

# Aanvullend onderzoek drinkwaterwinning Hammerflier e.o.

Definitief (AVG versie)



# Rapport

**Aveco de Bondt BV**

Holten - Amstelveen - Breda - Eindhoven - Nieuwegein

Postbus 64, 7450 AB Holten

T +31 88 004 82 12

[info@avecodebondt.nl](mailto:info@avecodebondt.nl)

[avecodebondt.nl](http://avecodebondt.nl)

---

|                       |   |                   |                         |
|-----------------------|---|-------------------|-------------------------|
| <b>project</b>        | Aanvullend onderzoek drinkwaterwinning Hammerflief e.o. | <b>datum</b>      | 1 juni 2023             |
| <b>projectnummer</b>  | 223320  | <b>referentie</b> | 223320_AdB_RAP_0001_AVG |
| <b>projectleider</b>  | Frank de Groot  |                   |                         |
| <b>opdrachtgever</b>  | Vitens N.V.   |                   |                         |
| <b>postadres</b>      | Postbus 1205<br>8001 BE ZWOLLE                          |                   |                         |
| <b>contactpersoon</b> | G. Kuper  |                   |                         |
| <b>status</b>         | Definitief (AVG versie)                                 |                   |                         |
| <b>auteur</b>         | Sjoerd Wester en Nico van der Zouw                      |                   |                         |
| <b>gecontroleerd</b>  | Wouter Kooijman, Maarten Kuiper en Kees Lodewijkx       |                   |                         |

---



## Inhoudsopgave

|          |                                     |           |
|----------|-------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inleiding</b>                    | <b>3</b>  |
| 1.1      | Achtergrond                         | 3         |
| 1.2      | Aanleiding                          | 3         |
| 1.3      | Doel                                | 4         |
| 1.4      | Gebruikte gegevens                  | 4         |
| 1.5      | Leeswijzer                          | 5         |
| <b>2</b> | <b>Aanpak</b>                       | <b>6</b>  |
| 2.1      | Onderzoeksgebied                    | 6         |
| 2.2      | Gebouwschade                        | 6         |
| 2.3      | Grondwaterstand                     | 6         |
| 2.4      | Bodemopbouw                         | 7         |
| 2.5      | Funderingen                         | 8         |
| 2.6      | Gebiedsanalyse                      | 9         |
| 2.7      | Modelmatige uitgangspunten          | 9         |
| <b>3</b> | <b>Resultaten</b>                   | <b>10</b> |
| 3.1      | Grondwaterstanden                   | 10        |
| 3.2      | Aanwezigheid slappe bodemlagen      | 10        |
| 3.3      | Type funderingen                    | 11        |
| <b>4</b> | <b>Schademechanismen</b>            | <b>13</b> |
| 4.1      | Schademechanismen drinkwaterwinning | 13        |
| 4.2      | Resultaten zettingsberekeningen     | 14        |
| 4.3      | Oxidatie veen                       | 14        |
| 4.4      | Krimp klei en silt                  | 15        |
| 4.5      | Kans op constructieve schade        | 15        |
| 4.6      | Gevoeligheidsanalyse                | 17        |
| <b>5</b> | <b>Conclusie en advies</b>          | <b>20</b> |
| 5.1      | Conclusie                           | 20        |
| 5.2      | Advies                              | 21        |

### Bijlagen

Bijlage 1 – Quickscan zettingsrisico drinkwaterwinning Hammerflie (Aveco de Bondt, 2022)

Bijlage 2 – Verschillen uitkomsten boor- en laboratoriumonderzoek

Bijlage 3 – Uitwerking zetting- en krimpberekeningen

Bijlage 4 – Overzichtskaarten onderzoeksresultaten

Bijlage 5 – Begrippenlijst



# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

De grondwaterwinning Hammerflie ligt in het gebied Hammerflie nabij de dorpen Den Ham en Vroomshoop. Het betreft een relatief laaggelegen landbouwgebied in het stroomgebied van de Vecht. Het Hammerflie wordt aan de noordkant begrensd door het Beerzerveld (een hoogveengebied met heide- en bospercelen) en aan de zuidkant door de Zandstuve (een bosgebied op landduinen). Het Hammerflie was oorspronkelijk een vliergebied, een moerassig en venig grasland. De natte omstandigheden vormden een goede randvoorwaarde voor de realisatie van de waterwinning. Om de invloed van de winning in de zomer onder droge omstandigheden te beperken is een wateraanvoerplan gerealiseerd. Het vergunde debiet bedraagt sinds de start van de winning in 1993 totaal 5,0 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Het daadwerkelijk hoogst onttrokken debiet in een jaar tijd is 1,6 miljoen m<sup>3</sup>/jaar [1].

Dit document betreft de AVG versie van het rapport. Vermeldingen en kaartmateriaal dat herleidt kan worden naar een adres zijn daarom in deze versie verwijderd.

## 1.2 Aanleiding

Vitens wenst de drinkwaterwinning Hammerflie uit te breiden tot het vergunde debiet van 5,0 miljoen m<sup>3</sup>/jaar om zo te kunnen voldoen aan de toenemende drinkwatervraag. In opdracht van Vitens heeft Aveco de Bondt daarom in 2022 een quickscan uitgevoerd naar de kans op schade aan bebouwing als gevolg van de uitbreiding van de winning ([bijlage 1](#)). Daarvoor hebben we gebruik gemaakt van openbare gegevens en boringen en sonderingen die voor andere doeleinden zijn gezet. Uit de quickscan volgden drie belangrijke conclusies:

- De kaartbeelden tonen een diffuus beeld van de ondergrond; panden bij een boring met een slappe bodemlaag die kan droogvallen bestaan naast panden bij een boring met een volledig zandig profiel.
- Het vergt maatwerk om voor alle opstallen binnen de 5 centimeter contour de kans op schade te beoordelen. Deze inspanning achten we vooralsnog niet doelmatig.
- De grootste kans op schade is daar waar de grondwaterstandverlaging het grootst is.

Aveco de Bondt heeft Vitens daarom geadviseerd een gefaseerde aanpak toe te passen waarbij de focus in eerste instantie ligt op de mogelijke risico's in het gebied met de grootste verwachte verlaging van de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). Meer concreet betreft dit het gebied binnen de 25 centimeter invloedcontour en net daarbuiten (straal van 100 meter), zie [bijlage 4a](#) en figuur 1. Binnen dit gebied is aanvullend veld- en archiefonderzoek geadviseerd om de kans op schade als gevolg van de grondwaterstandverlaging te kunnen duiden. Vitens heeft Aveco de Bondt opdracht gegeven voor het uitvoeren van deze werkzaamheden en het actualiseren van de gebiedsanalyse op basis van de nieuwe gegevens. In dit rapport zijn de resultaten vastgelegd.

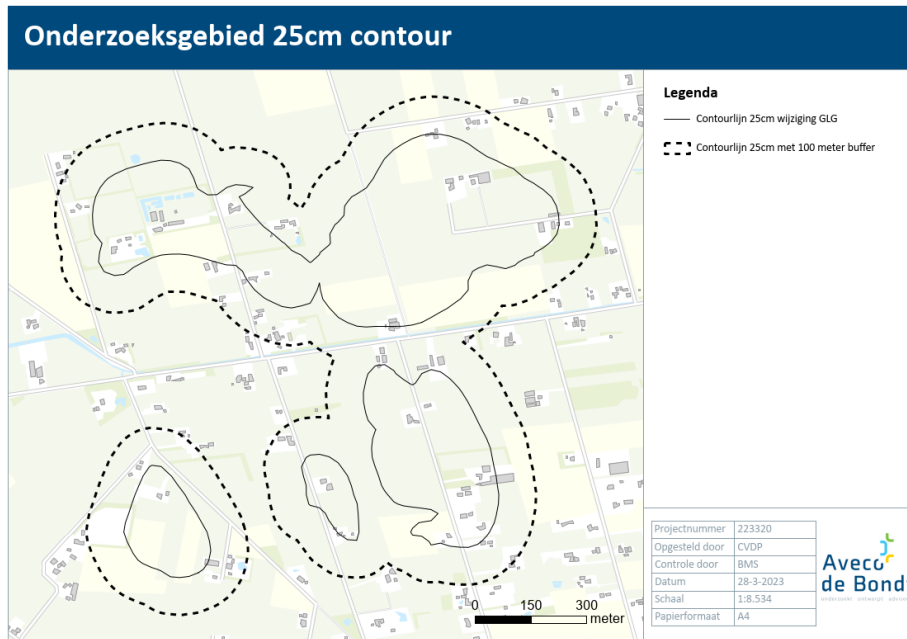
We merken op dat het hier nog steeds een **gebiedsanalyse** betreft. Vitens heeft immers inzicht nodig in het risico op gebiedsniveau om keuzes te kunnen maken over het vervolg van de uitbreiding van de drinkwaterwinning. Het in beeld brengen van eventuele risico's voor individuele panden is in deze fase niet doelmatig. Om de gebiedsanalyse te kunnen uitvoeren hebben we wel gegevens op pandniveau geïnventariseerd om daarmee een risico-inschatting van het gebied als geheel te maken. In de eerder uitgevoerde quickscan hebben we namelijk gezien dat de bodemopbouw erg afwisselend is (binnen het gebied, van perceel tot perceel en mogelijk zelfs binnen één perceel). Mocht in de toekomst worden besloten om een analyse per pand te maken moet opnieuw worden beoordeeld of de in deze fase verzamelde gegevens voldoende detailniveau bieden om een analyse op pandniveau te kunnen maken.



### 1.3 Doel

Het doel van dit aanvullende onderzoek is tweeledig:

- Inzicht geven in de kans op schade aan bebouwing op gebiedsniveau op basis waarvan Vitens een conclusie kan trekken over het benutten van de vergunning
- Adviseren over doelmatigheid van eventueel nader onderzoek in een grotere straal rondom de waterwinning



**Figuur 1:** Overzichtskartaal onderzoekslocaties

### 1.4 Gebruikte gegevens

Voor het uitvoeren van het onderzoek hebben wij de volgende gegevens gebruikt:

1. Gebiedsdossiers drinkwaterwinningen Overijssel, Deel 2: Hammerfliet (Provincie Overijssel, 2017)
2. Algemene Hoogtekaart Nederland 4 (AHN4)
3. Resultaten grondwatermodel (Tauw, augustus 2022)
4. Boringen Dinoloket / Basisregistratie Ondergrond (BRO-archief)
5. Verbreiding Laagpakket van Zutphen waterwingebied Hammerfliet (Wiertsema, december 2021)
6. Grondboringen Wiertsema (Wiertsema, december 2022 en januari 2023, projectnummer: VN-82788-1)
7. Verkenning bodem- en grondwatersituatie rondom drinkwaterwinning Hammerfliet met landbouwkundige interpretatie (Aequator, 2021)
8. Profielbeschrijvingen 28 diepboringen bij locatie Vitens Hammerfliet (Aequator, 2022)
9. Bouwjaar bebouwing (Basisregistraties Adressen en Gebouwen (BAG))
10. Bouwtekeningen panden onderzoeksgebied (Gemeente Twenterand, 2023)
11. CROW-CUR handboek 4:2020, Bemaling van bouwputten en sleuven
12. Deltafact Bodemdaling versie 3.1 (STOWA, februari 2020)
13. NEN 9997-1+C2:2017 nl, Geotechnisch ontwerp van constructies - Deel 1: Algemene regels
14. NEN-EN-ISO 14688-1:2019+NEN 8990:2020, Geotechnisch onderzoek en beproeving - Identificatie en classificatie van grond - Deel 1: Identificatie en beschrijving.
15. NEN-EN-ISO 14688-2:2019+NEN 8991:2020, Geotechnisch onderzoek en beproeving - Identificatie en classificatie van grond - Deel 2: Grondslagen voor een classificatie.

We verwijzen in het vervolg van het rapport naar deze gegevens door het nummer tussen haakjes te zetten: [nr.].



## 1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 leest u over de door ons gehanteerde aanpak. In hoofdstuk 3 leest u vervolgens de resultaten. In hoofdstuk 4 worden de inzichten uit grondwaterstanden, bodemopbouw en funderingen samengebracht in de gebiedsanalyse. In hoofdstuk 5 staan onze conclusies en het advies. In de bijlagen zijn nog meer achtergronden opgenomen, waaronder de uitgevoerde berekeningen en de overzichtskaarten. Veelgebruikte hydrologische en geotechnische begrippen zijn in [bijlage 5](#) toegelicht.



## 2 Aanpak

### 2.1 Onderzoeksgebied

In deze gebiedsanalyse focussen we op het gebied met de grootste kans op schade aan bebouwing als gevolg van de uitbreiding van de drinkwaterwinning. Dit is het gebied waar de grootste freatische grondwaterstanddaling (GLG) wordt verwacht. Voor dit onderzoek gaan we daarbij uit van de contour waarbinnen de freatische grondwaterstand (GLG) als gevolg van de waterwinning naar verwachting meer dan 25 centimeter daalt. Om rekening te houden met de modelonzekerheid en om te voorkomen dat percelen precies op de grens liggen, hebben we deze contour uitgebreid met een buffer van 100 meter ([bijlage 4a](#)). Deze bufferzone hebben we in overleg met Vitens vastgesteld. Binnen het totale gebied (25 centimeter contour + 100 m buffer) vallen 44 locaties. Voor de gebiedsanalyse ligt de focus van dit onderzoek op de hoofdgebouwen van deze locaties.

### 2.2 Gebouwschade

Er zijn veel verschillende oorzaken die kunnen leiden tot schade aan gebouwen en funderingen. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren als gevolg van bouwfouten, trillingen in de ondergrond of uitzakkende grondwaterstanden als gevolg van klimaatverandering. In dit onderzoek focussen we op de schademechanismen die relatie hebben met grondwaterstandverlaging als gevolg van uitbreiding van de drinkwaterwinning. Dit zijn zetting, krimp en oxidatie. Kans op schade aan bebouwing ontstaat in dit geval wanneer de EN-EN-EN analyse van toepassing is:

- De grondwaterstand daalt EN
- Het betreft een fundering zonder betonpalen EN
- De grondwaterstanddaling vindt plaats in het dieptetraject van slappe bodemlagen (of er treden zettingen op) EN
- De slappe bodemlagen zijn aanwezig onder de fundering EN
- Het gebouw zakt ongelijkmatig (scheef) EN
- De stevigheid van het gebouw onvoldoende is (bijvoorbeeld verouderd metselwerk i.p.v. beton)

We maken onderscheid tussen architectonische schade en constructieve schade [11]. Onder architectonische schade valt schade die geen risico vormt voor het constructief falen van de constructie, zoals bijvoorbeeld lichte haarscheurvorming in het stucwerk. In dit onderzoek focussen we ons op constructieve schade, omdat dit bepalend is voor het beslissen over de vervolgacties in dit project. Om te bepalen of er een kans op constructieve schade is, beschouwen we grondwaterstand, bodemopbouw en funderingen.

### 2.3 Grondwaterstand

Het door Tauw opgestelde grondwatermodel levert gebiedsdekkende waarden voor de GLG voor de huidige situatie (1,6 miljoen m<sup>3</sup>/jaar winning, gelimiteerd wateraanvoerstelsel) en de situatie na uitbreiding van de winning (5 miljoen m<sup>3</sup>/jaar, volledig wateraanvoerstelsel), berekend over de modelperiode 2003 t/m 2010 [3].

Het enkel vergelijken van beide GLG-waarden uit het model (huidig en toekomstig) is geen geschikte methode om vast te stellen of er slappe bodemlagen droogvallen als gevolg van de uitbreiding van de winning, omdat er sprake is van een modelonzekerheid en de grondwaterstand ook tijdelijk lager kan dalen dan de GLG met mogelijk ook constructieve schade tot gevolg. We vergelijken daarom een bandbreedte van de grondwaterstand voor uitbreiding van de winning met een bandbreedte van de grondwaterstand na de uitbreiding van de winning. De GLG-waarden uit het grondwatermodel dienen daarbij als basis en vormen de bovengrens van de bandbreedte. De ondergrens van de bandbreedte berekenen we door te verdisconteren voor 3 elementen:





1. Modelonzekerheid<sup>1</sup>: 20 centimeter
2. Klimaatverandering (de grondwaterstanden uit het model zijn representatief voor de periode 2003 – 2010): 10 centimeter
3. Uitzakking grondwaterstand onder GLG: 10 centimeter

De drie elementen resulteren in een bandbreedte van 40 centimeter onder de gemodelleerde GLG. We merken op dat deze 40 centimeter bestaat uit 30 centimeter onzekerheid in de GLG. Dit getal komt voort uit de modelonzekerheid (20 centimeter) en de klimaatverandering (10 centimeter). Op basis van onze vergelijking tussen model en metingen ([bijlage 1](#)) en het modelrapport van Tauw [3] verwachten we dat de GLG tot 20 centimeter lager kan zijn dan het modelresultaat. Binnen het projectgebied verwachten we geen hogere GLG dan het modelresultaat. Uit andere projecten in de omgeving weten we dat de GLG over de periode 2015 – 2022 (ook 7 jaar) tot maximaal 10 centimeter lager kan zijn dan over de periode 2003 – 2010. Het kan echter ook zo zijn dat de GLG gelijk is gebleven. Een stijging van de GLG is onwaarschijnlijk.

In grondwatermeetreeksen uit het gebied zien we dat de grondwaterstand in de zomers van 2018 en 2019 meerdere weken aaneengesloten circa 10 centimeter lager is dan de GLG. We verwachten dat het gedurende enkele weken droogvallen van een slappe bodemlaag de processen van krimp en veenoxidatie al in gang kan zetten. Het is echter niet met zekerheid vast te stellen vanaf welke tijdsduur het droogvallen van een slappe bodemlaag kan leiden tot constructieve schade. Om rekening te houden met deze onzekerheid vergroten we de bandbreedte dus tot 40 centimeter onder de gemodelleerde GLG.

Voor de schademechanismen krimp en veenoxidatie geldt dat er sprake is van een risico op bodemdaling wanneer de bandbreedte verschuift over het dieptetraject van een slappe bodemlaag. In de quickscan ([bijlage 1](#)) is de onderbouwing van de gekozen bandbreedte nader toegelicht.

We merken op dat door te toetsen met deze bandbreedte van 40 centimeter de theoretische kans op constructieve schade groter wordt, dan wanneer we toetsen zonder deze bandbreedte. De bandbreedte van 40 centimeter is daarnaast ruim gekozen; op basis van de peilbuizen in het Hammerfliet gebied bedraagt de grondwaterfluctuatie niet veel meer dan 1 meter. Met de gekozen bandbreedte houden we dus rekening met een significante verschuiving van deze grondwaterfluctuatie en hanteren we dus een ruime marge.

In dit onderzoek hebben we per hoofdgebouw een GLG en een verlaging vastgesteld op basis van de vlakdekkende rasters uit het model. In het geval er meerdere modelpixels overlappen met het hoofdgebouw hebben we voor de verlaging de pixel met de hoogste waarde aangehouden. Daarbij wordt opgemerkt dat de afname van de verlaging over het traject van de 25 centimeter contour tot de 100 meter bufferlijn in enkele gevallen bijna de volledige 25 centimeter bedraagt. In het geval de berekende verlaging van het model kleiner is dan 10 centimeter hebben we voor deze analyse een verlaging van 10 centimeter aangehouden. Dit om rekening te houden met de modelonzekerheid.

## 2.4 Bodemopbouw

Onder slappe bodemlagen verstaan we klei-, silt- en veenlagen. Om de kans op droogvallende slappe bodemlagen in beeld te brengen focussen we op de ondiepe bodemopbouw. In onze eerdere quickscan ([bijlage 1, 4f en 4g](#)) hebben we gebruik gemaakt van de tot dan toe beschikbare openbare gegevens:

- Boringen Dinoloket [4]
- Sonderingen Wiertsema [5]
- Grondboringen Aequator [7]

---

<sup>1</sup> Onzekerheid in berekenen absolute grondwaterstand. De onzekerheid in verlaging als gevolg van de uitbreiding van de drinkwaterwinning is aanzienlijk kleiner.



Het merendeel van deze bodemgegevens was niet ter plaatse van bebouwing, maar op de percelen en in het openbare gebied. Op basis van de quickscan heeft Vitens besloten gedetailleerder onderzoek te doen. Om dit gedetailleerde onderzoek uit te kunnen voeren is het van belang om de bodemopbouw ter plaatse van de gebouwen vast te stellen. Daarom zijn bij elk hoofdgebouw op de erven binnen de 25 centimeter contour (+ 100 meter marge) 4 boringen uitgevoerd zo dicht mogelijk bij de hoofdgebouwen. Van deze 4 boringen is telkens 1 boring afgewerkt tot peilbuis waarin direct na plaatsing een handmatige grondwaterstandmeting is verricht. De peilbuizen zijn zodanig geplaatst dat deze geschikt zijn voor het meten van grondwaterstanden.

Vier boringen bij 44 locaties resulteert in een totaal van 176 boringen. Dit betreft 169 geotechnische boringen conform NEN-EN-ISO 14688-1 die in opdracht van Aveco de Bondt door Wiertsema & Partners zijn geplaatst in december 2022 en januari 2023. Deze boringen zijn geplaatst tot 5 meter diepte. Verder is gebruik gemaakt van 6 (van in totaal 28) boringen van Aequator die al in eerdere fase (augustus 2022) zijn geplaatst conform De Bakker en Schelling classificatie in opdracht van Vitens voor een ander doeleind [5]. De boordiepte van deze boringen varieert van 2,9 tot 4,0 meter. Tot slot is gebruik gemaakt van 1 boring van Aveco de Bondt die in opdracht van Vitens is geplaatst voor de aanleg van de Reinwaterkelder. Deze boring is geplaatst tot 4,3 meter minus maaiveld. De boringen die door Aequator en Aveco de Bondt zijn geplaatst, zijn niet conform de geotechnische norm uitgevoerd NEN-EN-ISO 14688-1.

De eerste boorbeschrijving wordt in het veld tijdens uitvoering van de boringen bepaald. Via eenvoudige veldproeven wordt de grondsoort bepaald aan de hand van het gedrag van de grond. Daarbij wordt bijvoorbeeld geen sterkte van de grond vastgesteld en worden laagwisselingen minder snel opgemerkt. Deze eigenschappen kunnen alleen in het laboratorium vastgesteld worden. Wiertsema & Partners heeft in opdracht van Aveco de Bondt bij alle slappe bodemlagen grondmonsters genomen. Op representatieve grondmonsters is vervolgens laboratorium onderzoek uitgevoerd. De uitgevoerde proeven zijn in tabel 1 weergegeven.

