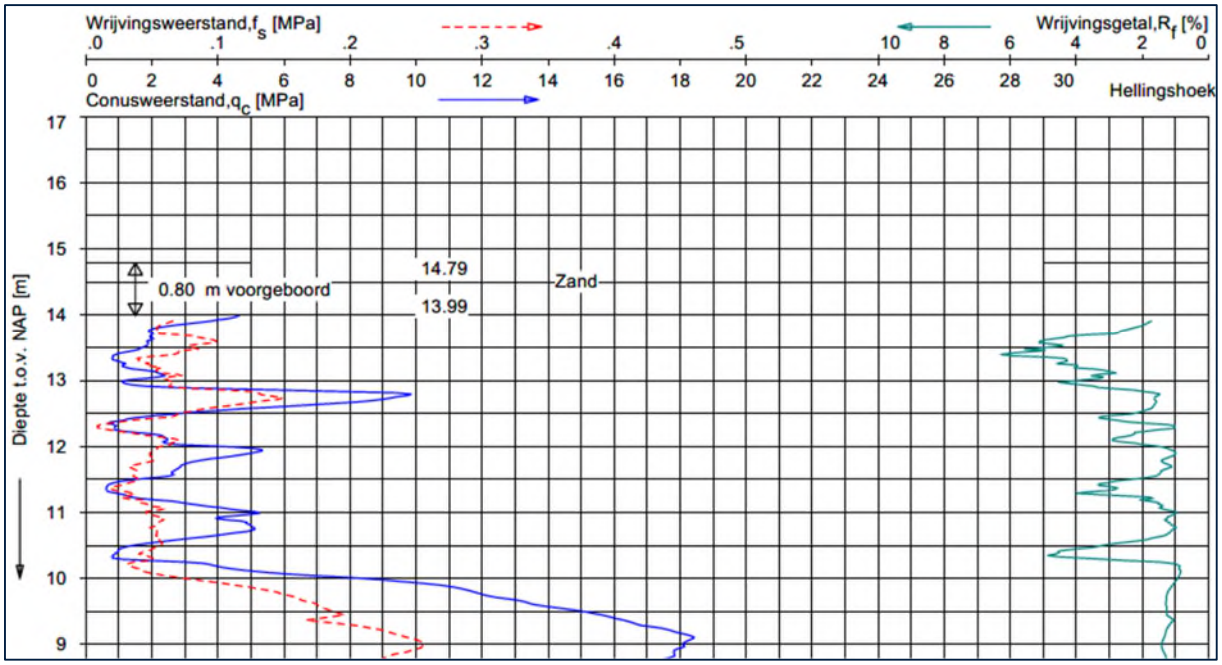
U(t) consolidatiegraad na belastingduur t [-]

De zettingstheorie volgens Koppejan is goed toepasbaar voor klei en veen voor zover deze niet uiterst slap zijn.

Berekende zetting

Bodemtype 2

Om de bodemopbouw van bodemtype 2 te schematiseren is de sondering weergegeven in figuur g.2 gehanteerd.



Figuur G.2: Maatgevende sondering bodemtype 2

Op basis van deze sondering is de bodemopbouw globaal geschematiseerd zoals weergegeven in tabel g.1. Hierbij zijn de voor de zettingsberekening benodigde parameters afgeleid op basis van NEN 9997-1 tabel 2.b en ervaring.

Bij de berekening is op basis van de gemodelleerde stijghoogtereeksen in relatie tot de locatie van de sondering uitgegaan van een historisch laagste stijghoogte van NAP +12,5 m. In tabel g.2 zijn de op deze manier berekende zettingen weergegeven bij verschillende tijdsduren.