**Tabel 1:** Uitgevoerde laboratoriumproeven

| Aantal | Uitgevoerde proef  | Norm  |
|--------|--|---|
| 3      | Identificatie geroerd monster 14688; beschrijfkwaliteit B2         | NEN-EN-ISO 14688-1                          |
| 76     | Identificatie ongeroerd monster 14688; beschrijfkwaliteit B2       | NEN-EN-ISO 14688-1                          |
| 42     | Bepaling van de dichtheid van fijn korrelige grond (volumegewicht) | NEN-EN-ISO 17892-2                          |
| 42     | Bepaling van het watergehalte                                      | NEN-EN-ISO 17892-1                          |
| 3      | Korrelverdeling (2 µm- 2 mm) op basis van de droge stof            | NEN-EN-ISO 17892-4,<br>NEN-ISO 13317-3;2001 |
| 31     | Bepaling van de Atterbergse grenzen (Casagrande)                   | NEN-EN-ISO 17892-12                         |
| 36     | Organische stofgehalte met behulp van gloeiverlies 500 °C          | NEN 8991 Bijlage A                          |
| 31     | Ongedraineerde schuifweerstand (handvinproef)                      | NEN 8991 Bijlage A                          |

Met de resultaten uit de laboratoriumproeven wordt een beter inzicht gekregen in de variatie en het gedrag en de sterkte van de grondsoorten. In de berekeningen is gebruik gemaakt van standaard rekenparameters van grondsoorten die gelden voor heel Nederland, tabel 2.b in [NEN 9997-1+C2:2017 nl]. De resultaten uit het veldwerk en laboratoriumonderzoek zijn hierbij gebruikt als ingang in tabel 2.b om een keuze te maken van de grondsoorten uit deze tabel met standaard rekenparameters.

## 2.5 Funderingen

Naast de grondwaterstandsverlaging en de aanwezigheid van slappe bodemlagen is ook het type fundering en de diepte ervan van belang om te bepalen of er kans is op gebouwschade. We hebben daarom het archief van de gemeente Twenterand geraadpleegd en bouwtekeningen van de bebouwing verzameld [10]. Voor zover beschikbaar hebben we de volgende gegevens uit de bouwtekeningen en aanvragen gedestilleerd voor de bouwkundige objecten:



- Bouwjaar
- Type opstal
- Type fundering (op staal of palen)
- Materiaal fundering
- Plaat-, strook- of poerfundering
- Diepte fundering
- Breedte onderzijde fundering
- Diepte kelder (indien aanwezig)

Voor de hoofdgebouwen hebben we een deel van deze verzamelde gegevens zichtbaar gemaakt op de factsheets. Bij de interpretatie van de gegevens hebben we gemerkt dat een groot deel van de hoofdgebouwen is verbouwd en/of uitgebreid. In deze gevallen hebben we de kenmerken van de bebouwing opgenomen die tot de grootste kans op schade leiden (worst-case benadering). Denk hierbij aan het oudste bouwjaar.

## 2.6 Gebiedsanalyse

Om de gebiedsanalyse te kunnen uitvoeren verzamelen we gegevens op pandniveau. We berekenen op pandniveau of constructieve schade valt te verwachten als gevolg van de uitbreiding van de winning. Deze risico's op pandniveau vertalen we naar een gebiedsrisico. Voor de gebiedsanalyse die we nu uitvoeren baseren we ons voor de bodemopbouw uitsluitend op de 176 grondboringen die bij de hoofdgebouwen zijn geplaatst en de resultaten van het laboratoriumonderzoek. De boorbeschrijvingen van de boormeesters zijn leidend in het rekenen aan krimp en oxidatie. De resultaten van het laboratoriumonderzoek zijn leidend voor de zettingsberekeningen. In de interpretatie van de resultaten maken we echter gebruik van de zowel inzichten uit de boorbeschrijvingen van de boormeesters als de laboratoriumresultaten.

## 2.7 Modelmatige uitgangspunten

Eerder hebben we benoemd dat we schademechanismen zetting, krimp en oxidatie beschouwen. Over het schademechanisme zetting is relatief veel informatie beschikbaar. We rekenen aan zetting op basis van het NEN-Bjerrum rekenmodel met het Darcy consolidatiemodel en gebruiken D-Settlement, versie 21.2, het softwarepakket van Deltares.

Voor het rekenen aan krimp en oxidatie sluiten we aan bij de meest actuele inzichten uit de wetenschappelijke wereld. Helaas is het kwantificeren van krimp en oxidatie ook voor de wetenschap nog een behoorlijke uitdaging. In dit onderzoek baseren we ons voor het rekenen aan krimp op een factsheet van STOWA [12]. Voor krimp van klei en silt hanteren we respectievelijk de factoren 0,19 en 0,16. Dit betekent dat het droogvallen van 10 centimeter klei resulteert in 1,9 centimeter bodemdaling en het droogvallen van 10 centimeter silt in 1,6 centimeter bodemdaling. In [bijlage 3](#) zijn deze factoren verder toegelicht en onderbouwd. In de bijlage wordt ook een ondergrens voor de krimpfactor van klei en silt berekend. In een gevoeligheidsanalyse (paragraaf 4.6) hebben we vastgesteld welke invloed het wijzigen van de krimpfactoren heeft op het eindresultaat.

Voor het rekenen aan oxidatie gaan we ervan uit dat een veenlaag volledig oxideert en de bodemdaling dus gelijk is aan de grondwaterstanddaling in het dieptetraject van de veenlaag. Dit komt overeen met een factor 1,0. We merken op dat alleen het organisch materiaal in het veen zal oxideren en er mogelijk ook zand fracties in een veenlaag aanwezig zijn. Vermoedelijk is de werkelijke bodemdaling als gevolg van veenoxidatie dus kleiner. Hoeveel kleiner is niet bekend. Om rekening te houden met deze onzekerheid, en om de relevantie hiervan voor de onderzoeksvragen te beoordelen, hebben we een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd (zie paragraaf 4.6).

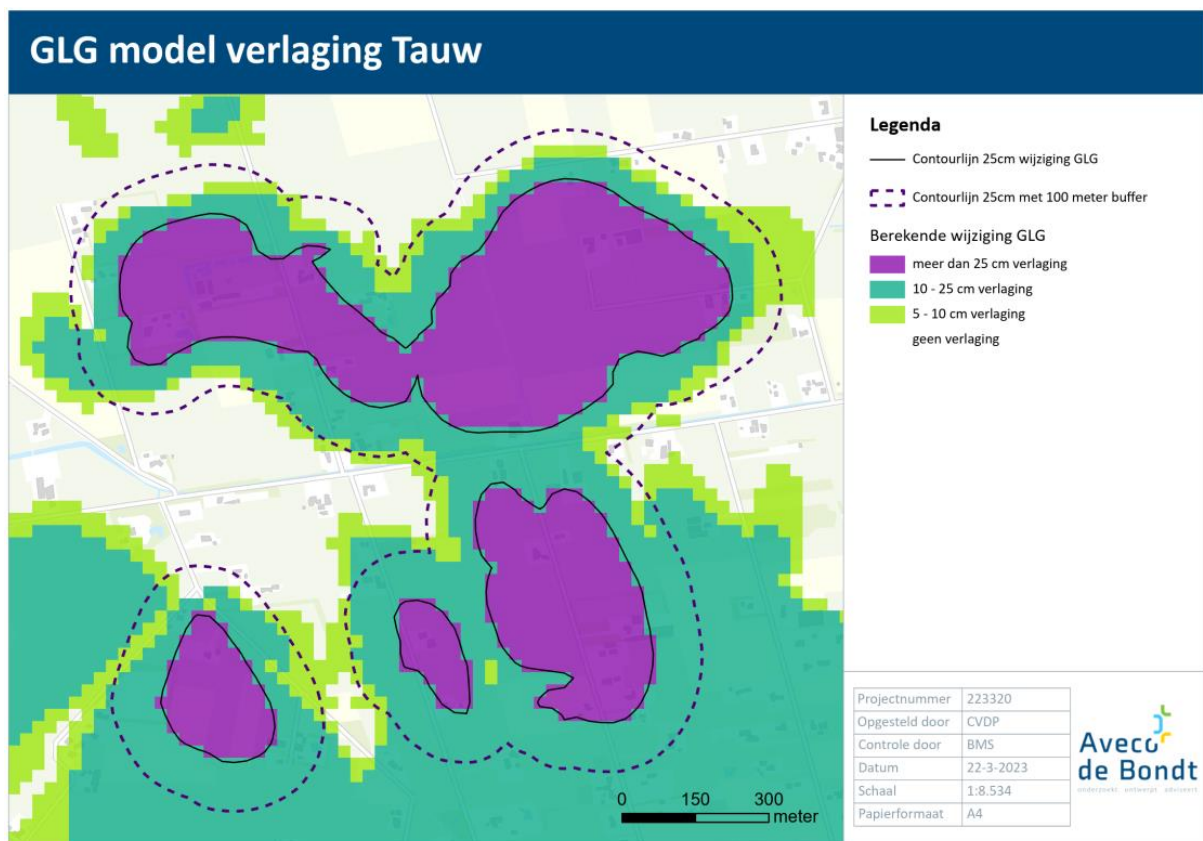


### 3 Resultaten

#### 3.1 Grondwaterstanden

In bijlagen 4c en 4d hebben we respectievelijk een kaart opgenomen van de GLG in m + NAP en de ontwateringsdiepte in meter minus maaiveld (m – mv). De kaarten tonen dat de GLG toeneemt in zuidoostelijke richting (laag in noordwest, hoog in zuidoost) en de ontwateringsdiepte over het algemeen groter is ter plaatse van de bebouwing dan in het omringende land. Dit laatste hangt samen met het hogere maaiveldniveau ter plaatse van de bebouwing (bijlage 4b, [2]). We merken op dat we in dit onderzoek rekening houden met een bandbreedte van de toetswaarde van de grondwaterstand (zie paragraaf 2.3). We houden er dus rekening mee dat de werkelijke GLG kan verschillen van de waarden die in bijlagen 4c en 4d worden getoond.

In bijlage 4e en figuur 2 hebben we een kaart opgenomen met de berekende verlaging van de GLG op basis van het grondwatermodel [3]. Aan elke eigenaar/bewoner is een factsheet toegezonden met gegevens over grondwaterstand, aangehouden bandbreedte, bodemopbouw en fundering. Op deze factsheet is dan ook opgenomen welke GLG we per hoofdgebouw hebben gehanteerd voor de verdere analyses.



Figuur 2: Berekende verlaging GLG als gevolg van uitbreiding grondwaterwinning [3]

#### 3.2 Aanwezigheid slappe bodemlagen

De aanwezigheid van veen-, klei- en siltlagen hebben we vastgesteld op basis van de classificatie van de boormeester. Voor drie boringen zijn boorbeschrijvingen gebruikt die volgen uit de combinatie van de classificatie van de boormeester en de laboratoriumproeven, omdat de laboratoriumresultaten een afwijkende uitkomst laten zien ten opzichte van de boorbeschrijvingen van de boormeesters. De geroerde bodemmonsters zijn voor deze drie boringen leidend geweest bij de classificatie.



### Veen

Bij 22 van de 44 locaties is tenminste één veenlaag aangetroffen in één van de vier grondboringen bij het hoofdgebouw. Veen is met name aangetroffen in het noorden en het zuiden van het onderzochte gebied. In het zuidoosten zijn weliswaar meerdere veenlagen aangetroffen, maar deze zijn niet dikker dan 3 centimeter. Bij de @<sup>2</sup> is een veenlaag aangetroffen van 1,6 meter dik. We merken op dat deze laag is aangetroffen in een boring van Aequator die niet is uitgevoerd volgens de huidige geotechnische NEN-norm, maar is geplaatst voor landbouwkundig onderzoek (Bakker en Schelling classificatie). Deze classificatiemethode levert een overschatting van de veendikte op. Het betreft een zeer gelaagd bodemprofiel met veen en ook zand-, leem-, en kleilaagjes. Binnen de 1,6 meter is veen de hoofdgrondsoort. De dikste veenlaag die is aangetroffen in een geotechnische boring is 0,9 meter dik. De meeste veenlagen hebben echter een dikte van een paar decimeter.

### Klei

Bij 14 van de 44 locaties is tenminste één kleilaag aangetroffen in één van de vier grondboringen bij het hoofdgebouw. Klei is verspreid over het onderzochte gebied aangetroffen. In het zuidwesten is relatief weinig klei aangetroffen, in het noordwesten relatief veel. De dikte van de dikste aangetroffen kleilaag bedraagt 2,5 meter. De meeste kleilagen hebben echter een dikte van een paar decimeter.

### Silt

Bij 28 van de 44 locaties is tenminste één siltlaag aangetroffen in één van de vier grondboringen bij het hoofdgebouw. Silt is verspreid over het onderzochte gebied aangetroffen. Er zijn geen gebieden waar silt meer of minder is aangetroffen. De dikte van de dikste aangetroffen siltlaag bedraagt 1,15 meter. De meeste siltlagen hebben echter een dikte van een paar decimeter.

Bij een deel van de zettingsgevoelige lagen zijn ongeroerde grondmonsters gestoken die in het laboratorium zijn onderzocht op Atterbergse grenzen, volumegewichten en watergehalte. Zowel de boorbeschrijvingen van de boormeesters als de laboratoriumresultaten laten zien dat in veel zettingsgevoelige grondlagen bijmengingen aanwezig zijn. De zettingsgevoelige grond blijkt zeer sterk gelaagd te zijn met wisselend brokken en/of zeer dunne tussenlaagjes. Dit beïnvloedt het gedrag van de grondsoort.

In algemeenheid verschillen de boorbeschrijvingen van laboratoriumonderzoeken en veldboorbeschrijvingen. In [bijlage 2](#) hebben we aangegeven hoe we hiermee omgaan. Bij de interpretatie van de resultaten is rekening gehouden met de verschillen.

## 3.3 Type funderingen

De bouwjaren geven een indicatie van de kwetsbaarheid van de bebouwing voor een grondwaterstanddaling. In algemene zin geldt hoe ouder de bebouwing, hoe kwetsbaarder voor grondwaterstandverlaging. De bebouwing in het onderzoeksgebied ligt veelal op lokale hoogtes in het landschap ([bijlage 4b](#)).

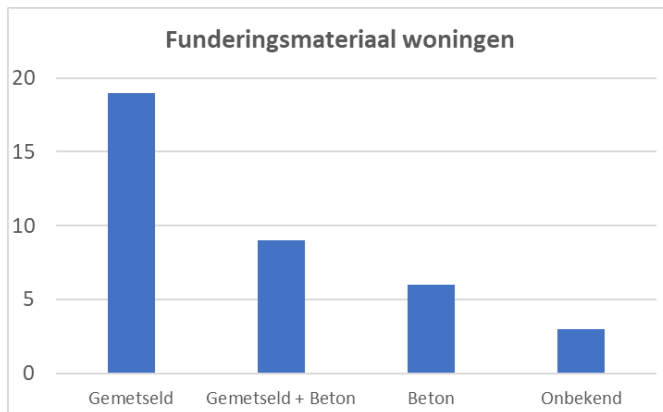
Van de 44 geselecteerde locaties voor dit onderzoek zijn in totaal van 96 gebouwen archieftekeningen gevonden. Alle 96 gebouwen zijn gefundeerd op staal. Dit betreft 37 hoofdgebouwen en 59 bijgebouwen. Op basis van het archiefonderzoek zijn er dus geen funderingen op palen aanwezig in het gebied. Dit is ook wat we vooraf verwachtten op basis van de gebiedskenmerken. Voor de gebiedsanalyse is daarom aangenomen dat alle gebouwen in het onderzoeksgebied zijn gefundeerd op staal en dat er geen houten of betonnen paalfunderingen aanwezig zijn. Opgemerkt wordt dat, omdat niet alle tekeningen beschikbaar zijn, lokaal toch een fundering op palen aanwezig kan zijn.

---

<sup>2</sup> Dit adres is geanonimiseerd



Van de hoofdgebouwen die op een bouwtekening staan hebben 19 een gemetselde fundering, zes een betonnen fundering, negen een combinatie van een gemetselde en betonnen fundering. Van drie hoofdgebouwen is het funderingsmateriaal onbekend (figuur 3).

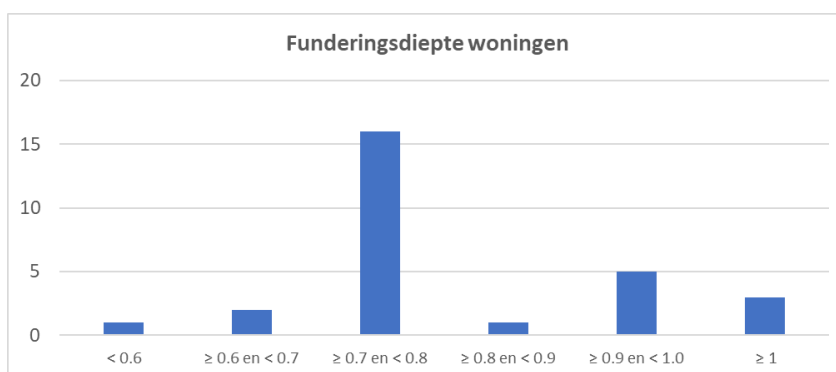


**Figuur 3:** Funderingsmateriaal hoofdgebouwen

Bij benadering heeft dus minder dan 20 % van de hoofdgebouwen waarvan het funderingsmateriaal bekend is een volledig betonnen fundering. De overige meer dan 80 % van de hoofdgebouwen heeft een (deels) gemetselde fundering. Uit een analyse van bouwjaren en funderingsmateriaal blijkt dat begin jaren '80 van de vorige eeuw betonnen funderingen de norm begonnen te worden. Naast dat betonnen funderingen beter in staat zijn om ongelijkmatige zakkingen op te vangen is het bij meer recente gebouwen gebruikelijk om grondonderzoek uit te voeren voordat gebouwd wordt.

In de grondboringen bij hoofdgebouwen met een betonnen funderingen zien we echter toch ook slappe bodemlagen vanaf circa 1,5 m – mv. Doorgaans wordt er dan ook niet veel meer dan 1 tot 1,5 meter ontgraven voor de aanleg van een fundering.

In de bouwtekeningen is tot slot voor een deel van de opstallen ook nog informatie beschikbaar over de funderingsdiepte. De beschikbare informatie is in het histogram in figuur 4 weergegeven. De diepte van de funderingen van de hoofdgebouwen varieert van 0,5 tot 1,1 m – mv. Op basis van de beschikbare tekeningen is bijna 90 % van de funderingen 0,7 m – mv of dieper. Voor de gebiedsanalyse nemen we daarom aan dat slappe bodemlagen boven de 0,7 m – mv niet tot een zettingsrisico leiden.



**Figuur 4:** Funderingsdiepte hoofdgebouwen



## 4 Schademechanismen

### 4.1 Schademechanismen drinkwaterwinning

We onderscheiden drie categorieën (grondmechanische) schademechanismen als gevolg van daling van de grondwaterstand:

- Zetting als gevolg van afnemende waterspanning in de ondergrond
- Krimp van klei- en siltlagen
- Oxidatie van veenlagen

Schade aan woningen als gevolg van bodemdaling treedt op bij ongelijkmatige zakkingen, er moet dus sprake zijn van een hoekverdraaiing (zie ook paragraaf 4.5).

#### Zetting

Zetting als gevolg van afnemende waterspanning ontstaat wanneer de grondwaterstand wordt verlaagd en daardoor de korrelspanning hoger wordt. Voor het optreden van dit schademechanisme hoeft de grondwaterstandverlaging niet op te treden in het traject van de slappe bodemlaag. Doordat de korrelspanningen in de diepte steeds groter worden en de verhoging van de korrelspanning constant is in de diepte, zal de invloed van dit mechanisme in de diepte steeds verder afnemen. We hebben dan ook alleen de zetting in de bovenste 5 meter van de ondergrond geanalyseerd en niet op dieper gelegen slappe bodemlagen. De veronderstelling is dat in diepere bodemlagen wel zetting kan optreden, maar dit niet tot ongelijkmatige zettingen leidt van gebouwen.

De zettingen in de bovenste 5 meter zijn op twee manieren uitgewerkt. Uit de inventarisatie van het grondonderzoek en de grondwaterstandverlaging is van de grootste verschillen in grondsoorten en verlaging van de grondwaterstand een zettingsberekening gemaakt (totaal 5). Daarbij is ook gekeken naar situaties waarbij de grondopbouw zo constant mogelijk is. Uit de berekeningen volgt een maximale en een minimale zetting. Met de berekende zetting, de dikte van de slappe bodemlagen en daling van de grondwaterstand is een rek bepaald. De gemiddelde bovengrenswaarde van de berekende rekken is op alle locaties gebruikt om een inschatting te maken van maximale (verschil)zettingen en hoekverdraaiingen. Op locaties waaruit op basis van inschattingen een kritische hoekverdraaiing volgt is een aanvullende zettingsberekening uitgevoerd. De uitwerking hiervan is in verband met de AVG wetgeving niet in dit rapport opgenomen.

#### Krimp en oxidatie

Krimp treedt op bij afname van het watergehalte in een slappe bodemlaag. Oxidatie treedt specifiek op bij veenlagen waarbij onder werking van zuurstof afbraak van organisch materiaal optreedt. Beide mechanismen vinden plaats wanneer de grondwaterstand uitzakt tot in of onder de slappe bodemlaag. Het droogvallen van slappe bodemlagen met schade aan gebouwen tot gevolg is mogelijk een risico bij de uitbreiding van de drinkwaterwinning.

Over de bodemdaling die volgt uit de schademechanismen krimp en oxidatie is nog relatief weinig bekend. Beide processen laten zich moeilijk vatten in rekenregels. Van een veenlaag is bekend dat deze uiteindelijk grotendeels of zelfs geheel kan vergaan door veenoxidatie. In dit onderzoek nemen we daarom aan dat de grondwaterstanddaling die optreedt in het traject van een veenlaag gelijk is aan de te verwachten bodemdaling. Om te kunnen rekenen aan krimp baseren we ons op inzichten van de STOWA [12]. De uitwerking hiervan is in [bijlage 3](#) opgenomen. In verband met de onzekerheden, en om te beoordelen welke implicaties die hebben voor de onderzoeksvragen, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd (zie paragraaf 4.6).



## 4.2 Resultaten zettingsberekeningen

Vanuit alle uitgevoerde boringen is een overzicht gemaakt van grondsoort, zettingsgevoeligheid en grondwaterstandverlaging. Op basis van deze gegevens zijn vijf locaties geselecteerd die representatief zijn voor het gebied. Voor deze locaties zijn twee zettingsberekeningen uitgevoerd. Eén berekening voor het bepalen van de kleinste zetting en één berekening voor het bepalen van de grootste zetting. Uit de verschillen tussen de twee volgt de maximale hoekverdraaiing (tabel 2).

De berekende zettingen zijn ook gebruikt om een rek te bepalen per boring voor de dikte van zettingsgevoelige lagen en de verlaging van de GLG. Uit de berekende rekken volgt een gemiddelde rek van 0,036 en een maximale rek van 0,070. Het gemiddelde uit deze twee (0,05) is beschouwd als gemiddeld hoogste waarde en is toegepast op alle locaties voor de inschatting van zettingen en maximale hoekverdraaiing op de overige locaties.

**Tabel 2:** Berekende rekken uit zettingen per boring

| Locatie | Boring | Zetting | ZG*1 dikte [m] | Verlaging GLG [m] | rek      |
|---------|--------|---------|----------------|-------------------|----------|
| A       | a      | 0.002   | 0.2            | 0.19              | 0.052632 |
| A       | b      | 0.004   | 1.04           | 0.19              | 0.020243 |
| B       | c      | 0.01    | 0.85           | 0.63              | 0.018674 |
| B       | d      | 0.002   | 0.3            | 0.63              | 0.010582 |
| C       | e      | 0.003   | 0.8            | 0.19              | 0.019737 |
| C       | f      | 0       | 0              | 0.19              |          |
| D       | g      | 0.011   | 0.8            | 0.23              | 0.059783 |
| D       | h      | 0       | 0              | 0.23              |          |
| E       | i      | 0.018   | 0.8            | 0.32              | 0.070313 |
| E       | j      | 0       | 0              | 0.32              |          |

\*1) ZettingsGevoelig

Uit de ingeschatte hoekverdraaiingen op basis van de gemiddeld hoogste waarde van de rek volgt dat op twee van de 44 locaties de maximale hoekverdraaiing resulteert in een kans op constructieve schade. Uit de aanvullende zettingsberekening op die locaties volgt echter dat maximaal architectonische schade wordt verwacht. De op basis van correlaties ingeschatte hoekverdraaiingen zijn in alle gevallen groter dan de berekende hoekverdraaiing. Dit is een bevestiging van de conservatieve inschatting van zettingen op andere locaties.

We concluderen dat het schademechanisme zetting geen risico geeft op constructieve schade.

## 4.3 Oxidatie veen

Op basis van onze analyse komt bijna de helft van de aangetroffen veenlagen (verder) droog te vallen als gevolg van de uitbreiding van de drinkwaterwinning. Bij 22 van de 44 locaties zijn veenlagen aangetroffen in het grondonderzoek. Bij 8 van de 22 locaties valt naar verwachting geen veenlaag droog als gevolg van de uitbreiding van de winning. Bij de overige 14 locaties is de verwachting dat dit wel (deels) gebeurt. Dit varieert van enkele centimeters tot maximaal 29 centimeter. Wat betreft de ruimtelijke spreiding valt op dat er een strook van 500 meter (300 meter ten noorden en 200 meter ten zuiden) in het midden van het projectgebied is waarbinnen geen hoofdgebouwen staan waar we veenoxidatie verwachten. Binnen deze strook bevindt zich circa 1/3 van de onderzochte locaties. Veenoxidatie bij bijgebouwen binnen deze strook kunnen we overigens niet uitsluiten.

Verder valt op dat bij de locaties in het zuidoostelijke deel (circa 15 %) geen veenoxidatie wordt verwacht. De locaties waar wel veenoxidatie wordt verwacht bevinden zich in het zuiden, zuidwesten en noorden van het onderzoeksgebied.





#### 4.4 Krimp klei en silt

Op basis van onze analyse komt iets meer dan de helft van de aangetroffen kleilagen (verder) droog te vallen als gevolg van de uitbreiding van de drinkwaterwinning. Bij 14 van de 44 locaties zijn kleilagen aangetroffen in het grondonderzoek. Bij vier van de 14 locaties valt naar verwachting geen kleilaag droog als gevolg van de uitbreiding van de winning. Bij de overige 10 locaties is de verwachting dat dit wel (deels) gebeurt. Dit varieert van enkele centimeters tot maximaal 30 centimeter.

Op basis van onze analyse komt meer dan de helft van de aangetroffen siltlagen (verder) droog te vallen als gevolg van de uitbreiding van de drinkwaterwinning. Bij 28 van de 44 locaties zijn siltlagen aangetroffen in het grondonderzoek. Bij negen van de 26 locaties valt naar verwachting geen siltlaag droog als gevolg van de uitbreiding van de winning. Bij de overige 19 locaties is de verwachting dat dit wel (deels) gebeurt. Dit varieert van enkele centimeters tot maximaal 63 centimeter.

De analyse toont dat in de huidige situatie ook al klei- en siltlagen droogvallen. Mogelijk heeft er in het verleden dus al krimp opgetreden. Krimp is voor een deel onomkeerbaar. Bodemlagen waarin krimp al heeft opgetreden kunnen niet verder krimpen en voegen dan ook geen extra bodemdaling toe. Op dit moment zijn er geen manieren beschikbaar om aan te tonen in hoeverre krimp al heeft plaatsgevonden. Daarom is het uitgangspunt dat er nog geen krimp heeft plaatsgevonden. Dus in werkelijkheid zou de krimp die nog kan optreden kleiner kunnen zijn dan berekend in dit rapport. Dit geldt overigens ook voor de veenoxidatie.

#### 4.5 Kans op constructieve schade

Per hoofdgebouw hebben we een risicobeoordeling gemaakt door de EN-EN-EN analyse toe te passen op de verzamelde gegevens. In [bijlage 3](#) is toegelicht hoe de bodemdaling die volgt uit krimp en oxidatie is vastgesteld. Uit gegevens volgt dat bij 30 van de 44 locaties (68 %) slappe bodemlagen droogvallen. Per boring hebben we een minimale en maximale bodemdaling vastgesteld. Met de minimale en maximale bodemdaling per locatie hebben we de maximale hoekverdraaiing uitgerekend. We hebben aangenomen dat de hoekverdraaiing optreedt over een gevel met een lengte van 6 meter (aanname). De hoekverdraaiing hebben we vervolgens beoordeeld op de schadeklassen van Boscardin (tabel 3). Het betreft hier een risico inschatting. De beoordeling geeft aan dat er een kans is op constructieve schade. Het is niet zeker dat er ook daadwerkelijk schade optreedt, omdat er aannames zijn gedaan in de berekening en de constructieve sterkte van het gebouw niet is meegewogen is in deze vaststelling.

Op basis van onze analyse is de verwachting dat bij 16 % van de onderzochte locaties constructieve schade kan optreden bij de hoofdgebouwen en bij 34 % ernstige constructieve schade kan optreden. Bij de overige 50 % van de hoofdgebouwen verwachten we geen constructieve schade. In tabel 3 hebben we voorbeelden van de mogelijke schade opgenomen die horen bij de genoemde classificaties. We merken op dat we hebben beoordeeld op de kans op constructieve schade. De kans op architectonische schade (bijvoorbeeld lichte haarscheurvorming in het stucwerk) is groter dan de kans op constructieve schade.

**Tabel 3:** Schadeklassen Boscardin. Klassen 1 en 2 betreffen architectonische schade, klassen 3 t/m 5 constructieve schade [11]

| Schadeklassen volgens Boscardin                          | Relatieve hoekverdraaiing $\beta$ ( $\times 10^{-3}$ ) |
|--|--|
| <b>Klasse 0/1 verwaarloosbare tot zeer lichte schade</b> | <b>0 – 1,67 (0 tot 1 : 600)</b>                        |
| Scheuren maximaal 0,1 mm                                 |  |
| <b>Klasse 2 – lichte schade</b>                          | <b>1,67 – 3,33 (1 : 600 tot 1 : 300)</b>               |
| Scheuren maximaal 5 mm                                   |  |
| Lichte vervorming van kozijnen                           |  |
| <b>Klasse 3 – matige schade</b>                          | <b>3,33 – 6,67 (1 : 300 tot 1 : 150)</b>               |
| Scheuren maximaal 15 mm                                  |  |

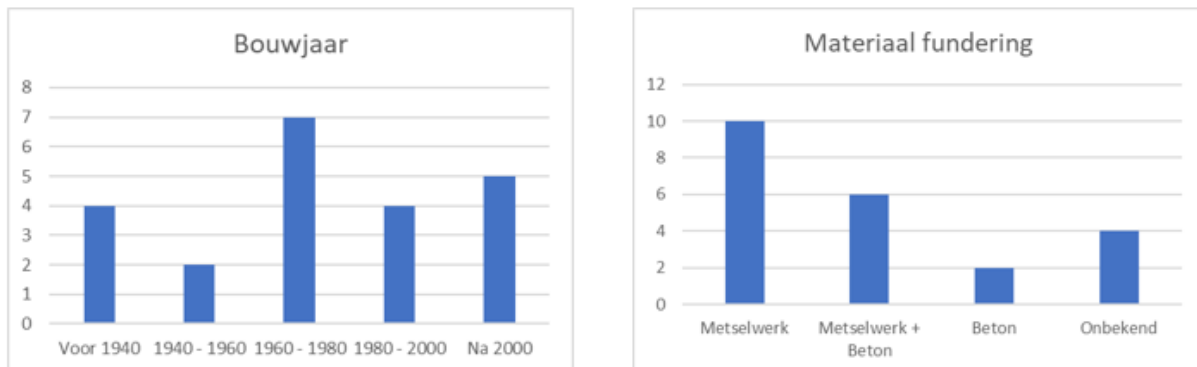


|  |  |
|--|--|
| Matige vervorming van kozijnen         |  |
| Lekkage                                |  |
| Gescheurde dienstleidingen             |  |
| <b>Klasse 4 – ernstige schade</b>      | <b>6,67 – 10 (1 : 150 tot 1 : 100)</b> |
| Scheuren maximaal 25 mm                |  |
| Sterke vervorming van kozijnen         |  |
| Merkbaar hellende vloeren (> 1 : 100)  |  |
| Scheefstand van muren (> 1 : 100)      |  |
| Bolling van muren                      |  |
| Enkele balken verliezen opleglengte    |  |
| Gebroken dienstleidingen               |  |
| <b>Klasse 5 – zeer ernstige schade</b> | <b>&gt; 10 (1 : 100 en meer)</b>       |
| Scheuren minimaal 25 mm                |  |
| Balken verliezen opleglengte           |  |
| Muren moeten worden gestut             |  |
| Gebroken ramen                         |  |
| Gevaar voor instabiliteit / instorting |  |

Bij de hoofdgebouwen waar constructieve schade kan optreden, wordt dit in circa 15 % van de gevallen veroorzaakt door krimp van silt, in circa 20 % van de gevallen door krimp van klei, in circa 30 % van de gevallen door veenoxidatie en in circa 35 % van de gevallen door een combinatie van deze drie schademechanismen, waarbij veenoxidatie in de meeste gevallen zorgt voor de grootste hoekverdraaiing. Het schademechanisme zetting (als gevolg van afnemende waterspanning) leidt in geen van de gevallen tot constructieve schade.

In bijna 90 % van de gevallen waar een kans op ernstige constructieve schade is, is veenoxidatie één van de oorzaken. Deze ernstige constructieve schade verwachten we vrijwel alleen in het noorden en zuiden (met uitzondering van het zuidoosten) van het onderzochte gebied. Dit zijn dan ook de gebieden waar we de meeste veenlagen hebben aangetroffen in de boringen. In het zuidoosten en in een strook in het midden van het projectgebied is de kans op ernstige constructieve schade kleiner.

In het vaststellen van de verwachting van constructieve schade hebben we geen rekening gehouden met het bouwjaar en toegepaste funderingsmateriaal van het hoofdgebouw. In de toetsingsmethodiek van het CROW wordt ook geen onderscheid gemaakt voor een betonnen of gemetselde fundering [11]. Uit de praktijk weten we wel dat nieuwere bebouwing met betonnen funderingen beter in staat is om ongelijkmatige bodemdaling op te vangen dan oudere bebouwing met gemetselde funderingen. In figuur 5 hebben we de bouwjaren en het funderingsmateriaal van de hoofdgebouwen waarbij mogelijk constructieve schade optreedt weergegeven. Uit de figuur blijkt dat we van minder dan 10 % van de hoofdgebouwen met kans op constructieve schade met zekerheid weten dat het een volledig betonnen fundering betreft. Op basis van deze figuur is er geen aanleiding om te veronderstellen dat de bebouwingskenmerken ervoor zorgen dat de kans op constructieve schade op gebiedsniveau significant afneemt.



Figuur 5: Bebouwingskenmerken hoofdgebouwen waarbij constructieve schade kan optreden

Op basis van onze analyse lijkt de kans op constructieve schade bij een grondwaterstanddaling kleiner dan 15 centimeter substantieel af te nemen. Dit kleinere aandeel van constructieve schade wordt niet verklaard door de afwezigheid van slappe bodemlagen. Het aantal locaties met veenlagen en/of slappe bodemlagen is namelijk gemiddeld voor het onderzoeksgebied. We merken wel op dat bij 2 locaties (@ en @)<sup>3</sup> die binnen deze categorie vallen de veenlagen relatief diep zitten en ook niet droog zouden vallen bij 30 centimeter daling van de GLG. Mogelijk de beste verklaring voor het verschil met de andere categorieën is dat op basis van onze aannames en berekeningen het droogvallen van minder dan 14 centimeter silt niet constructieve schade zal leiden. Bij klei en veen ligt deze grenswaarde lager. Hieruit volgt dat ook buiten de 25 centimeter contour kans op constructieve schade is als gevolg van de uitbreiding van de winning. Deze kans neemt af naarmate de daling van de grondwaterstand kleiner wordt.

#### 4.6 Gevoeligheidsanalyse

In de vaststelling van het aantal locaties waar kans is op constructieve schade zit een aantal onzekerheden. Om gevoel te krijgen voor de wijze waarop de uitgangspunten doorwerken in de conclusie hebben we voor een aantal parameters een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. De bevindingen zijn hieronder beschreven.

##### Verlaging GLG

Om inzicht te krijgen in de mate waarin de grootte van de GLG verlaging van invloed is op het eindresultaat is een verkennende analyse uitgevoerd. Uit de analyse blijkt dat wanneer de verlaging van de GLG als gevolg van de uitbreiding van de winning overall 50 % kleiner zou zijn dan het grondwatermodel laat zien en we daarnaast de bandbreedte van de GLG verlagen van 40 naar 20 centimeter, de verwachting alsnog is dat bij 34 % van de locaties een risico op constructieve schade aanwezig is. Deze uitkomst toont aan dat een grote inspanning om de freatische grondwatereffecten van de winning te verkleinen (50 % reductie) in combinatie met meer zekerheid over het niveau van de GLG (bandbreedte van 20 centimeter) naar verwachting slechts leidt tot een kleine afname (22 naar 15) van het aantal locaties met een kans op constructieve schade aan de hoofdgebouwen.

<sup>3</sup> Deze adressen zijn geanonimiseerd



### **Absolute waarde GLG**

Om inzicht te krijgen in de mate waarin de absolute hoogte van de GLG uit het grondwatermodel van invloed is op het eindresultaat, is een verkennende analyse uitgevoerd. Daarbij hebben we getoetst wat het gevolg is van een 20 centimeter hogere of lagere GLG dan het model berekend heeft. Uit deze analyse blijkt dat zowel een 20 centimeter hogere of lagere GLG weinig invloed heeft op het aantal locaties waar kans is op constructieve schade. Wanneer de GLG uit het model 20 centimeter hoger zou zijn en de bandbreedte teruggebracht kan worden naar 20 centimeter, neemt de kans op constructieve schade ook niet af. Opvallend is wel dat in dit scenario de bijdrage van het schademechanisme krimp groter wordt en de bijdrage van veenoxidatie juist kleiner. In het hypothetische geval dat krimp niet tot schade leidt, bestaat er in dit scenario nog maar bij 5 locaties een kans op constructieve schade. Dit getal staat tegenover 14 locaties in het basisscenario. Op basis van de op dit moment best beschikbare inschatting van de GLG levert het schademechanisme veenoxidatie juist de grootste bijdrage aan de kans op constructieve schade. Daaruit concluderen we dat de veenlagen zich op een kritisch dieptetraject voor zakkingschade bevinden. Grondwaterstandmetingen in de peilbuizen per pand, kunnen meer duidelijkheid hierover geven.

### **Factoren krimp van silt en klei & factor veenoxidatie**

Om inzicht te krijgen in de mate waarin de zettingsgevoeligheid van de bodem van invloed is op het eindresultaat, is een verkennende analyse uitgevoerd. Hierbij zijn de verschillende parameters voor de factor krimp en oxidatie gehalveerd en op 0 gezet. De resultaten van de verschillende berekende scenario's zijn weergegeven in tabel 4.

Uit de analyse blijkt dat wanneer er binnen het onderzochte gebied (25 cm contour + 100 m buffer) geen schade zou kunnen optreden als gevolg van krimp (factor 0.0) en de factor voor veenoxidatie daarnaast wordt teruggebracht van 1,0 naar 0,5 de verwachting alsnog is dat bij circa 1/3 van de locaties (14 van de 44) een kans op constructieve schade bestaat. We merken hierbij gelijk op dat dit scenario op dit moment geen theoretische onderbouwing kent, maar puur is bedoeld om de impact van de zettingsgevoeligheid van de bodem voor het eindresultaat te verkennen. Dit scenario toont dat er ook bij sterk verminderde zettingsgevoeligheid van de aangetroffen slappe bodemlagen er nog een significante kans op constructieve schade overblijft. De gevoeligheidsanalyse toont verder dat de ondergrens van de krimpfactoren, zoals deze in [bijlage 3](#) is berekend, leidt tot een significant kleinere kans op constructieve schade dan de bovengrens die in dezelfde bijlage is berekend. Omdat de kans op constructieve schade als gevolg van veenoxidatie bij een lagere factor (0,5) nauwelijks wijzigt, blijft het gebiedsrisico onverminderd aanwezig. Mocht er in de toekomst aanvullend onderzoek nodig zijn om het risicoprofiel binnen bijvoorbeeld de 10 centimeter contour te duiden, bevelen we aan om een nadere beschouwing van de gebruikte krimpfactoren uit te voeren. Voor de veenoxidatie factor lijkt dit minder doelmatig, omdat er ook bij een halvering van de factor nog een kans op constructieve schade bij het droogvallen van 4 centimeter veen overblijft.



**Tabel 4:** Resultaten gevoeligheidsanalyse van de factoren krimp en oxidatie

| Scenario | Parameter   | Huidige waarde | Waarde gevoeligheidsanalyse | Constructieve schade | Ernstige constructieve schade | Totaal |
|----------|-------------|----------------|-----------------------------|----------------------|-------------------------------|--------|
| 0        | -           | -              | -                           | 6                    | 16                            | 22     |
| 1        | Factor klei | 0.19           | 0.095                       | 4                    | 15                            | 19     |
| 2        | Factor klei | 0.19           | 0.00                        | 3                    | 15                            | 18     |
| 3        | Factor silt | 0.16           | 0.08                        | 3                    | 16                            | 19     |
| 4        | Factor silt | 0.16           | 0.00                        | 3                    | 16                            | 19     |
| 5        | Factor veen | 1.0            | 0.5                         | 6                    | 16                            | 22     |
| 6        | Factor veen | 1.0            | 0.00                        | 11                   | 5                             | 16     |
| 7        | Factor klei | 0.19           | 0.095                       | 2                    | 14                            | 16     |
| 7        | Factor silt | 0.16           | 0.08                        |                      |                               |        |
| 8        | Factor klei | 0.19           | 0.095                       | 3                    | 13                            | 16     |
| 8        | Factor silt | 0.16           | 0.08                        |                      |                               |        |
| 8        | Factor veen | 1.0            | 0.5                         |                      |                               |        |
| 9        | Factor klei | 0.19           | 0.00                        | 1                    | 13                            | 14     |
| 9        | Factor silt | 0.16           | 0.00                        |                      |                               |        |
| 9        | Factor veen | 1.0            | 0.5                         |                      |                               |        |
| 10       | Factor klei | 0.19           | 0.095                       | 5                    | 0                             | 5      |
| 10       | Factor silt | 0.16           | 0.08                        |                      |                               |        |
| 10       | Factor veen | 1.0            | 0.0                         |                      |                               |        |



## 5 Conclusie en advies

### 5.1 Conclusie

Voor het beoordelen van het risico op schade aan hoofdgebouwen binnen het focusgebied waar de grondwaterstand 25 cm of meer wordt verlaagd als gevolg van de toename van de drinkwaterwinning, zonder verder aanvullende maatregelen, hebben wij onderstaande onderdelen uit de EN-EN-EN analyse onderzocht. Het onderzoek is uitgevoerd op gebiedsniveau, gebruikmakend van informatie van individuele locaties. Er is sprake van risico op schade aan gebouwen als alle aspecten zich voordoen.