Tabel G.1: Bodemopbouw en geohydrologische schematisering bodemtype 2

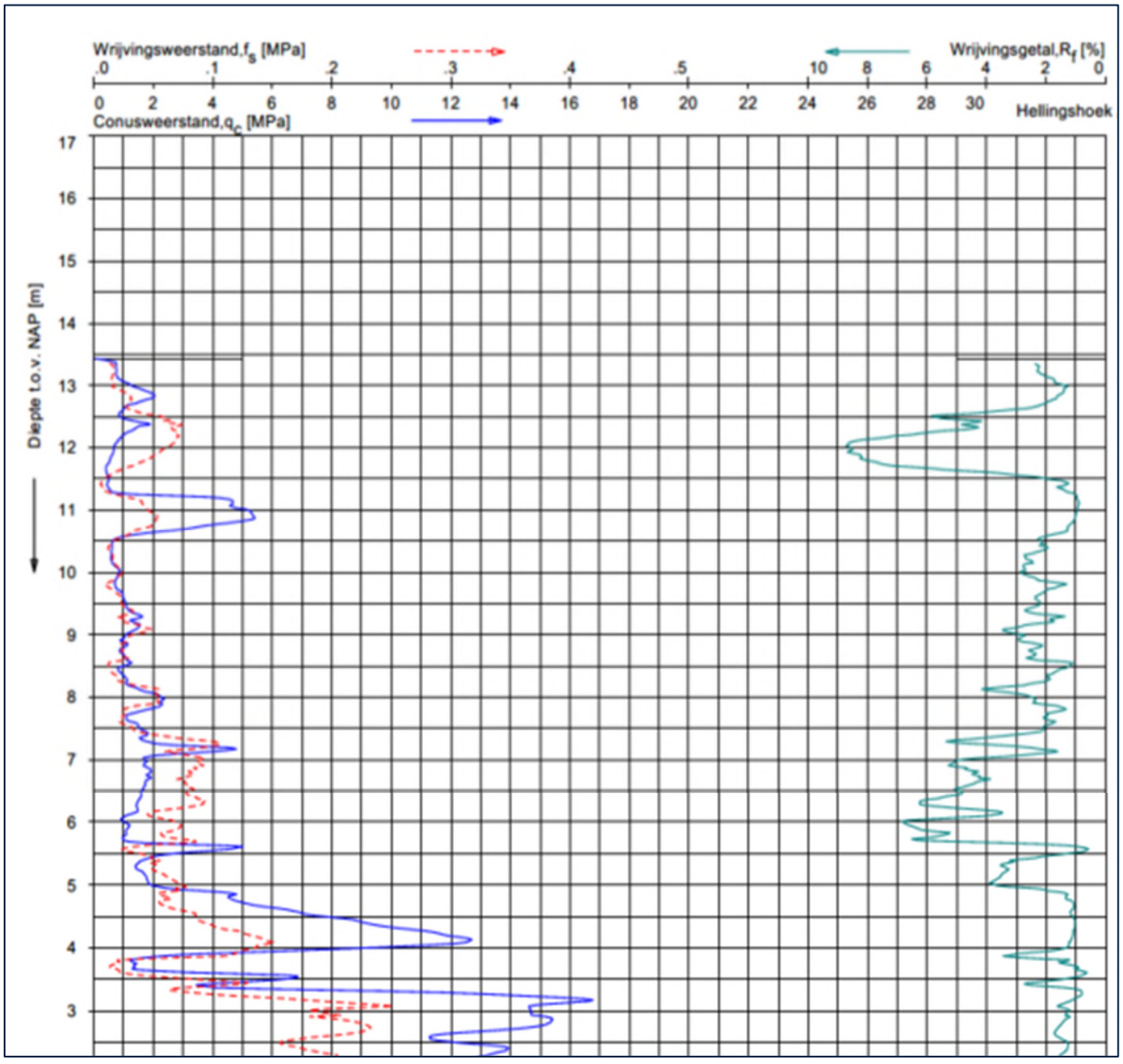
Laag	Diepte [ca. m NAP]	Bodem-beschrijving	Dikte [m]	γ (droog) [kN/m³]	γ (nat) [kN/m³]	C'p [-]	C's [-]	cv [m²/s]
1	+14,8 tot +13,8	Zand los	1,0	17	19	200	∞	-
2	+13,8 tot +12,8	Veen, matig	1,0	12	12	10	40	3,0E-07
3	+12,8 tot +12,5	Zand matig vast	0,3	18	20	600	∞	-
4	+12,5 tot +12,0	Klei, zwak zandig, slap	0,5	16	16	10	110	5,0E-08
5	+12,0 tot +11,5	Zand, los	0,5	17	19	200	∞	-
6	+11,5 tot +11,2	Klei, slap	0,3	15	15	10	110	5,0E-08
7	+11,2 tot +10,5	Zand, los	0,7	17	19	200	∞	-
7	+10,5 tot +10,3	Klei, slap	0,2	15	15	10	110	5,0E-08

Tabel G.2: Berekende zettingen als gevolg van stijghoogteverlagingen t.p.v. bodemtype 2

Verlaging Stijghoogte [m]	Zetting na X dagen [ca. mm]			
	X=10	X=30	X=60	X=90
0,2	0 à 5	0 à 5	0 à 5	0 à 5
0,5	0 à 5	0 à 5	0 à 5	0 à 5
1,0	0 à 5	0 à 5	5 à 10	5 à 10

Bodemtype 3

Om de bodemopbouw van bodemtype 3 te schematiseren is de sondering waarbij de meeste zettingsgevoelige lagen zijn aangetroffen gehanteerd (figuur g.3).



Figuur G.3: Maatgevende sondering bodemtype 3

Op basis van deze sondering is de bodemopbouw globaal geschematiseerd zoals weergegeven in tabel g.3. Hierbij zijn de voor de zettingsberekening benodigde parameters afgeleid op basis van NEN 9997-1 tabel 2.b en ervaring.

Bij de berekening is op basis van de gemodelleerde stijghoogtereeksen in relatie tot de locatie van de sondering uitgegaan van een historisch laagste stijghoogte van NAP +11,4 m. In tabel g.4 zijn de op deze manier berekende zettingen weergegeven bij verschillende tijdsduren.

Tabel G.3: Bodemopbouw en geohydrologische schematisering bodemtype 3

Laag	Diepte [ca. m NAP]	Bodem-beschrijving	Dikte [m]	γ (droog) [kN/m^3]	γ (nat) [kN/m^3]	C'p [-]	C's [-]	cv [m^2/s]
1	+13,4 tot +12,5	Zand los	0,9	17	19	200	∞	-
2	+12,5 tot +11,5	Veen, slap	1,0	11	11	7,5	30	3,0E-07
3	+11,5 tot +10,5	Zand matig vast	1,0	18	20	600	∞	-
4	+10,5 tot +7,5	Klei, zwak zandig, slap	3,0	16	16	10	110	5,0E-08
5	+7,5 tot +5	Veen, matig	2,5	12	12	10	40	3,0E-07

Tabel G.4: Berekende zettingen als gevolg van stijghoogteverlagingen t.p.v. bodemtype 3

Verlaging Stijghoogte [m]	Zetting na X dagen [ca. mm]			
	X=10	X=30	X=60	X=90
0,2	0 à 10	5 à 15	10 à 20	10 à 20
0,5	10 à 20	15 à 25	20 à 30	30 à 40
1,0	25 à 35	40 à 50	50 à 60	60 à 70