#### 'EN-EN-EN' analyse

- De grondwaterstand daalt: dit rapport heeft betrekking op het gebied waar de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) meer dan 25 cm daalt volgens het grondwatermodel.
- Het betreffende gebouw is gefundeerd zonder betonpalen: uit bouwtekeningen van de hoofdgebouwen van de locaties binnen het 25 cm verlagingsgebied blijkt dat alle hoofdgebouwen waarvan funderingstekeningen beschikbaar zijn inderdaad een ondiepe fundering hebben, zonder palen (zogenaamde fundering op staal).
- Er zijn slappe bodemlagen aanwezig onder funderingen: uit grondboringen en laboratoriumonderzoek van bodemmonsters is gebleken dat onder de fundering van de gebouwen inderdaad slappe bodemlagen voorkomen bij bijna 90% van de hoofdgebouwen.
- De grondwaterstanddaling vindt plaats rond het dieptetraject waar de slappe bodemlagen zich ook bevinden: uit berekeningen blijkt dat bij circa 70 % van de hoofdgebouwen zakking van slappe bodemlagen optreedt omdat het grondwater fluctueert rond het niveau van de slappe bodemlagen.
- Het gebouw zakt ongelijkmatig (scheef): bij 50% van de hoofdgebouwen wordt ongelijkmatige zakking verwacht omdat de zakking van slappe bodemlaag aan de ene zijde van een gebouw groter is dan aan de andere zijde. Uit een theoretische gevoeligheidsanalyse blijkt dat wanneer de gekozen parameters voor krimp en oxidatie worden gehalveerd, dan alsnog bij 36% van de hoofdgebouwen ongelijkmatige zakking wordt verwacht. Er is sprake van een sterk afwisselende bodem binnen het onderzoeksgebied, maar ook binnen percelen en zelfs afwisselend onder één individueel gebouw.
- De stevigheid van het gebouw onvoldoende is om scheefstand constructief te verwerken: bij bijna 90% van de hoofdgebouwen, waar ongelijkmatige zakking wordt verwacht, is sprake van een (deels) gemetselde fundering. Er is daarom geen aanleiding om te veronderstellen dat de stevigheid van de gebouwen ervoor zorgt dat de kans op constructieve schade bij de hoofdgebouwen binnen het 25 cm verlagingsgebied significant minder is.

Bovenstaande aspecten en input zijn in samenhang beoordeeld. Hieruit is gebleken dat bij circa een derde tot de helft van de hoofdgebouwen kans is op constructieve schade (bijvoorbeeld scheuren in gevels of hellende vloeren). Bij de overige bebouwing is architectonische schade (bijvoorbeeld ondiepe scheuren in pleisterwerk) of geen schade te verwachten.

Dat het onderzochte gebied risicovol is ten aanzien van gebouwschade door bodemdaling, blijkt vooral uit de combinatie van omstandigheden. Er zijn slappe bodemlagen aanwezig onder de fundering van veel gebouwen, op een diepte waar het grondwater momenteel ook ongeveer fluctueert, waardoor bij relatief kleine veranderingen in de grondwaterstand slappe bodemlagen kunnen droogvallen en 'inzakken', waardoor de gebouwen die erop rusten mee zakken. In veel gevallen zakt de ene zijde sneller dan de andere zijde van een gebouw, waardoor schade aan gevels en vloeren kan ontstaan.



### **Inschatting schaderisico in gebied buiten de 25 cm verlagingscontour**

Gekozen is om in eerste instantie onderzoek te doen in het gebied met de grootste berekende verlaging van de grondwaterstand (meer dan 25 cm). Dit rapport heeft betrekking op dat gebied. Daarbuiten kan ook sprake zijn van risico op schade. We hebben de kenmerken van het '25 cm gebied' gebruikt om een voorzichtige inschatting te geven van het risico in het overige gebied waar de grondwaterstand verlaagd wordt (25 cm en minder). Uit onze analyse volgt dat krimp van silt, krimp van klei en oxidatie van veen buiten de 25 centimeter contour tot constructieve schade kunnen leiden. Onze inschatting is dat ook hier slappe bodemlagen aanwezig zijn rond de diepte van de grondwaterfluctuatie. De kans op constructieve schade wordt wel kleiner naarmate de grondwaterstanddaling kleiner is.

## **5.2 Advies**

Mogelijkheden om het schaderisico te beperken zijn:

- Gebiedsmaatregelen
  - De huidige drinkwaterwinning niet of minder uitbreiden;
  - De verlaging van de grondwaterstand verminderen met waterhuishoudkundige maatregelen (water naar het gebied brengen en infiltreren).
- Perceelsmaatregelen
  - Risicovolle gebouwen bouwkundig versterken en zo bodemdalingsbestendig maken.

Naast deze mogelijkheden kan ook worden gekozen voor het verzamelen van meer gegevens om de zekerheid van de risico-analyse verder toe te laten nemen.

### **Uitbreiding drinkwaterwinning heroverwegen**

Uit een gevoeligheidsanalyse van de risicoanalyse is gebleken dat ook bij kleine (extra) verlagingen van de huidige grondwaterstand schade te verwachten is. Een halvering van de berekende grondwaterstandsverlaging resulteert in een beperking van het risico van 22 van de hoofdgebouwen naar 15 van de hoofdgebouwen. Een geringe reductie van het risico. Het lijkt erop dat de uitbreiding van de winning significant (nauwelijks extra water onttrekken) teruggebracht moet worden om ook het schaderisico terug te brengen.

### **Waterhuishoudkundige maatregelen**

Gedacht kan worden aan het extra inlaten van oppervlaktewater in het gebied en dit via watergangen te verspreiden over het gebied en in de bodem te laten infiltreren. Uit een gevoeligheidsanalyse van de risicoanalyse is gebleken dat de grondwaterstandsverlaging teruggebracht moet worden naar ordegrootte centimeters, om het schaderisico significant te reduceren. Dat betekent dat dan continue monitoring van het watersysteem nodig is (debiet grondwateronttrekkingen, debiet oppervlaktewater onttrekkingen, inlaatdebiet, uitlaatdebiet, oppervlaktewaterstanden en grondwaterstanden verdeeld over het gebied). Monitoring van het gehele watersysteem is nodig om, naast het monitoren van de grondwaterstanden te monitoren of de grondwaterstanden naar verwachting fluctueren, en ook de oorzaken van eventuele afwijkingen en oplossingsrichtingen te kunnen bepalen. Hiervoor is waarschijnlijk samenwerking nodig tussen provincie, Vitens, waterschap en mogelijk gemeenten. We adviseren om hier een monitoringsplan voor op te stellen, inclusief bijhorend handelingsperspectief.

### **Gebouwen bodemdalingsbestendig maken**

Risicovolle gebouwen kunnen via bouwkundige maatregelen worden versterkt. Het aanpassen van funderingen beoordelen we als ingrijpende maatregelen, voor bewoners en financieel.

### **Vergroten zekerheid risicoanalyse**

Hoe nauwkeurig het schaderisico bepaald kan worden, is vooral afhankelijk van de hoeveelheid informatie uit het gebied. Over de bodemopbouw is veel informatie beschikbaar, zelfs per individueel hoofdgebouw. Meer gegevens maken de risicoanalyse niet zekerder, nader onderzoek is in deze fase dan ook niet doelmatig. Ook geven de bouwtekeningen voldoende informatie over de funderingen in deze fase van het risico-onderzoek. De



grondwatereffecten zijn voldoende nauwkeurig bepaald met een grondwatermodel. De absolute hoogte van de grondwaterstand is eveneens bepaald met een grondwatermodel.

Omdat de grondwaterstand fluctueert op een diepte waar ook slappe bodemlagen aanwezig zijn, is informatie die nauwkeuriger is dan een modelberekening wenselijk om de risico-analyse aan te scherpen. Daarom wordt geadviseerd om freatische grondwaterstanden te monitoren.

De zekerheid van de risico-analyse is daarnaast afhankelijk van de kennis over de schademechanismen krimp en oxidatie. Het uitvoeren van (wetenschappelijk) onderzoek om bodemdaling als gevolg van krimp en oxidatie exacter te kunnen vaststellen is echter een traject van jaren.

#### **Advies**

We adviseren om continuumetingen in de reeds aanwezige peilbuizen (per hoofdgebouw in het gebied waar de grondwaterstand 25 cm of meer wordt verlaagd) uit te voeren over een periode van meerdere maanden en te combineren met meerjarige metingen. En om vervolgens de risicoanalyse met deze informatie aan te scherpen.

We adviseren om de verzamelde gegevens en inzichten uit het '25 cm gebied' te gebruiken, om een inschatting van de kans op gebouwschade te maken voor het gebied buiten de 25 cm contourlijn. Met steekproeven op perceelniveau (vergelijkbaar onderzoek als binnen het 25 cm gebied) kan de inschatting vervolgens gevalideerd worden.

We adviseren om de genoemde oplossingsrichtingen in samenhang te beoordelen op haalbaarheid, effectiviteit en kosten.

#### **Aanbeveling: gebiedsgerichte aanpak**

Dit rapport analyseert het risico op schade aan bebouwing als gevolg van een toename van grondwater-onttrekking voor extra drinkwater. Schade aan bebouwing, verlaagde grondwaterstanden en bodemdaling kennen meerdere oorzaken en dus ook meerdere oplossingsrichtingen. Denk daarbij bijvoorbeeld aan bouwwerkzaamheden rond een pand, verbouwing van een pand zelf, ophogingen met zand, klimatologische droogte, tijdelijke bemalingen voor graafwerkzaamheden, bouwtechnische aspecten, extra grondwateronttrekking door bedrijven, bewoners, overheden, drinkwaterbedrijf, groeiende bomen, veranderd peilbeheer in de watergangen, aanpassingen aan de riolering, lekkende leidingen, et cetera.

Om het gebied en de panden meer weerbaar te maken voor toekomstige veranderingen (meer in het algemeen, aanvullend op extra drinkwaterwinning), is een gebiedsgerichte aanpak op zijn plaats. Waarbij de verschillende belanghebbenden in het gebied samenwerken; perceeleigenaren, gemeenten, waterschap, provincie, drinkwaterbedrijf, vanuit ieders verantwoordelijkheid.

Om dit te faciliteren, bevelen we aan om samen met de overheden en in nauw contact met perceeleigenaren, een gebiedsgerichte en toekomstgerichte analyse te maken van de bebouwing, bodem, grondwatersysteem, oppervlaktewatersysteem. Deze gebiedsgerichte aanpak is nodig, omdat we hebben opgemerkt dat de GLG volgens het grondwatermodel in de huidige situatie bij circa de helft van de locaties al reikt tot een slappe bodemlaag onder de fundering. Mogelijk is er in de huidige situatie dus ook al kans op schade als gevolg van het droogvallen van slappe bodemlagen. Ook bevelen we aan om een gezamenlijk monitoringsplan inclusief handelingsperspectief op te stellen (zie boven).

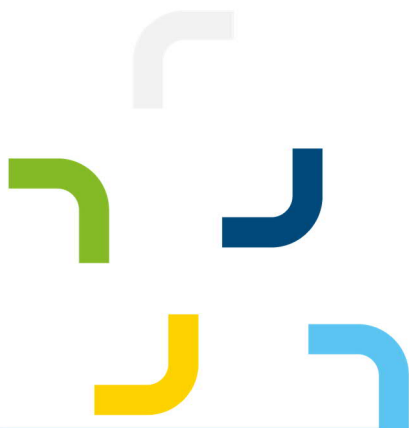


## **Bijlage 1 Quicksan zettingsrisico drinkwaterwinning Hammerflier (Aveco de Bondt, 2022)**



# Quickscan zettingsrisico drinkwaterwinning Hammerfliet

Concept





# Rapport

**Aveco de Bondt BV**

Holten - Amstelveen - Breda - Eindhoven - Nieuwegein

Postbus 64, 7450 AB Holten

T +31 88 004 82 12

[info@avecodebondt.nl](mailto:info@avecodebondt.nl)

[avecodebondt.nl](http://avecodebondt.nl)

---

**project** Beoordeling effecten drinkerwinning Hammerfliet  
**projectnummer** 222214  
**projectleider** Wouter Kooijman

**datum** 11 oktober 2022  
**referentie** 222214\_AdB\_RAP\_0001\_v1

**opdrachtgever** Vitens N.V.  
**postadres** Postbus 1205  
8001 BE ZWOLLE

**contactpersoon**

**status** Concept  
**auteur** Sjoerd Wester

**paraaf**   
**gecontroleerd** Wouter Kooijman en Maarten Kuiper



## Inhoudsopgave

|          |   |          |
|----------|---|----------|
| <b>1</b> | <b>Inleiding</b>                          | <b>5</b> |
| 1.1      | Aanleiding en doel                        | 5        |
| 1.2      | Aanpak                                    | 5        |
| 1.2.1    | Schademechanismen                         | 5        |
| 1.2.2    | Grondwaterstand                           | 5        |
| 1.2.3    | Bodemopbouw                               | 6        |
| 1.2.4    | Funderingen                               | 6        |
| <b>2</b> | <b>Resultaten</b>                         | <b>7</b> |
| 2.1      | Dichtheid boringen en sonderingen         | 7        |
| 2.2      | Aanwezigheid slappe bodemlagen            | 7        |
| 2.3      | Risico op droogvallende slappe bodemlagen | 7        |
| 2.4      | Ouderdom bebouwing                        | 7        |
| <b>3</b> | <b>Conclusie en advies</b>                | <b>8</b> |
| 3.1      | Conclusie                                 | 8        |
| 3.2      | Advies                                    | 8        |

### Bijlagen

Bijlage 1 – Overzichtskaart boringen en sonderingen

Bijlage 2 – Overzichtskaart slappe bodemlagen in ondiepe bodem

Bijlage 3 – Overzichtskaart risico droogvallen slappe bodemlagen binnen invloedcontouren

Bijlage 4 – Overzichtskaart bouwjaar panden

Bijlage 5 – Memo toetsingsmethodiek grondwaterstand (Kenmerk: 222214\_AdB\_MEM\_0002\_v1)

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en doel

Aveco de Bondt voert in opdracht van Vitens een studie uit naar de zettingsrisico's als gevolg van de uitbreiding van drinkwaterwinning Hammerflier. Het doel van het onderzoek is het in beeld brengen van de panden waar schade kan ontstaan. In dit rapport presenteren we de eerste resultaten aan de hand van GIS-kaarten. Daarnaast laten we zien tot welke risico indeling we zijn gekomen en doen we een aanbeveling voor aanvullend onderzoek.

## 1.2 Aanpak

Er zijn veel verschillende oorzaken die kunnen leiden tot schade aan woningen en funderingen. In dit onderzoek focussen we op de schademechanismen die relatie hebben met grondwaterstandverlaging als gevolg van uitbreiding van de drinkwaterwinning. Kans op schade aan bebouwing ontstaat wanneer de EN-EN-EN analyse van toepassing is:

- De grondwaterstand daalt EN
- De grondwaterstanddaling plaatsvindt in het dieptetraject van slappe bodemlagen EN
- De slappe bodemlagen aanwezig zijn onder de fundering EN
- Het een fundering zonder palen betreft EN
- De woning ongelijkmatig (scheef) zakt EN
- De stevigheid van het gebouw onvoldoende is (bijvoorbeeld metselwerk i.p.v. beton)

Om te bepalen of er een risico is, beschouwen we daarom grondwaterstand, bodemopbouw en funderingen.

### 1.2.1 Schademechanismen

We onderscheiden twee categorieën schademechanismen als gevolg van daling van de grondwaterstand:

- Zetting als gevolg van afnemende waterspanning in de ondergrond
- Krimp / veenoxidatie

In ons eerdere rapport (Kenmerk: 206171\_R\_0347) hebben we toegelicht dat zetting als gevolg van afnemende waterspanning door uitbreiding van de drinkwaterwinning Hammerflier geen risico geeft op schade aan bebouwing. Na het uitbrengen van het rapport zijn aanvullend sonderingen (van Wiertsema) beschikbaar gekomen waarmee de diepe bodemopbouw in kaart is gebracht. Uit de sonderingen blijkt dat er een dikkere kleilaag op diepte aanwezig is. We hebben daarom oriënterende berekeningen uitgevoerd waaruit blijkt dat er zettingen zijn te verwachten uit deze laag. Echter, gezien de grote diepte wordt verwacht dat dit niet leidt tot ongelijke zettingen aan maaiveld. Geadviseerd wordt om dit nog wel nader uit te werken.

Krimp treedt op bij afname van het watergehalte in een slappe bodemlaag. Oxidatie treedt specifiek op beide veenlagen waarbij onder werking van zuurstof afbraak van organisch materiaal optreedt. Beide mechanismen vinden plaats wanneer de grondwaterstand uitzakt. Het droogvallen van slappe bodemlagen met schade aan panden tot gevolg is mogelijk een risico bij uitbreiding van de drinkwaterwinning. In deze memo gaan we verder in op dit risico.

### 1.2.2 Grondwaterstand

Een daling van de lage grondwaterstanden in de bodemlagen van de funderingen vormt de aanleiding voor dit onderzoek. In onze eerder opgestelde memo (Kenmerk: 222214\_AdB\_MEM\_0002\_v1) hebben we uitgebreid beschreven hoe we de beschikbare grondwatergegevens interpreteren en gebruiken in dit onderzoek. In dit rapport gaan we daarom niet verder in op de grondwatergegevens. De memo over de toetsingsmethodiek van de grondwaterstand is opgenomen in [bijlage 5](#).



### 1.2.3 Bodemopbouw

Onder slappe bodemlagen verstaan we klei-, leem- en veenlagen. Om het risico in beeld te brengen focussen we op de ondiepe bodemopbouw. We gebruiken daarvoor drie bronnen, namelijk:

- Boringen Dinoloket (TNO)
- Sonderingen Wiertsema (Verbreiding laagpakket van Zutphen waterwingebied Hammerfliet, december 2021)
- Grondboringen Aequator (Verkenning Bodem- en grondwatersituatie rondom drinkwaterwinning Hammerfliet met landbouwkundige interpretatie, december 2021)

We merken op dat de nauwkeurigheid van deze gegevensbronnen verschilt.

#### **Boringen Dinoloket**

Voor de boringen uit Dinoloket hebben we niet kunnen vaststellen wanneer deze boringen zijn uitgevoerd, door welke partij de boringen zijn uitgevoerd en welke methode is gebruikt. Wanneer een boring dieper dan 4 meter of ondieper dan 3 meter is geplaatst, biedt deze boring geen zekerheid over het risico op droogvallende slappe bodemlagen. Wanneer in deze boringen geen slappe bodemlagen zijn aangetroffen, zijn deze boringen daarom niet meegenomen in de analyse.

Boringen dieper dan 4 meter zijn namelijk veelal mechanisch uitgevoerd waardoor het lastig is om ondiepe slappe bodemlagen van elke decimeters te classificeren. Boringen ondieper dan 3 meter geven geen uitsluitel, omdat er in het traject tussen 3 en 4 meter ook slappe bodemlagen kunnen voorkomen en kunnen droogvallen. Wanneer er wel slappe bodemlagen zijn aangetroffen in de ondiepe en diepe boringen is dit wel meegenomen in de analyse. Voor de classificatie van de slappe bodemlagen hebben we ons gebaseerd op de boorprofielen uit Dinoloket.

#### **Sonderingen Wiertsema**

Voor de sonderingen van Wiertsema geldt dat deze zijn uitgevoerd voor het classificeren van diepere weerstand biedende lagen uit het laagpakket van Zutphen. De nauwkeurigheid voor de ondiepe lagen (boven de grondwaterstand) zal daarom wellicht wat lager zijn, maar alsnog bieden deze sonderingen aanvullend inzicht op de andere twee bronnen. Uit de interpretatie van de sonderingen volgt namelijk ook dat ondiepe slappe bodemlagen wel zijn geclassificeerd. De slappe bodemlagen in de sonderingen zijn geclassificeerd door een geotechnisch adviseur.

#### **Grondboringen Aequator**

De grondboringen van Aequator zijn geplaatst voor landbouwkundige doeleinden. De bodemopbouw is dan ook voor dit doeleinde geclassificeerd. Een deel van de boringen is minder diep uitgevoerd en daarom niet meegenomen in de analyse. De overgebleven boringen bieden nuttige informatie, omdat de gelaagdheid van de ondiepe bodem met grote precisie is vastgelegd. We hebben een bodemlaag als slappe bodemlaag geclassificeerd als deze voldoet aan tenminste één van de volgende punten:

- Organic matter > 10%
- Clay content > 15%
- Opmerkingveld bevat het woord 'Hammerflietlaag'

### 1.2.4 Funderingen

Voor het classificeren van de kwetsbaarheid van panden maken we gebruik van de ouderdom van bebouwing. Deze eigenschap van de panden is openbaar beschikbaar. De fundering maakt of een pand kwetsbaar is voor zetting. Daarom hebben we het jaar 1980 voorlopig als scheidslijn gekozen voor de kwetsbaarheid van bebouwing. Panden die na 1980 zijn gebouwd hebben over het algemeen een betonnen fundering. Dit type fundering is beter in staat om ongelijkmatige bodemdaling op te vangen dan bijvoorbeeld een gemetselde fundering. Daarnaast is het bij meer recente gebouwen gebruikelijk om grondonderzoek uit te voeren voordat een pand gebouwd werd. Een slappe bodemlaag in grondonderzoek is aanleiding om grondverbetering toe te passen waardoor het risico op ongelijkmatige zetting verder afneemt.



## 2 Resultaten

### 2.1 Dichtheid boringen en sonderingen

In [bijlage 1](#) hebben we een overzichtskaart opgenomen van alle boringen en sonderingen die beschikbaar waren voor dit onderzoek. Op de kaart is te zien dat de boringen en sonderingen een hoge dichtheid hebben. We merken op dat de kwaliteitscontroles, zoals beschreven in de vorige paragraaf, nog niet zijn verwerkt in deze kaart.

### 2.2 Aanwezigheid slappe bodemlagen

In [bijlage 2](#) hebben we op een overzichtskaart weergegeven in welke boringen en sonderingen slappe bodemlagen zijn aangetroffen tussen 1 meter minus maaiveld (m – mv) en 5 m – mv. Slappe bodemlagen die zich in de bovenste meter bevinden zijn eerder al drooggevallen en aangenomen wordt dat voor realisatie van funderingen van bebouwing de bodem tot minimaal 1 meter is afgegraven. Een uitbreiding van de winning zal dan ook niet zorgen voor aanvullende zetting in deze lagen. Slappe bodemlagen onder de 5 m – mv zullen niet droogvallen, omdat deze diep genoeg onder maaiveld liggen. In [bijlage 2](#) hebben we tevens de boringen aangegeven die niet diep genoeg zijn om een sluitende uitspraak te doen over het droogvallen van slappe bodemlagen. De boordiepte is hier ondieper dan de GLG plus verlaging en toegewezen marge. De kaart laat zien dat de slappe bodemlagen verspreid zijn over het gebied en er geen patroon is te herkennen. Verder toont de kaart dat er nog veel Dinoloket boringen zijn overgebleven in de analyse. Veel Dinoloket boringen in dit gebied zijn namelijk doorgezet tot precies 4 m – mv.

### 2.3 Risico op droogvallende slappe bodemlagen

In [bijlage 3](#) hebben we op een overzichtskaart weergegeven waar er een risico bestaat op het droogvallen van slappe bodemlagen als gevolg van de uitbreiding van de winning. Voor deze kaart zijn alleen de boringen en sonderingen opgenomen die diep genoeg zijn doorgezet en die binnen de invloedcontour van de winning liggen. De kaart laat zien dat er binnen de 5, 10 en 25 centimeter contourlijn risico is op droogvallende slappe bodemlagen.

### 2.4 Ouderdom bebouwing

In [bijlage 4](#) hebben we de ouderdom van de bebouwing binnen het gebied weergegeven. De panden zijn gecategoriseerd in twee groepen: voor 1980 gebouwd en na 1980 gebouwd. De kaart laat zien dat binnen de invloedcontouren panden voor en na 1980 aanwezig zijn. Het beeld is diffuus, met uitzondering van de woonwijken in Vroomshoop en Den Ham.





## 3 Conclusie en advies

### 3.1 Conclusie

De kaartbeelden tonen een diffuus beeld. Panden bij een boring met een slappe bodemlaag die kan droogvallen bestaan naast panden bij een boring met een volledig zandig profiel. Voor een deel van de panden in het gebied geldt daarom dat de drinkwaterwinning niet tot schade zal leiden. Maar tegelijkertijd geldt ook dat er zonder maatregelen kans bestaat op schade aan bebouwing bij uitbreiding van de drinkwaterwinning. Hoe groot die kans is, is op basis van de beschikbare gegevens niet te kwantificeren.

Het beeld van bodemopbouw en ouderdom bebouwing is wisselend waardoor we op basis van deze kenmerken geen ruimtelijk onderscheid kunnen maken in het risico op schade aan bebouwing. De grondwaterstandverlaging laat wel een duidelijke variatie zien. Daarnaast weten we dat naarmate de grondwaterstandverlaging groter wordt, de kans op een grondwaterstandverlaging in het dieptetraject van een slappe bodemlaag toeneemt. De grootste kans op schade is dus daar waar de grondwaterstandverlaging het grootst is.

### 3.2 Advies

Het vergt maatwerk om voor alle woningen in de nabijheid van de drinkwaterwinning de kans op schade te beoordelen. Deze inspanning vraagt dan ook hoge onderzoekskosten die we vooralsnog niet doelmatig achten. Daarom adviseren we een gefaseerde aanpak toe te passen waarbij de focus in eerste instantie ligt op de panden in het gebied met de grootste verwachte verlaging van de GLG. We adviseren daarvoor het gebied binnen de 25 centimeter invloedcontour en net daarbuiten (straal van 100 meter) te selecteren.

#### **Archiefonderzoek funderingen**

Uit een inventariserende analyse blijkt dat er binnen dit zoekgebied circa 40 adressen met in totaal circa 150 opstallen vallen (zeer grove inschatting o.b.v. BAG). Gezien deze omvang stellen we voor om het bouwarchief van de gemeente te bezoeken en informatie over de funderingen van alle opstallen binnen het zoekgebied te achterhalen. Het gaat dan om diepte, type en materiaal van de fundering.

#### **Bodemkundig veldwerk**

Daarnaast stellen we voor om bij elk hoofdgebouw van de 40 adressen meer informatie in te winnen over de bodemopbouw doormiddel van grondboringen. Afhankelijk van de beschikbare tijd, middelen en gewenst uitwerkingsniveau kan een keuze worden gemaakt voor een minimale- of plus variant.

##### *Minimale variant bodemkundig veldwerk*

Het advies voor het bodemkundig veldwerk in de minimale variant bestaat uit:

- 2 grondboringen tot circa 4 m – mv bij de “hoofd” gebouwen van de circa 40 adressen (circa 80 boringen totaal)
- Plaatsen van één peilbuis in een boorgat bij de “hoofd” gebouwen van de circa 40 adressen
- Periodiek een handmatige meting van de grondwaterstand uitvoeren in de peilbuizen bij de panden
- Een gebiedsdekkend grondwatermeetnet inrichten waar uurlijks de grondwaterstand gemeten wordt

##### *Plus variant bodemkundig veldwerk*

Het advies voor het bodemkundig veldwerk in de plus variant bestaat uit:

- 4 grondboringen tot circa 4 m – mv bij de “hoofd” gebouwen van de circa 40 adressen (circa 160 boringen totaal)
- Geotechnisch laboratoriumonderzoek uitvoeren op monsters van de aangetroffen slappe bodemlagen
- Plaatsen van één peilbuis in een boorgat bij de “hoofd” gebouwen van de circa 40 adressen
- Periodiek een handmatige meting van de grondwaterstand uitvoeren in de peilbuizen bij de panden
- Een gebiedsdekkend grondwatermeetnet inrichten waar uurlijks de grondwaterstand gemeten wordt



#### *Afweging Minimale Variant en Plus Variant bodemkundig veldwerk*

De Minimale Variant stelt Vitens in staat om een kwalitatief antwoord (JA / NEE) te geven op de vraag of uitbreiding van de drinkwaterwinning een risico op schade aan bebouwing binnen het gekozen zoekgebied oplevert. Met de Plus Variant kunnen we dit antwoord meer kwantitatief maken.

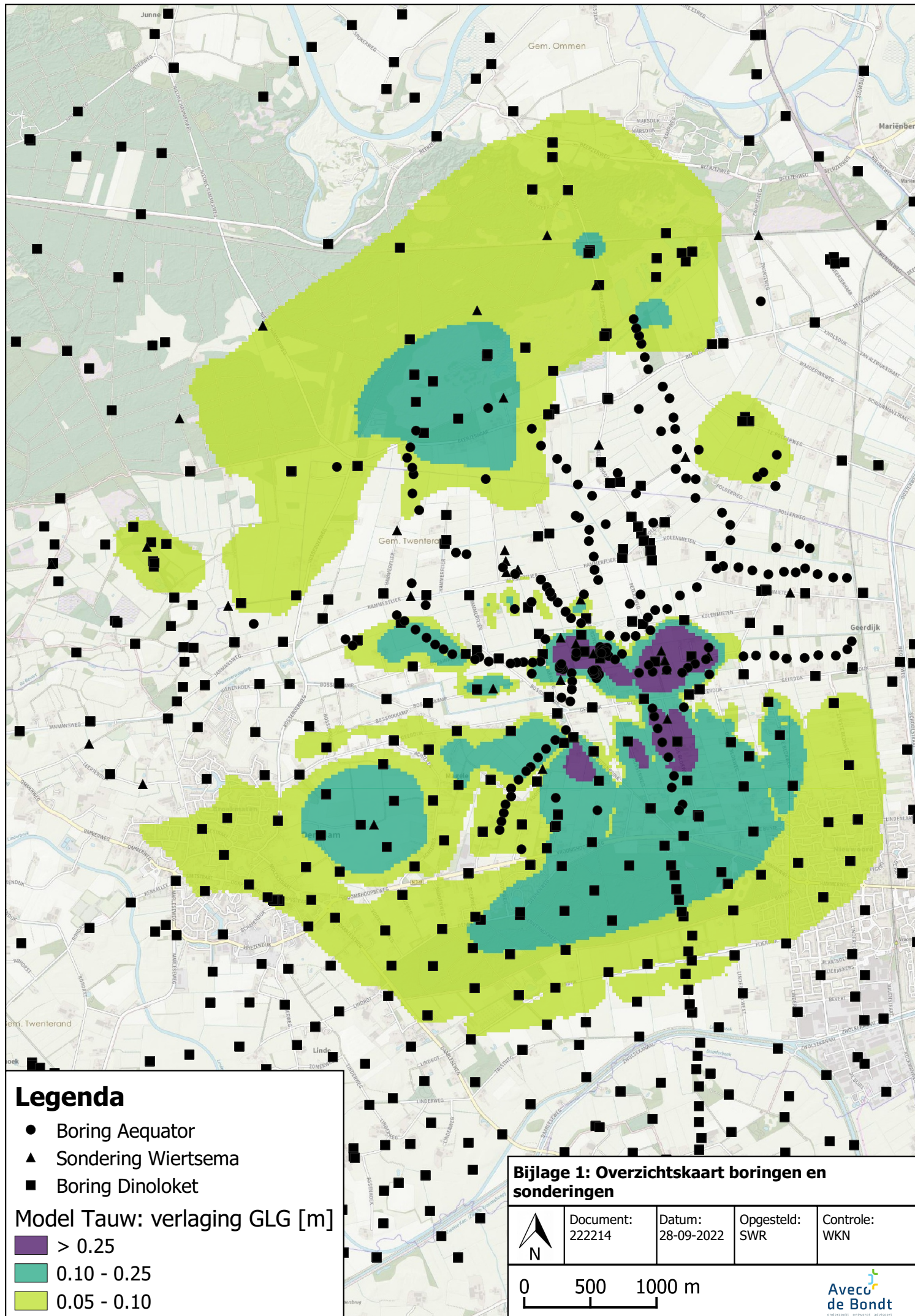
Het voordeel van de Minimale Variant is dat het proces stap voor stap wordt doorlopen en er geen onnodige kosten worden gemaakt. We werken doelmatig naar het antwoord toe. Het nadeel is dat we binnen deze variant geen informatie verzamelen over de zettingsgevoeligheid van de slappe bodemlagen met als gevolg dat een grondwaterstanddaling in het traject van een slappe bodemlaag onder een fundering in alle gevallen een risico geeft op schade aan de bebouwing. In werkelijkheid kan het echter zo zijn dat een deel van de slappe bodemlagen weinig zettingsgevoelig is en het risico in werkelijkheid dus kleiner is.

Met de Plus Variant zijn we in staat het proces te versnellen en een duidelijker beeld te geven van de risico's voor de bebouwing. De doorlooptijd van deze variant is wel langer en de kosten zijn hoger.

#### **EN-EN-EN analyse op pand niveau**

Met de aanvullende gegevens die we verzamelen in de volgende stap maken we de EN-EN-EN analyse. De gegevens over funderingen, grondwaterstandverlaging en bodemopbouw bundelen we per pand binnen het zoekgebied, zodat we per pand een risico inschatting kunnen maken. Het gebiedsdekkende risico dat volgt uit deze inventarisatie dient vervolgens twee doeleinden:

- Vitens kan een (extra) beslismoment inrichten om de plannen voor de winning wel of niet door te zetten
- We kunnen adviseren over de noodzaak om nader onderzoek te doen in een grotere straal rondom de winning



### Legenda

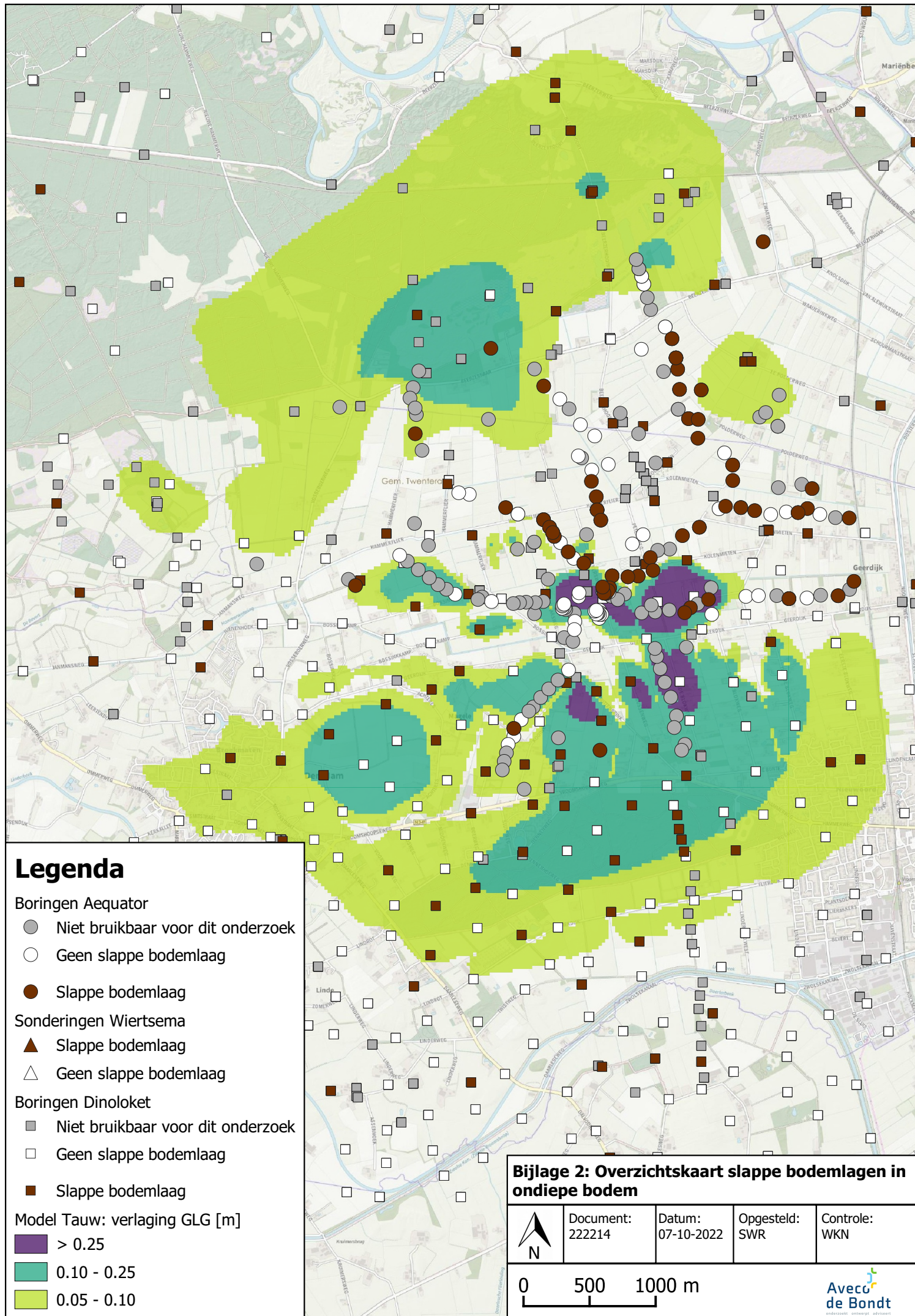
- Boring Aequator
- ▲ Sondering Wiertsema
- Boring Dinoloket

Model Tauw: verlaging GLG [m]

- > 0.25
- 0.10 - 0.25
- 0.05 - 0.10

### Bijlage 1: Overzichtskaart boringen en sonderingen

|  |                     |                      |                   |                  |
|--|---------------------|----------------------|-------------------|------------------|
|  | Document:<br>222214 | Datum:<br>28-09-2022 | Opgesteld:<br>SWR | Controle:<br>WKN |
|  |                     |                      |                   |                  |



## Legenda

### Boringen Aequator

- Niet bruikbaar voor dit onderzoek
- Geen slappe bodemlaag
- Slappe bodemlaag

### Sonderingen Wiertsema

- ▲ Slappe bodemlaag
- △ Geen slappe bodemlaag

### Boringen Dinoloket

- Niet bruikbaar voor dit onderzoek
- Geen slappe bodemlaag
- Slappe bodemlaag

### Model Tauw: verlaging GLG [m]

- > 0.25
- 0.10 - 0.25
- 0.05 - 0.10

## Bijlage 2: Overzichtskaart slappe bodemlagen in ondiepe bodem



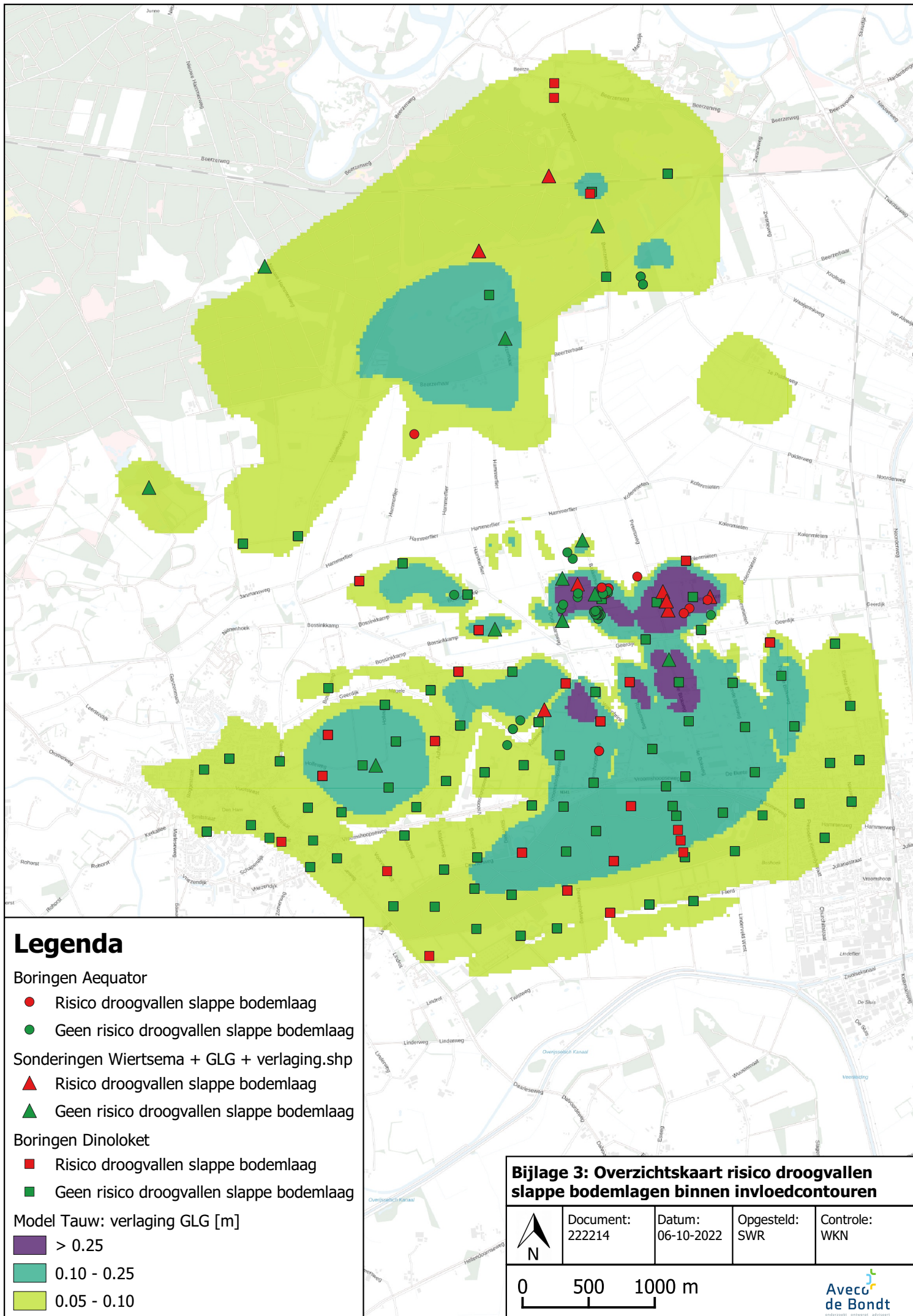
Document:  
222214

Datum:  
07-10-2022

Opgesteld:  
SWR

Controle:  
WKN

0 500 1000 m



## Legenda

### Boringen Aequator

- Risico droogvallen slappe bodemlaag
- Geen risico droogvallen slappe bodemlaag

### Sonderingen Wiertsema + GLG + verlaging.shp

- ▲ Risico droogvallen slappe bodemlaag
- ▲ Geen risico droogvallen slappe bodemlaag

### Boringen Dinoloket

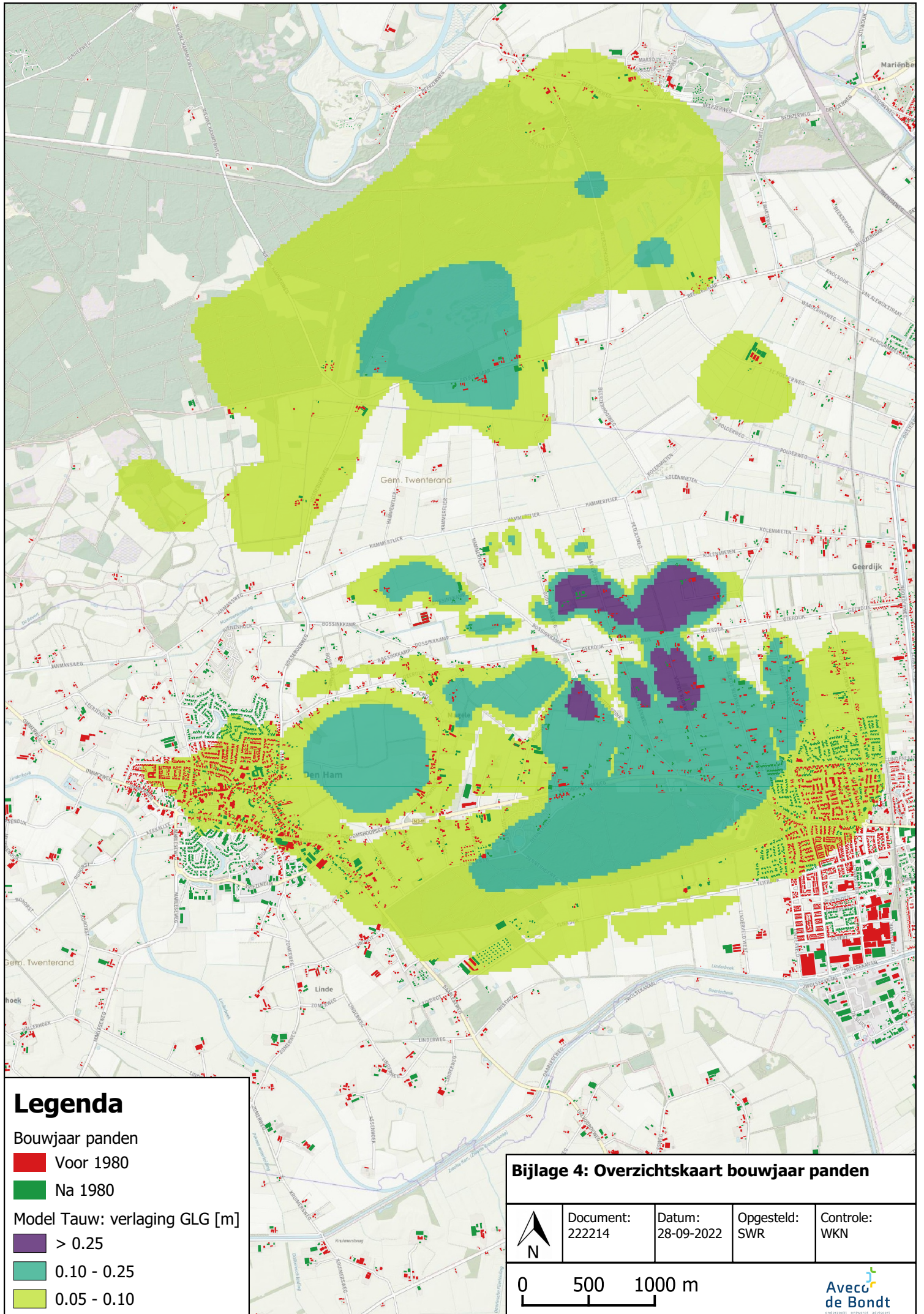
- Risico droogvallen slappe bodemlaag
- Geen risico droogvallen slappe bodemlaag

### Model Tauw: verlaging GLG [m]

- > 0.25
- 0.10 - 0.25
- 0.05 - 0.10

## Bijlage 3: Overzichtskaart risico droogvallen slappe bodemlagen binnen invloedcontouren

|  |                     |                      |                   |                  |
|--|---------------------|----------------------|-------------------|------------------|
|  | Document:<br>222214 | Datum:<br>06-10-2022 | Opgesteld:<br>SWR | Controle:<br>WKN |
|  |                     |                      |                   |                  |



### Legenda


Bouwjaar panden

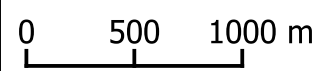
- Voor 1980
- Na 1980

Model Tauw: verlaging GLG [m]

- > 0.25
- 0.10 - 0.25
- 0.05 - 0.10

### Bijlage 4: Overzichtskaart bouwjaar panden

|  |                     |                      |                   |                  |
|--|---------------------|----------------------|-------------------|------------------|
| <br>N | Document:<br>222214 | Datum:<br>28-09-2022 | Opgesteld:<br>SWR | Controle:<br>WKN |
|--|---------------------|----------------------|-------------------|------------------|





## **Bijlage 5 Memo toetsingsmethodiek grondwaterstand**

---

## Memo

|                           |   |                      |                        |
|---------------------------|---|----------------------|------------------------|
| <b>project</b>            | Beoordeling effecten drinkerwinning Hammerfliet | <b>datum</b>         | 3 oktober 2022         |
| <b>onderwerp</b>          | Toetsingsmethodiek grondwaterstand              | <b>referentie</b>    | 222214_AdB_MEM_0002_v1 |
| <b>bestemd voor</b>       | Vitens N.V.                                     | <b>projectnummer</b> | 222214                 |
| <b>ter attentie van</b>   | Gerrit Kuper                                    |                      |                        |
| <b>opgesteld door</b>     | Sjoerd Wester                                   |                      |                        |
| <b>gecontroleerd door</b> | Wouter Kooijman en Maarten Kuiper               |                      |                        |

---

### Aanleiding

Aveco de Bondt voert in opdracht van Vitens een studie uit naar de zettingsrisico's als gevolg van de uitbreiding van drinkwaterwinning Hammerfliet. In deze studie worden grondwaterstand, bodemopbouw en bebouwing beschouwd om het risico te duiden. Voor het grondwater maakt Aveco de Bondt gebruik van de modelresultaten van Tauw. Op basis van de uitkomsten van dit model stelt Aveco de Bondt een toetsingsmethodiek vast. In deze memo beschrijven we de toetsingsmethodiek: hoe de grondwatersituatie in de huidige situatie (1,6 miljoen m<sup>3</sup>/jaar winning, gelimiteerd wateraanvoerstelsel) wordt vergeleken met de grondwatersituatie in de toekomstige situatie (5 miljoen m<sup>3</sup>/jaar winning, volledig wateraanvoerstelsel).

### Toetsingsmethodiek

Het grondwatermodel (Tauw 2022) levert gebiedsdekkende waarden voor de GLG in de situatie na uitbreiding van de winning (5 miljoen m<sup>3</sup>/jaar, volledig wateraanvoerstelsel), berekend over de modelperiode 2003 t/m 2010. Het simpelweg vergelijken van beide GLG waarden is geen geschikte methode, omdat er onzekerheid zit in de GLG bepaling en het vergelijken van 2 waarden een te simplistische benadering is omdat we niet exact weten bij welke frequentie van droogvallen van slappe bodemlagen het risico op bodemdaling significant is. We vergelijken daarom een bandbreedte van de grondwaterstand voor uitbreiding van de winning met een bandbreedte van de grondwaterstand na de uitbreiding van de winning ([bijlage 1](#)). De GLG waarden uit het grondwatermodel dienen daarbij als basis. De grenzen van de bandbreedtes berekenen we door te verdisconteren voor 3 elementen:

1. Modelonzekerheid
2. Verschil GLG en laagste grondwaterstand
3. Modelperiode (2003 – 2010)

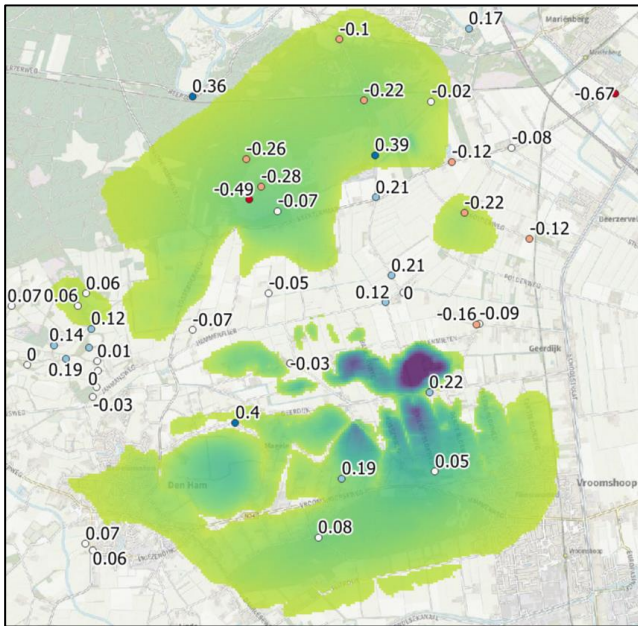
Er is sprake van een risico op bodemdaling wanneer de bandbreedte verschuift over de diepteligging van een slappe bodemlaag. In [bijlage 1](#) is een nadere toelichting opgenomen.

### Modelonzekerheid

In figuur 1 is het verschil tussen model en metingen weergegeven voor de freatische grondwaterstanden. Op basis van deze figuur hebben we de modelonzekerheid vastgesteld. Voor de zuidelijke invloedcontour houden we rekening met een overschatting van de het model van 20 centimeter. In deze contour zien we namelijk alleen overschattingen van het model en op twee locaties binnen de contour is deze overschatting vrijwel gelijk aan 20 centimeter. De ondergrens van de bandbreedte van de grondwaterstand verlagen we daarom met 20 centimeter. De bovengrens verandert niet als gevolg van de modelonzekerheid.

Binnen de noordelijke invloedcontour zijn voornamelijk onderschattingen van het model te zien. Op basis van de figuur houden we ook hier rekening met 20 centimeter modelonzekerheid, maar in dit geval voor zowel de onder- als bovengrens. De bovengrens verhogen we met 20 centimeter en de ondergrens verlagen we met 20 centimeter.





**Figuur 1:** Verschil tussen grondwatermodel (Tauw 2022) en metingen in het freatisch pakket (modellaag 2). Een positief getal betekent dat het model de grondwaterstand overschat. Een negatief getal betekent dat het model de grondwaterstand onderschat. Met groen/blauw is de verlaging van het grondwater weergegeven. De rand van de contour is de 5 cm invloedcontour.

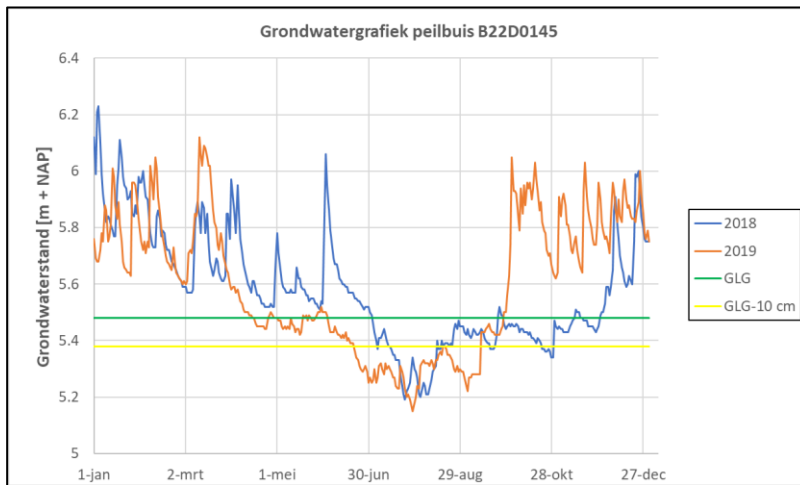
#### Verschil GLG en laagste grondwaterstand

Het gedrag van een slappe bodemlaag bij droogvallen is met de huidige wetenschap nauwelijks te voorspellen. Onbekend is na welke tijdsduur permanente maaiveld daling optreedt. Doorgaans is één dag droogvallen niet zorgwekkend (tenzij sprake is van een zeer humeuze veenlaag), een paar weken is dat wel. In onze studie gebruiken we de GLG als basis voor lage grondwaterstanden. De GLG benaderen we doormiddel van het berekenen van de 10<sup>e</sup> percentielwaarde van de grondwaterstand over de periode 2010 t/m 2019. Uit deze benadering van de GLG volgt dat de GLG in een gemiddeld jaar 36 dagen (365 / 10) wordt overschreden. In een (extrem) droog jaar kan dat langer dan 100 dagen zijn (tabel 1).

Aangezien het droogvallen van een slappe bodemlaag problematisch wordt vanaf grofweg een paar weken, moeten we niet uitgaan van de laagste grondwaterstand, maar ook niet van de GLG. De GLG kan immers al meer dan 100 dagen worden overschreden en is daarmee dan te hoog gekozen. Tabel 1 en figuur 2 geven een beeld van het verschil tussen GLG en laagste grondwaterstand voor het gebied rond Hammerflieer. Gemiddeld genomen is het verschil tussen de 20 cm en 30 cm. Alle informatie afwegende verdisconteren we dit element met 10 cm om tot de ondergrens van de bandbreedte te komen.

**Tabel 1:** Statistieken grondwatermetingen per peilbuis

| Peilbuis | Maaiveld [m + NAP] | Bovenkant filter [m – mv] | GLG [m + NAP] | Minimale Grondwaterstand [m + NAP] | Verschil GLG en minimale grondwaterstand [m] | Onderschrijding GLG in 2019 [dagen] |
|----------|--------------------|---------------------------|---------------|------------------------------------|--|-------------------------------------|
| B22D0089 | 7,31               | 8,0                       | 5,69          | 5,42                               | 0,27   | 145                                 |
| B28B0108 | 7,11               | 0,9                       | 5,65          | 5,45                               | 0,20   | 92                                  |
| B28B0108 | 7,11               | 6,9                       | 5,67          | 5,43                               | 0,24   | 78                                  |
| B22D0145 | 7,02               | 8,0                       | 5,48          | 5,15                               | 0,33   | 141                                 |
| B28B0127 | 7,80               | 7,0                       | 6,13          | 5,94                               | 0,19   | 97                                  |
| B28B0125 | 7,54               | 7,0                       | 5,80          | 5,54                               | 0,26   | 111                                 |
| B27B1201 | 7,19               | 7,5                       | 6,12          | 5,84                               | 0,28   | 117                                 |
| B28B0129 | 8,28               | 7,0                       | 6,27          | 5,97                               | 0,30   | 112                                 |



Figuur 2: Grondwatergrafiek peilbuis B22D0145 + GLG

#### Modelperiode

Het grondwatermodel heeft de grondwaterstanden gesimuleerd met de neerslag- en verdampingsdata uit de periode 2003 t/m 2010. Deze inputreeksen zijn daarmee gemiddeld zo'n 10 tot 20 jaar oud. Het is bekend dat door klimaatverandering de lage grondwaterstanden lager worden. We verwachten daarom dat met de gebruikte modelperiode de GLG voor de huidige situatie wordt overschat. Deze veronderstelling kunnen we niet toetsen met grondwatermetingen, omdat er vanaf 2006 uurlijkse data beschikbaar is. Wel zijn er andere gegevens die we kunnen raadplegen:

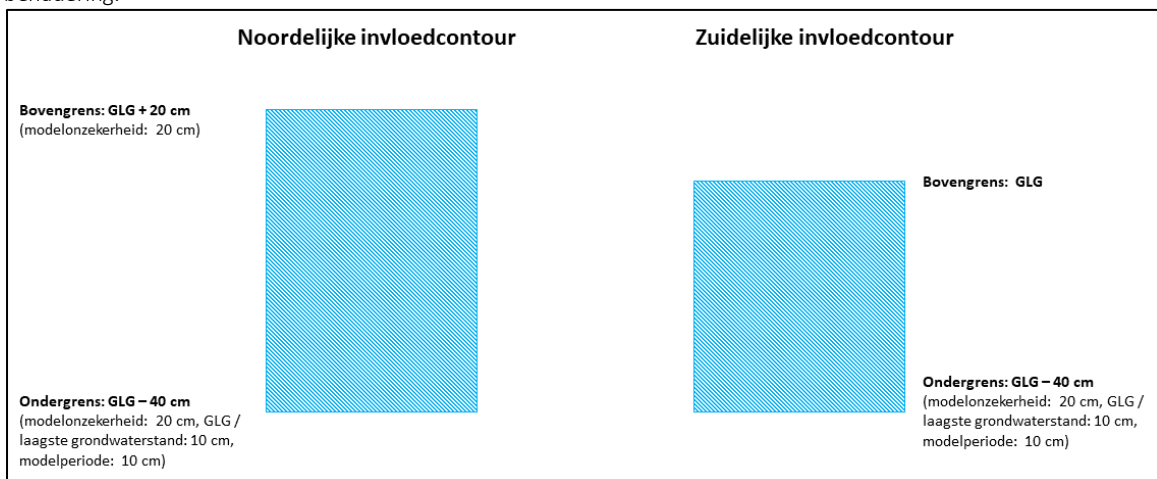
- GLG 2016 t/m 2019 t.o.v. GLG 2006 t/m 2009 is 5 tot 25 centimeter lager
- Netto neerslag (KNMI stations Almelo, Twenthe) over 2010 t/m 2020 is 23% lager dan over 2003 t/m 2010
- Grondwatermodel Almelo: Grondwaterstand is 5 tot 15 centimeter hoger voor modelperiode 2001 t/m 2011 dan over 2011 t/m 2020 (Aveco de Bondt, 2021)

Op basis van deze gegevens verlagen we de ondergrens van de bandbreedte met nog eens 10 centimeter.

#### Conclusie

Voor het toetsen van de grondwaterstanden aan de bodemopbouw en funderingsniveaus maken we gebruik van bandbreedtes van de grondwaterstand, voor en na de uitbreiding van de winning. We maken daarbij onderscheid tussen de noordelijke en de zuidelijke invloedcontour. Voor de noordelijke invloedcontour werken we met een bandbreedte van 60 centimeter. Voor de zuidelijke invloedcontour met een bandbreedte van 40 centimeter. Dit is weergegeven in figuur 3.

Hierbij wordt opgemerkt dat deze bandbreedte een realistische inschatting betreft. Het is dus geen worst-case of best-case benadering.



Figuur 3: Bandbreedtes grondwaterstand



## Bijlagen

Bijlage 1 – Visualisatie toetsingsmethodiek



## Bijlage 1 – Visualisatie toetsingmethodiek

## Legenda

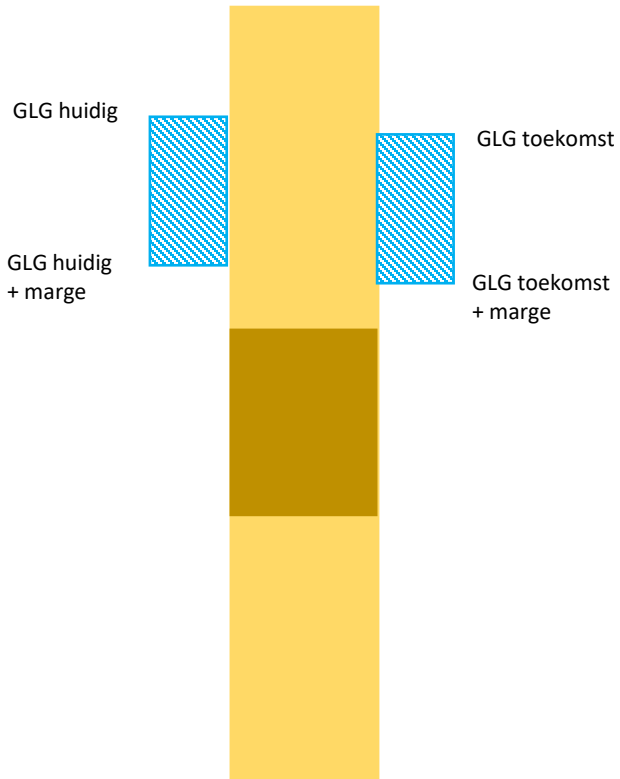
- Zand
- Slappe bodemlaag
- Bandbreedte grondwaterstand

## Rekenregels

- GLG toekomst < bovenkant slappe bodem EN GLG huidig > onderkant slappe bodem
- GLG toekomst + marge < bovenkant slappe bodem EN GLG huidig + marge > onderkant slappe bodem
- GLG huidig > bovenkant slappe bodem EN GLG huidig + marge < onderkant slappe bodem

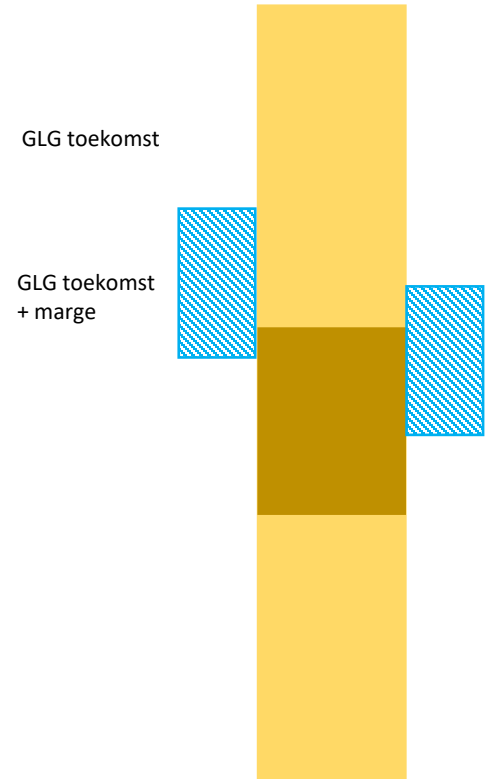
Wanneer 1 of meer van de rekenregels van toepassing is, is er een risico op een droogvallende slappe bodemlaag

### Voorbeeld 1



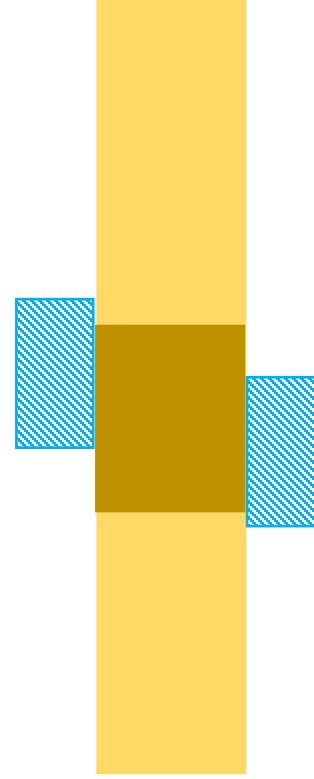
Rekenregel 1: geen risico  
Rekenregel 2: geen risico  
Rekenregel 3: geen risico  
Beoordeling: **geen risico**

### Voorbeeld 2



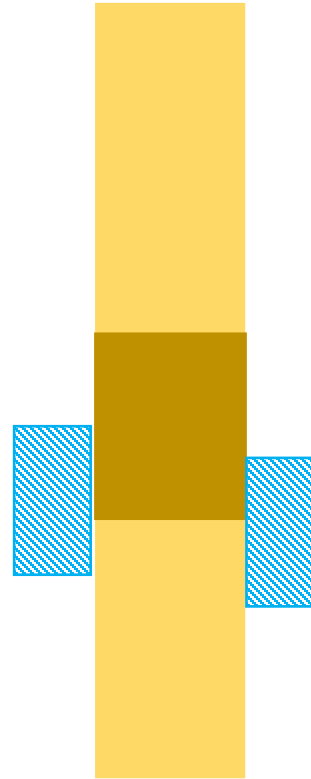
Rekenregel 1: geen risico  
Rekenregel 2: risico  
Rekenregel 3: geen risico  
Beoordeling: **risico**

### Voorbeeld 3



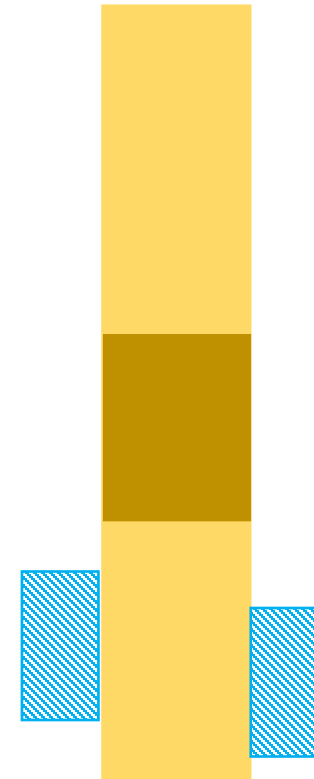
Rekenregel 1: risico  
Rekenregel 2: risico  
Rekenregel 3: geen risico  
Beoordeling: **risico**

### Voorbeeld 4



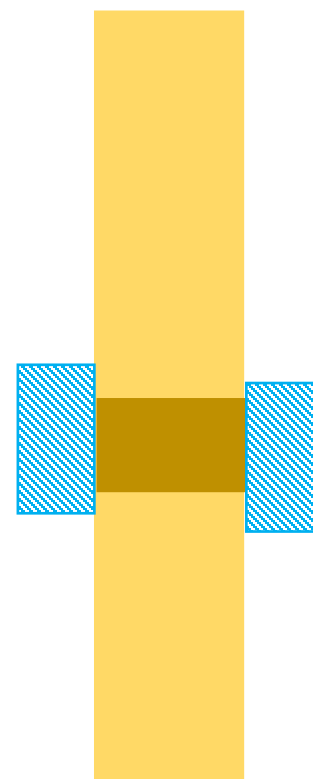
Rekenregel 1: risico  
Rekenregel 2: geen risico  
Rekenregel 3: geen risico  
Beoordeling: **risico**

### Voorbeeld 5



Rekenregel 1: geen risico  
Rekenregel 2: geen risico  
Rekenregel 3: geen risico  
Beoordeling: **geen risico**

### Voorbeeld 6



Rekenregel 1: geen risico  
Rekenregel 2: geen risico  
Rekenregel 3: risico  
Beoordeling: **risico**

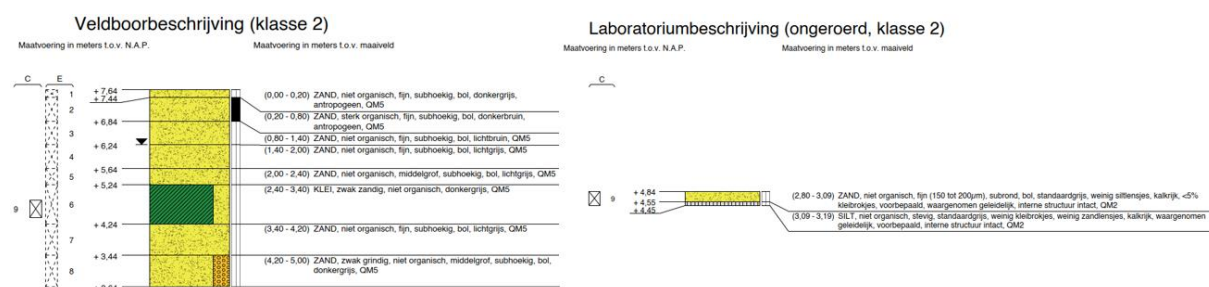
## Bijlage 2 Verschillen in boor- en laboratoriumonderzoek

Het veldwerk en laboratoriumonderzoek is uitgevoerd volgens geldende voorschriften, NEN-EN-ISO 14688-1\_2019+NEN 8990 en NEN-EN-ISO 14688-2\_2019+NEN 8991\_2020. Het eerste deel betreft de identificatie en beschrijving van grond en het tweede deel betreft de grondslagen voor classificatie van in het laboratorium uitgevoerde proeven. Bij de identificatie en de classificatie van grond moeten zowel de identificatie als de classificatie (resultaten van indextesten) worden gerapporteerd. De resultaten van de classificatie zijn supplementair en mogen de resultaten van de identificatie niet vervangen.

De definitieve beoordeling van de grondsoort wordt gemaakt door de geotechnisch adviseur op grond van alle informatie van de betreffende locatie. Ten opzichte van (vervallen) NEN 5104 is de grote verandering dat de fracties silt en lutum alleen zijn in te schatten op basis van het gedrag van de grond (dit was eerder op basis van korrelverdeling).

### Boorgrafiek

In onderstaand voorbeeld zijn grote verschillen zichtbaar tussen de veldboorbeschrijving en de laboratoriumbeschrijving. Klei is na analyse in het laboratorium zand zonder bijmenging. Vooral het ontbreken van een bijmenging klei in de analyse is opmerkelijk.

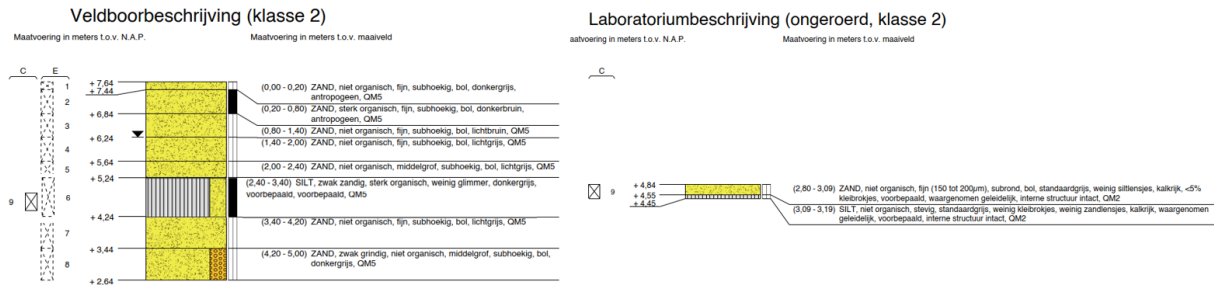


**Figuur 1:** Combinatie veldboor- en laboratoriumbeschrijving na laboratoriumonderzoek

De dubbele weergave kan weliswaar verwarrend lijken, het geeft ook inzicht in de moeilijkheid van een juiste classificatie in het veld en de mogelijke afwijkingen van het gedrag, mede veroorzaakt doordat de grond uit een edelmanboor (handboor) geroerd is. Dunne stoorlaagjes kunnen bijvoorbeeld als brokken worden gezien en het gedrag beïnvloeden. In dit geval heeft de boorbeschrijver een kleilaag opgemerkt die zowel aan de bovenzijde van de steekbus als onderzijde van de steekbus uit klei bestaat.

De grondlaagbeschrijving vanuit het laboratorium is maatgevend en de laagscheidingen worden door de boormeester bepaald van het deel zonder steekbus. De laagscheiding in de steekbus wordt in het laboratorium vastgesteld en is op dit deel maatgevend. De vastgestelde grondsoort in het laboratorium is op het deel van de steekbus maatgevend, niet per definitie in de hele grondlaag zoals door de beschrijver is vastgesteld. Het is de taak van geotechnisch adviseur om te beoordelen of het deel boven en onder de steekbus gelijk is aan het materiaal in de steekbus.

Omdat de verschillen zo groot kunnen zijn en dit twijfel kan opleveren over de veldboorbeschrijving (zoals in bovenstaand voorbeeld), is gekozen aanvullend ook geroerde monsters van iedere laag in het laboratorium op te slaan. In enkele gevallen is dit gebruikt om de veldboorbeschrijving van die laag nogmaals te beoordelen. Omdat de grondsoort nu een geroerd grondmonster betreft mag het opnieuw beoordeelde grondsoort wel in de veldboorgrafiek worden aangepast. In de rapportage volgt dan onderstaande grafische weergave.



**Figuur 2:** Combinatie veldboor- en laboratoriumbeschrijving na herbeoordeling van het geroerde monster

Het verschil tussen silt en zand is logischer dan tussen klei en zand. Klei heeft een andere structuur en betreft een nog kleinere fractie dan silt. De resultaten zijn nu wel vergelijkbaar. Dit voorbeeld toont ook de meerwaarde aan van aanvullend laboratoriumonderzoek in zettingsgevoelige grondlagen.

### Interpretatie laboratoriumonderzoek

Veel analyseresultaten zijn beïnvloed door bijmenging. De zettingsgevoelige grond blijkt, zoals ook opgemerkt in het veld, zeer sterk gelaagd te zijn met wisselend brokken dan wel (zeer) dunne tussenlaagjes. Dit beïnvloedt het gedrag van de grondsoort en bemoeilijkt de keuze voor representatieve parameters. Grondsoorten met veel bijmenging zijn daardoor niet goed bruikbaar voor het beoogde gebruik, vaststellen van een representatieve grondsoort uit de standaard parametertabel 2.b van NEN 9997-1, referentie [13]. De gekozen parameters zijn daarom bepaald op basis van de grenswaarden uit het laboratoriumonderzoek waarbij sterke resultaten uit een grondsoort met sterke bijmengingen zijn weggelaten.

In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen van de vastgestelde onder- en bovengrenswaarden voor de te onderscheiden zettingsgevoelige lagen.

| Grondsoort | grenswaarde      | consistentie | bijmenging | Watergehalte | Volumieke massa nat [kN/m <sup>3</sup> ] | Volumieke massa droog [kN/m <sup>3</sup> ] | Schuifsterkte [kPa] | Gloeiverlies |
|------------|------------------|--------------|------------|--------------|--|--|---------------------|--------------|
| Klei       | Bovengrenswaarde | stevig       | zwak       | 50           | 21.0                                     | 18.0                                       | 34                  | 4.5          |
|            | Ondergrenswaarde | slap         | niet       | 17           | 16.0                                     | 11.0                                       | 0                   | 1.5          |
| Silt       | Bovengrenswaarde | stevig       | niet       | 32           | 21.3                                     | 19.0                                       | 40                  | 4            |
|            | Ondergrenswaarde | slap         | zwak       | 12           | 18.4                                     | 14.0                                       | 12                  | 2            |
| Veen       | Bovengrenswaarde | Stevig       | nvt        | 95           | 11.5                                     | 8.0  | 40                  | 24           |
|            | Ondergrenswaarde | matig stevig | nvt        | 300          | 14.0                                     | 4.0  | 25                  | 60           |



In de tabel op de volgende pagina zijn alle uitgevoerde laboratoriumproeven opgenomen waaruit een selectie is gemaakt voor het vaststellen van de onder- en bovengrenswaarde. Een kleine toelichting op de tabel:

- Bruine kleur: betreft een veen grondsoort.
- Groene kleur: betreft een klei grondsoort
- Grijs kleur: betreft een silt grondsoort
- Doorgehaalde tekst: analyse resultaat is niet gebruikt vanwege sterke bijmenging of gelaagdheid
- Aan de linkerzijde van de staat rechts van het monster nummer de grondsoort beschrijving vanuit de veldrapportage weergegeven. Daarom wijken de kleuren in deze kolom af van de kolommen ernaast.

Uit de resulterende laboratoriumresultaten zijn representatieve grondsoortparameters uit tabel 2.b [13] gekozen voor de zettingsberekeningen.

### **Silt**

Van de 25 uitgevoerde analyses zijn er 6 representatief. In 13 monsters veroorzaakt een sterkzandige bijmenging of veel dunne zandlaagjes beïnvloeding van het resultaat, bij 11 monsters betreft dit een sterk organische bijmenging (gloeiverlies 10% a 14%). Van de 6 representatieve siltsoorten zijn er in de veldbooromschrijving 5 als klei geïnclassificeerd, 1 als veen en 1 als silt. De consistentie is over het algemeen stevig, slechts op 1 locatie wordt deze als slap vastgesteld. Het volumegewicht is minimaal 18,4 (slap silt), daarnaast overal groter dan 19 kN/m<sup>3</sup>. De schuifsterkte varieert tussen 12 (slap) en 40 kPa. Ook is de relatie tussen watergehalte en volumegewicht vergelijkbaar aan de bovengrenswaarde uit archiefgegevens en verwachting. Samenvattend is de siltlaag in het terrein vergelijkbaar met de in tabel 2.b van NEN 9997-1 [13] gegeven grondsoort Leem, zwak zandig, slap.

### **Klei**

Van de 9 uitgevoerde analyses zijn er 6 representatief. Twee monsters zijn niet representatief door een sterk zandige bijmenging en bij één monster door een sterk organische bijmenging. In één geval is de kleisoort in de veldbooromschrijving als veen geïnclassificeerd. Bij een andere kleisoort betreft de veldbooromschrijving silt. De consistentie varieert tussen slap en stevig. Het volumegewicht is groter dan 16 kN/m<sup>3</sup>. De schuifsterkte varieert tussen <10 en 34 kPa. De lage schuifsterkte van <10 kPa wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de aanwezigheid van zandlensjes. Ten slotte is de relatie tussen watergehalte en volumegewicht vergelijkbaar aan de archiefgegevens en verwachtingen voor klei. Samenvattend is de kleilaag in het terrein vergelijkbaar met de in tabel 2.b van NEN 9997-1 [13] gegeven grondsoort Klei, schoon, slap.

### **Veen**

Van de 8 uitgevoerde analyses zijn er 5 representatief. In 2 monsters veroorzaken veel zandlensjes beïnvloeding van het resultaat en in 1 monster is de dikte (3 cm) onvoldoende voor betrouwbare resultaten. Alle in het laboratorium vastgestelde veensoorten (die in de beoordeling zijn betrokken) zijn ook in het veld als veen geïnclassificeerd. De consistentie varieert tussen matig stevig en stevig. Het volumegewicht is minimaal 11,6 en over het algemeen groter dan 12 kN/m<sup>3</sup>. De schuifsterkte varieert tussen 20 en 50 kPa. Ten slotte is de relatie tussen watergehalte en volumegewicht vergelijkbaar aan de ondergrenswaarde uit archiefgegevens en verwachting. Het watergehalte is over het algemeen wel laag wat aan geeft dat het een vastere consistentie betreft. Samenvattend is de veenlaag in het terrein vergelijkbaar met de in tabel 2.b van NEN 9997-1 [13] gegeven grondsoort Veen, matig voorbelast, matig vast.



| veldbooromschrijving                           | Niveau NAP |       | Diepte (mv) |      | Identificatie   |                 | Basisparameters  |               |                 |              |                     | Schuifsterk/Gloei meth Atterbergse grenzen |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
|--|------------|-------|-------------|------|-----------------|-----------------|--|---------------|-----------------|--------------|---------------------|--|--|--------------|-----------------------------------|------------|--------------------|---------------------|-------------------|--|
|  | van        | tot   | van         | tot  | Hoofdgroonsoort | bijmenging      | overig beschrijving  | consistentie  | organische stof | Watergehalte | Volumieke massa nat | Volumieke massa droo                       | Torvane (gem/min)                          | Gloeiverlies | Plasticiteitsgrens                | Vloeigrens | Plasticiteitsindex | Vloeibaarheidsindex | Consistentieindex |  |
|  | [m]        | [m]   | [m]         | [m]  |                 |                 |  |               |                 | [%]          | [kg/m³]             | [kg/m³]                                    | [kPa]                                      | [%]          | [%]                               | [%]        | [-]                | [-]                 | [-]               |  |
| veen (36)                                      | 4.683      | 4.653 | 3.23        | 3.26 | zand            | zand            |  |               |                 | 15.7         | 2078.0              | 1795.7                                     |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| veen (36)                                      | 4.543      | 4.513 | 3.37        | 3.4  | klei            | klei            | plantenrestenNietHoutigWeinig                                    | stevig        | zwakOrganisch   | 49.0         | 1623.4              | 1089.3                                     |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| veen (36)                                      | 4.493      | 4.463 | 3.42        | 3.45 | klei            | klei            | plantenrestenNietHoutigWeinig                                    | stevig        | sterkOrganisch  | 63.0         | 1508.4              | 925.2                                      |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| veen (36)                                      | 4.443      | 4.393 | 3.47        | 3.52 | veen            | kleiligVeen     |  | matigStevig   |                 | 117.4        |                     |  | 39   | 26.2         | 121.06                            | 162.67     | 41.61              | -0.09               | 1.09              |  |
| veen (36)                                      | 4.383      | 4.363 | 3.53        | 3.55 | veen            | kleiligVeen     |  | matigStevig   |                 | 109.2        | 1241.3              | 593.4                                      |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| zwakZandigSilt (30) / siltZand (7)             | 5.865      | 5.835 | 1.5         | 1.53 | Klei            | sterkZandigSilt | Veel   | stevig        | zwakOrganisch   | 44.7         | 2146.9              | 1871.4                                     |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| zwakZandigSilt (30) / siltZand (7)             | 5.835      | 5.775 | 1.53        | 1.59 | klei            | sterkZandigSilt | Veel   | stevig        | zwakOrganisch   | 47.0         |                     |  | 18   | 4.8          | 12.76                             | 17.2       | 4.44               | 0.96                | 0.04              |  |
| zwakZandigSilt (30) / siltZand (7)             | 5.665      | 5.635 | 1.7         | 1.73 | zand            | zand            | kleilensjesVeel  | fijn          | nietOrganisch   | 44.0         | 2175.5              | 1908.8                                     |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| zwakZandigSilt (31)                            | 5.919      | 5.889 | 1.71        | 1.74 | zand            | zand            | kleiWeinigDikkeLaminae   | fijn150tot200 | nietOrganisch   | 13.8         | 2021.8              | 1777.0                                     | Zand, NM                                   |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| veen (25)                                      | 4.817      | 4.607 | 2.7         | 2.91 | veen            | veen            |  | matigStevig   |                 | 127.0        |                     |  |  | 42.2         |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| veen (25)                                      | 4.787      | 4.757 | 2.73        | 2.76 | veen            | veen            |  | matigStevig   |                 | 167.8        | 1155.0              | 431.2                                      |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| zwakZandigeKlei (25) / zand (15)               | 5.529      | 5.499 | 2.12        | 2.15 | zand            | zand            | siltlensjesVeel  | fijn150tot200 | nietOrganisch   | 25.1         | 1990.7              | 1591.6                                     | Zand, NM                                   |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| zwakZandigSilt (19)                            | 6.121      | 5.931 | 1.8         | 1.99 | Silt            | sterkZandigSilt | zandlensjesWeinig, plantenrestenHoutigWeinig,                    | stevig        | zwakOrganisch   | 17.5         |                     |  | 54   | 2.2          | 22.5                              | 25.85      | 3.36               | -1.44               | 2.49              |  |
| zwakZandigSilt (19)                            | 6.091      | 6.061 | 1.83        | 1.86 | Silt            | sterkZandigSilt | zandlensjesWeinig, plantenrestenHoutigWeinig,                    | stevig        | zwakOrganisch   | 18.3         | 2016.9              | 1704.7                                     |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| zwakZandigVeen (22)                            | 5.065      | 4.875 | 2.7         | 2.89 | veen            | veen            |  | stevig        |                 | 87.8         |                     |  | 30   | 24.3         | 118.19                            | 181.12     | 62.94              | -0.48               | 1.48              |  |
| zwakZandigVeen (22)                            | 5.045      | 5.015 | 2.72        | 2.75 | veen            | veen            |  | stevig        |                 | 94.5         | 1273.7              | 655.0                                      |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| veen (29)                                      | 5.098      | 5.018 | 2.72        | 2.8  | veen            | veen            | siltlensjesWeinig, zandlensjesWeinig                             | matigStevig   |                 | 119.1        |                     |  | 25   | 35.3         | 168.66                            | 243.58     | 74.92              | -0.66               | 1.66              |  |
| veen (29)                                      | 5.098      | 5.068 | 2.72        | 2.75 | veen            | veen            | siltlensjesWeinig, zandlensjesWeinig                             | matigStevig   |                 | 75.8         | 1415.0              | 805.1                                      |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| zwakZandigSilt (35)                            | 5.746      | 5.396 | 1.8         | 2.15 | silt            | silt            | zandlensjesWeinig, plantenrestenHoutigWeinig                     | stevig        | sterkOrganisch  | 67.0         |                     |  | 33.5                                       | 13.3         | 66.54                             | 80.32      | 13.81              | 0.04                | 0.96              |  |
| zwakZandigSilt (35)                            | 5.546      | 5.516 | 2           | 2.03 | silt            | silt            | zandlensjesWeinig, plantenrestenHoutigWeinig                     | stevig        | sterkOrganisch  | 57.9         | 1519.8              | 962.3                                      |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| zwakZandigVeen (20) / zand (18)                | 5.608      | 5.518 | 2.13        | 2.22 | silt            | silt            | zandlensjesWeinig  | stevig        | sterkOrganisch  | 40.0         |                     |  | 22   | 12.5         | 65.76                             | 93.99      | 28.24              | -0.91               | 1.91              |  |
| zwakZandigVeen (20) / zand (18)                | 5.608      | 5.578 | 2.13        | 2.16 | silt            | silt            | zandlensjesWeinig  | stevig        | sterkOrganisch  | 47.0         | 1683.5              | 1445.4                                     |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| zwakZandigSilt (38)                            | 5.236      | 5.156 | 2.26        | 2.34 | silt            | silt            |  | stevig        | sterkOrganisch  | 76.5         |                     |  | 18   | 8.7          | 55.65                             | 89.23      | 33.58              | 0.62                | 0.38              |  |
| zwakZandigSilt (38)                            | 5.236      | 5.206 | 2.26        | 2.29 | silt            | silt            |  | stevig        | sterkOrganisch  | 52.4         | 1657.5              | 1080.6                                     |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| veen (19)                                      | 5.374      | 5.184 | 2.25        | 2.44 | silt            | silt            |  | stevig        | sterkOrganisch  | 67.5         |                     |  | 36   | 14.4         | 61.26                             | 80.81      | 19.56              | 0.22                | 0.68              |  |
| veen (19)                                      | 5.254      | 5.224 | 2.37        | 2.4  | silt            | silt            |  | stevig        | sterkOrganisch  | 61.8         | 1499.6              | 926.6                                      |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| veen (30) / zand (8)                           | 4.773      | 4.743 | 2.9         | 2.93 | silt            | silt            | plantenrestenNietHoutigWeinig                                    | stevig        | sterkOrganisch  | 95.8         | 1328.0              | 678.3                                      |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| veen (30) / zand (8)                           | 4.773      | 4.693 | 2.9         | 2.98 | silt            | silt            | plantenrestenNietHoutigWeinig                                    | stevig        | sterkOrganisch  | 76.8         |                     |  | 22   | 13.7         | 46.74                             | 89.22      | 42.48              | 0.71                | 0.29              |  |
| zwakZandigeKlei (19)                           | 5.069      | 4.939 | 2.68        | 2.81 | silt            | silt            | zandlensjesEnkele  | stevig        | sterkOrganisch  | 38.6         |                     |  | 22   | 9.2          | 34.58                             | 49.56      | 14.98              | 0.27                | 0.72              |  |
| zwakZandigeKlei (19)                           | 5.069      | 5.039 | 2.68        | 2.71 | silt            | silt            | zandlensjesEnkele  | stevig        | sterkOrganisch  | 45.3         | 1740.0              | 1197.5                                     |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| veen (20) / zand (18)                          | 4.941      | 4.771 | 3           | 3.17 | veen            | veen            |  | stevig        |                 | 222.5        |                     |  | Onvoldoer                                  | 64.2         | 254.68                            | 447.82     | 193.14             | -0.17               | 1.17              |  |
| kleiligVeen (20)                               | 5.982      | 5.862 | 1.9         | 2.02 | silt            | silt            | zandlensjesWeinig, plantenrestenNietHoutigWeinig                 | stevig        | zwakOrganisch   | 17.4         |                     |  | 34   | 2.4          | 20.52                             | 18.57      | -1.94              | 1.59                | -0.59             |  |
| kleiligVeen (20)                               | 5.962      | 5.932 | 1.92        | 1.95 | silt            | silt            | zandlensjesWeinig, plantenrestenNietHoutigWeinig                 | stevig        | zwakOrganisch   | 17.1         | 2122.6              | 1812.7                                     |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| veen (15) / zand (14)                          | 5.432      | 5.292 | 2.45        | 2.59 | silt            | silt            | veenWeinigDikkeLaminae   | stevig        | sterkOrganisch  | 62.7         |                     |  | 22   | 15.2         | 53.17                             | 89.88      | 36.71              | 0.29                | 0.71              |  |
| veen (15) / zand (14)                          | 5.422      | 5.392 | 2.46        | 2.49 | silt            | silt            | veenWeinigDikkeLaminae   | stevig        | sterkOrganisch  | 46.4         |                     |  |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| veen (25) / zand (12)                          | 5.588      | 5.448 | 2.52        | 2.66 | veen            | veen            | zandlensjesVeel  | matigStevig   |                 | 49.6         |                     |  | 35   | 31.8         | 108.15                            | 126.36     | 18.21              | -3.21               | 4.21              |  |
| veen (25) / zand (12)                          | 5.558      | 5.528 | 2.55        | 2.58 | veen            | veen            | zandlensjesVeel  | matigStevig   |                 | 74.0         | 1412.3              | 811.5                                      |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| veen (29)                                      | 5.37       | 5.25  | 2.62        | 2.74 | veen            | veen            | zandlensjesVeel  | matigStevig   |                 |              |                     |  | Onvoldoende geschikt materiaal beschikbaar |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| zwakZandigSilt (27)                            | 5.84       | 5.63  | 2.1         | 2.31 | silt            | silt            | zandWeinigErgDunneLaagjes  | stevig        | sterkOrganisch  | 62.1         |                     |  | 43   | 12.8         | 58.74                             | 70.98      | 12.24              | 0.27                | 0.73              |  |
| zwakZandigSilt (27)                            | 5.69       | 5.66  | 2.25        | 2.28 | silt            | silt            | zandWeinigErgDunneLaagjes  | stevig        | sterkOrganisch  | 32.0         | 1720.3              | 1201.0                                     |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| siltZand (10) / sterkZandigeKlei (19)          | 6.367      | 6.337 | 1.6         | 1.63 | silt            | silt            | zandlensjesWeinig  | stijf         | zwakOrganisch   | 11.4         | 2125.9              | 1908.0                                     |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| siltZand (10) / sterkZandigeKlei (19)          | 6.367      | 6.277 | 1.6         | 1.69 | silt            | silt            | zandlensjesWeinig  | stijf         | zwakOrganisch   | 18.4         |                     |  | 39   | 2.4          | 12.93                             | 23.76      | 10.83              | 0.5                 | 0.5               |  |
| zwakZandigeKlei (30) / zand (6)                | 5.576      | 5.536 | 2.5         | 2.54 | silt            | silt            |  | stevig        | sterkOrganisch  |              |                     |  | Onvoldoer                                  | 10.9         | Onvoldoende materiaal beschikbaar |            |                    |                     |                   |  |
| kleiligVeen (20) / veen (20)                   | 5.383      | 5.353 | 2.6         | 2.63 | silt            | silt            | plantenrestenNietHoutigWeinig                                    | stevig        | sterkOrganisch  | 58.7         | 1546.5              | 974.5                                      | Onvoldoende geschikt materiaal beschikbaar |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| kleiligVeen (20) / veen (20)                   | 5.223      | 5.193 | 2.76        | 2.79 | veen            | veen            |  | matigStevig   |                 | 293.3        | 973.4               | 247.5                                      | Onvoldoende geschikt materiaal beschikbaar |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| zwakZandigSilt (32)                            | 6.417      | 6.207 | 2.21        | 2.42 | Silt            | sterkZandigSilt | fijnGrindWeinig Veel   | stevig        | zwakOrganisch   | 13.8         |                     |  | 50   | 1.7          | 15.4                              | 16.75      | 1.25               | -1.17               | 2.17              |  |
| zwakZandigSilt (32)                            | 6.407      | 6.377 | 2.22        | 2.25 | Silt            | sterkZandigSilt | fijnGrindWeinig Veel   | stevig        | zwakOrganisch   | 14.6         | 2202.7              | 1922.7                                     |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| zwakZandigeKlei (40)                           | 4.547      | 4.517 | 3.09        | 3.12 | silt            | silt            | kleibrokjesWeinig, zandlensjesWeinig                             | stevig        | nietOrganisch   | 31.9         | 1908.8              | 1446.9                                     |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| zwakZandigeKlei (40)                           | 4.547      | 4.447 | 3.09        | 3.19 | silt            | silt            | kleibrokjesWeinig, zandlensjesWeinig                             | stevig        | nietOrganisch   | 91.47        |                     |  | 15   | 3.9          | 27.14                             | 41.55      | 14.41              | 4.46                | -3.46             |  |
| veen (20) / zand (20)                          | 4.84       | 4.47  | 3           | 3.37 | veen            | veen            | zandlensjesVeel  | stevig        |                 | 255.0        |                     |  | 26   | 70           | 324.91                            | 587.4      | 262.5              | -0.27               | 1.27              |  |
| veen (20) / zand (20)                          | 4.8        | 4.77  | 3.04        | 3.07 | veen            | veen            | zandlensjesVeel  | stevig        |                 | 245.2        | 1002.1              | 290.3                                      |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| veen zwak zandig (20) zand niet organisch (10) | 4.295      | 4.145 | 3.6         | 3.75 | zand            | zand            | veenbrokjesWeinig, zandlensjesEnkele                             | fijn150tot200 | zwakOrganisch   |              |                     |  | Zand, NM                                   |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| veen zwak zandig (20) zand niet organisch (10) | 4.265      | 4.235 | 3.63        | 3.66 | zand            | zand            | veenbrokjesWeinig, zandlensjesEnkele                             | fijn150tot200 | zwakOrganisch   | 21.6         | 1943.1              | 1597.7                                     |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| veen zwak zandig (20) zand niet organisch (10) | 4.145      | 4.005 | 3.75        | 3.89 | zand            | zand            | siltlensjesWeinig, fijnGrindWeinig                               | fijn150tot200 | nietOrganisch   |              |                     |  | Zand, NM                                   |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| veen zwak zandig (20) zand niet organisch (10) | 4.095      | 4.065 | 3.8         | 3.83 | zand            | zand            | siltlensjesWeinig, fijnGrindWeinig                               | fijn150tot200 | nietOrganisch   | 19.6         | 2074.4              | 1734.4                                     |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| zwakZandigSilt (29)                            | 6.2        | 6.17  | 1.75        | 1.78 | silt            | silt            | zandlensjesVeel, liizerconrotiesWeinig                           | stevig        | nietOrganisch   | 45.6         | 2134.6              | 1846.5                                     |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| zwakZandigSilt (29)                            | 6.2        | 5.97  | 1.75        | 1.98 | silt            | silt            | zandlensjesVeel, liizerconrotiesWeinig                           | stevig        | nietOrganisch   | 45.5         |                     |  | 16   | 1.6          |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| zwakZandigeKlei (37)                           | 5.704      | 5.454 | 2.6         | 2.85 | silt            | silt            | zandVeelDikkeLaminae, organischeSiltBrokjesVeel                  | stevig        | zwakOrganisch   | 30.7         |                     |  | 20   | 4.6          | 28.84                             | 33.97      | 5.13               | 0.36                | 0.64              |  |
| zwakZandigeKlei (37)                           | 5.604      | 5.574 | 2.7         | 2.73 | silt            | silt            | zandVeelDikkeLaminae, organischeSiltBrokjesVeel                  | stevig        | zwakOrganisch   | 26.3         | 1937.7              | 1533.8                                     |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| zwakZandigeKlei (30) / zand (7)                | 6.323      | 5.953 | 2.1         | 2.47 | silt            | silt            | zandVeelDikkeLaminae   | stevig        | zwakOrganisch   | 18.5         |                     |  | 13   | 1.8          | 16.08                             | 19.43      | 3.36               | 0.71                | 0.29              |  |
| zwakZandigeKlei (30) / zand (7)                | 6.253      | 6.223 | 2.17        | 2.2  | silt            | silt            | zandVeelDikkeLaminae   | stevig        | zwakOrganisch   | 18.5         | 2121.0              | 1790.3                                     |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |
| sterkZandigeKlei (36)                          | 5.222      | 4.962 | 2.5         | 2.76 | silt            | silt            | zandWeinigDunneLaminae, zandlensjesWeinig, detrituslensjesWeinig | slap          | nietOrganisch   | 32.7         | 1837.7              | 1385.2                                     | 12   | 3.1          | 30.54                             | 33.07      | 2.53               | 0.84                | 0.16              |  |
| sterk  |            |       |             |      |                 |                 |  |               |                 |              |                     |  |  |              |                                   |            |                    |                     |                   |  |



## Bijlage 3 Uitwerking zetting- en krimpberekeningen

In paragraaf 4.1 zijn de schademechanismen behandeld. Er zijn drie categorieën als gevolg van daling van de grondwaterstand:

- Zetting als gevolg van afnemende waterspanning in de ondergrond
- Krimp van klei- en siltlagen
- Oxidatie van veenlagen

In deze bijlage is de uitwerking ervan gerapporteerd

### Uitwerking zettingsberekeningen

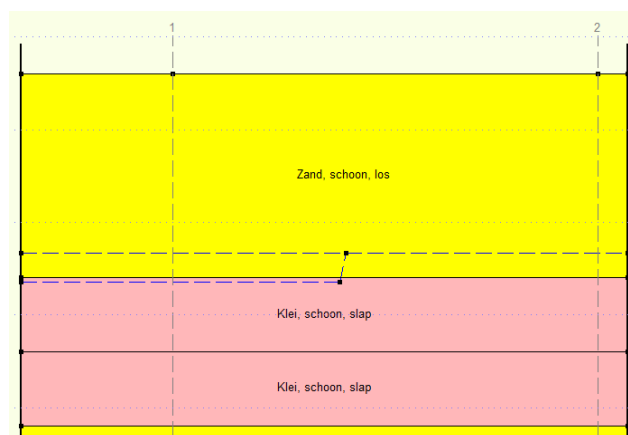
Vanuit alle uitgevoerde boringen is een overzicht gemaakt van grondsoort, zettingsgevoeligheid, hoeveelheid verdroging als krimp en oxidatie kunnen optreden. Hieruit is een selectie gemaakt van vier locaties die maatgevend zijn voor zettingen, de variatie in grondopbouw en de daling van de grondwaterstand. Van deze vier locaties zijn zettingsberekening gemaakt voor twee boorprofielen, waaruit een kleinste en grootste zetting volgt. Uit de verschillen tussen de twee zettingsberekeningen volgt de maximale hoekverdraaiing.

De maximale zetting op deze vier locaties zijn berekend met het softwarepakket van Deltares, D-Settlement, versie 21.2. De berekende zettingen zijn op drie manieren gebruikt in de analyse:

- Allereerst om de maximale hoekverdraaiing vast te stellen voor de grondwaterdaling op die locatie.
- Aanvullend zijn de zettingen gebruikt om rekken te berekenen voor de totale dikte aan zettingsgevoelige lagen onder de GLG en de toekomstige daling van de GLG. Deze rekken zijn voor alle berekeningen gecombineerd waarvan een gemiddeld hoogste waarde is berekend. Deze gemiddeld hoogste rek is toegepast op alle locaties om de maximale en minimale zettingen in te schatten. Met de ingeschatte zettingen is per locatie een maximale hoekverdraaiing berekend. Locaties met een kritische hoekverdraaiing van minder dan 1:300 zijn aanvullend opgenomen in de gedetailleerde zettingsberekening.
- Ten slotte is de berekende hoekverdraaiing getoetst aan de geschatte hoekverdraaiing voor alle locaties.

De zettingsberekeningen zijn uitgevoerd volgens het NEN-Bjerrum rekenmodel met het Darcy consolidatiemodel. In die methode is veroudering van de grondsoort een onderdeel van de berekende zettingen. Deze veroudering is op zijn beurt weer een onderdeel van autonome bodemdaling. Het totaal aan autonome bodemdaling is van meer factoren afhankelijk (belastingen op het maaiveld en uit het verleden, ontgravingen, bemalingen etc). De berekende veroudering van de grond treedt ook op zonder daling van de GLG. Daarom is in iedere zettingsberekening ook de veroudering berekend van het grondprofiel, zie figuur hiernaast. Er zijn 2 verticale rekenverticalen zichtbaar, in rekenverticaal 1 wordt de zetting berekend na de daling van de GLG. In rekenverticaal 2 wordt de veroudering van het grondprofiel berekend. Het verschil daartussen is de zetting als gevolg van de GLG verlaging.

Uit de berekeningen volgt dat het schademechanisme zetting geen risico geeft op constructieve schade. De uitwerking hiervan is in verband met de AVG wetgeving niet in dit rapport opgenomen.



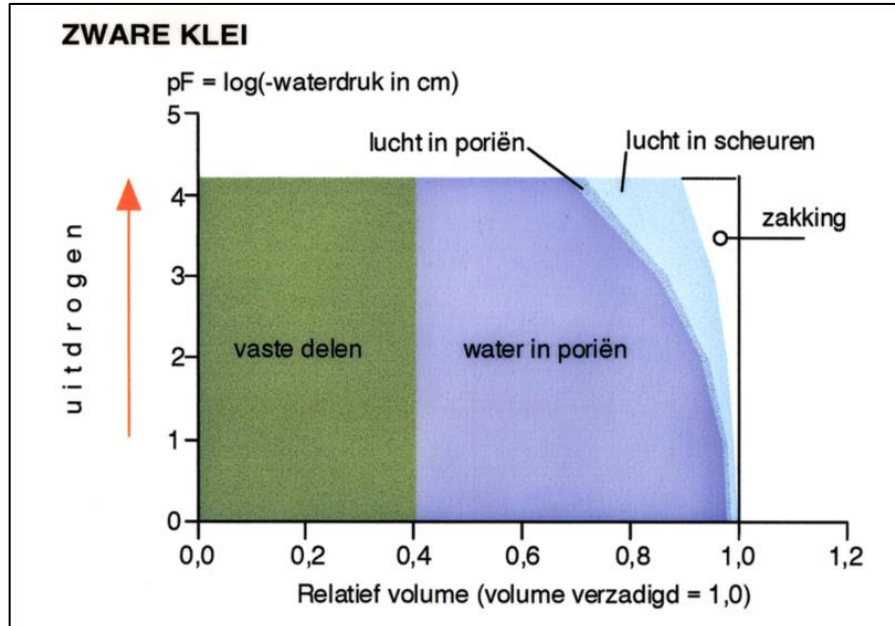


### Uitwerking krimp en oxidatie

Bij aanvang van het project was het plan om de berekening aan krimp en oxidatie uit te voeren volgens de methode die ook in project "Kanaal Almelo-De Haandrik" is toegepast. Deze uitwerking blijkt echter niet toepasbaar te zijn binnen dit project, omdat in project Kanaal Almelo – De Haandrik alleen de krimp van veen is beschouwd. In onze uitwerking gaan we uit van 50% á 100 % oxidatie in uitdrogende veenlagen (gevoeligheidsanalyse). Voor de krimp van klei en silt is daarom gezocht naar een andere methode waarbij een meer algemene rekenwijze kan worden toegepast. Bij de STOWA is een uitgebreide rekenwijze beschikbaar [12]. Het STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (waterschappen). Op de website staat een zeer uitgebreide toelichting over de te onderscheiden geotechnische mechanismen zoals oxidatie, krimp, klink, (autonome) zettingen en de theorie erover om het toe te passen in projecten. We hebben deze methode gebruikt en de resultaten zijn in lijn met onze meest conservatieve verwachtingen. We beschouwen de resultaten die volgen uit deze methode als bovengrenswaarde (worst-case).

### Achterliggende theorie [STOWA]:

*Krimp is het proces waarbij een onverzadigd stuk klei- of veengrond wordt samengedrukt door periodieke toename van de zuigspanningen in de bodem. Bovenin het bodemprofiel is de grond veel droger en daarmee sterker en stijver dan op grotere diepte. Daarnaast is bovenin het bodemprofiel de belasting van bovenliggende grond niet of in geringe mate aanwezig. De krimp is daarom bovenin het bodemprofiel isotroop (in alle 3 dimensies gelijk) en veroorzaakt in gelijke mate zakking (1/3e van het krimpvolume) en scheurvorming (2/3e van het krimpvolume). Dieper in het bodemprofiel worden de scheuren dichtgedrukt door het bovenliggende gewicht van de grond, waardoor het gehele krimpvolume op die diepte wordt omgezet in bodemdaling aan het oppervlak.*



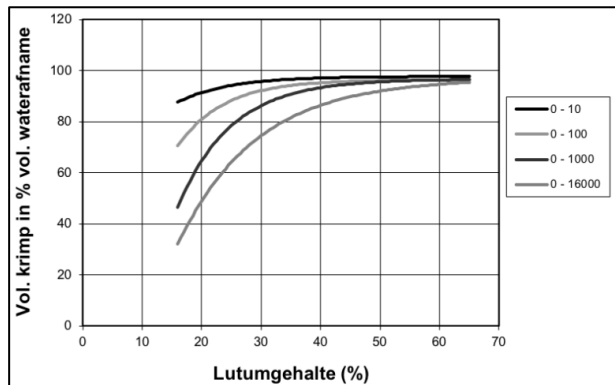
### Toepassing in het project Hammerfliet

Binnen het project Hammerfliet bevinden zich de klei- en siltlagen op een diepte van de grondwaterstandsverlaging, dit betreft circa 2 à 3 m beneden maaiveld waarbij een bovenbelasting van de panden en bovenliggende grondlagen aanwezig zijn. Derhalve worden de scheuren dichtgedrukt door het bovenliggende gewicht van de grond en de panden, waardoor is aangenomen dat het gehele krimpvolume op die diepte bestaat uit bodemdaling aan het oppervlak.



### Theorie berekening van het krimpvolume [STOWA]

Het lutumgehalte blijkt een grote invloed te hebben op de krimpeigenschappen van kleigrond. Krimp komt >90% overeen met de wateronttrekking bij een daling van de waterdruk van 0 naar -10 m (100 kPa) in kleien met een lutumgehalte hoger dan ca. 35%. Bij lichtere klei komt een groter deel van het water vrij zonder dat dit resulteert in krimp doordat lucht de plaats van het water inneemt.



### Interpretatie theorie

Bovenstaande figuur laat het krimp volume als percentage van de afname van het watervolume zien, waarbij de lijn een afname van de waterspiegel weergeeft vanaf 0. De lijn met een afname van 0 tot 10 cm is weergegeven als "0-10". Dit betreft het volume krimp naar lutumgehalte voor een afname van maximaal 1 kPa. De lijn "0-100" is de krimp voor een afname tot maximaal 10 kPa.

### Toepassing in het project Hammerfliet

In Hammerfliet wordt ter plaatse van de bebouwing een afname van maximaal 6,5 kPa verwacht. De lijn 0-100 (maximaal 10 kPa) is van toepassing voor bepaling van krimp in silt en klei. Uit de literatuur van STOWA, standaardparameters en laboratoriumonderzoeken volgen de krimppercentages voor de verlaging van de grondwaterstand in een klei of silt laag.

### Watergehalte in massapercentage en volumepercentage

Het watergehalte uit de laboratoriumonderzoeken betreft een massapercentage. In deze uitwerking is een volumepercentage nodig. De massapercentages van de onder- en bovengrenswaarden zijn daarom omgerekend naar volumepercentage met een soortelijk gewicht van water van  $1000 \text{ kg/m}^3$  en voor de korrelfractie van klei en silt van  $2.650 \text{ kg/m}^3$ . Uitgangspunt is dat de grond verzadigd is. De massapercentages corresponderen met de in [bijlage 2](#) gegeven onder- en bovengrenswaarden.

| Watergehalte    |                 |            |
|-----------------|-----------------|------------|
|                 | W <sup>1)</sup> | W          |
| Grondsoort      | [%] massa       | [%] volume |
| Silt bovengrens | 32%             | 55%        |
| Silt ondergrens | 12%             | 27%        |
| Klei bovengrens | 50%             | 73%        |
| Klei ondergrens | 17%             | 35%        |

<sup>1)</sup> Werkelijke gemeten waarde in het laboratorium

### Uitwerking krimpfactor Silt

In silt is een lutumgehalte van maximaal 11 % aangetroffen in de zeefanalyse. Een lutumpercentage van meer dan 25% betreft klei. Voor de silt in deze grondopbouw is de bovengrenswaarde ingeschat op 20 % lutum.



De bovengrenswaarde van het watergehalte (volumepercentage) in silt is 55%.

Uit de STOWA grafiek op de pagina hierboven volgt voor een lutumgehalte tot 20% een maximaal volume krimp van 80% van het aandeel water. Het aandeel water is 55%, de afname van het watervolume is naar schatting aangenomen op 10% á 20%. Hieruit volgt een percentage krimp van de laag van 8% á 16% (80% van 10% á 20%). Hierbij wordt opgemerkt dat de afname van het watervolume afhankelijk is van verschillende factoren, zoals dikte van de slappe laag, mate van verdamping als gevolg van vegetatie, etc. De afname van watervolume is bepaald op basis van expert judgement.

#### **Uitwerking krimpfactor klei**

In klei wordt de bovengrenswaarde van het lutumgehalte ingeschat op maximaal 60%. Uit de STOWA grafiek op de pagina hierboven volgt hieruit een maximale volume krimp van 95% van het aandeel water. Het watergehalte (volumepercentage) is maximaal 73%, de afname van het watervolume is naar schatting aangenomen op 10% á 20%. Hieruit volgt een percentage krimp van de laag van 9,5% á 19% (95% van 10% á 20%).

In de berekeningen van krimp is in kleigrond dus als bovengrens een factor 0,19 toegepast op de verlaging van de GLG in het deel klei. In het deel krimp van silt wordt een factor van 0,16 toegepast.

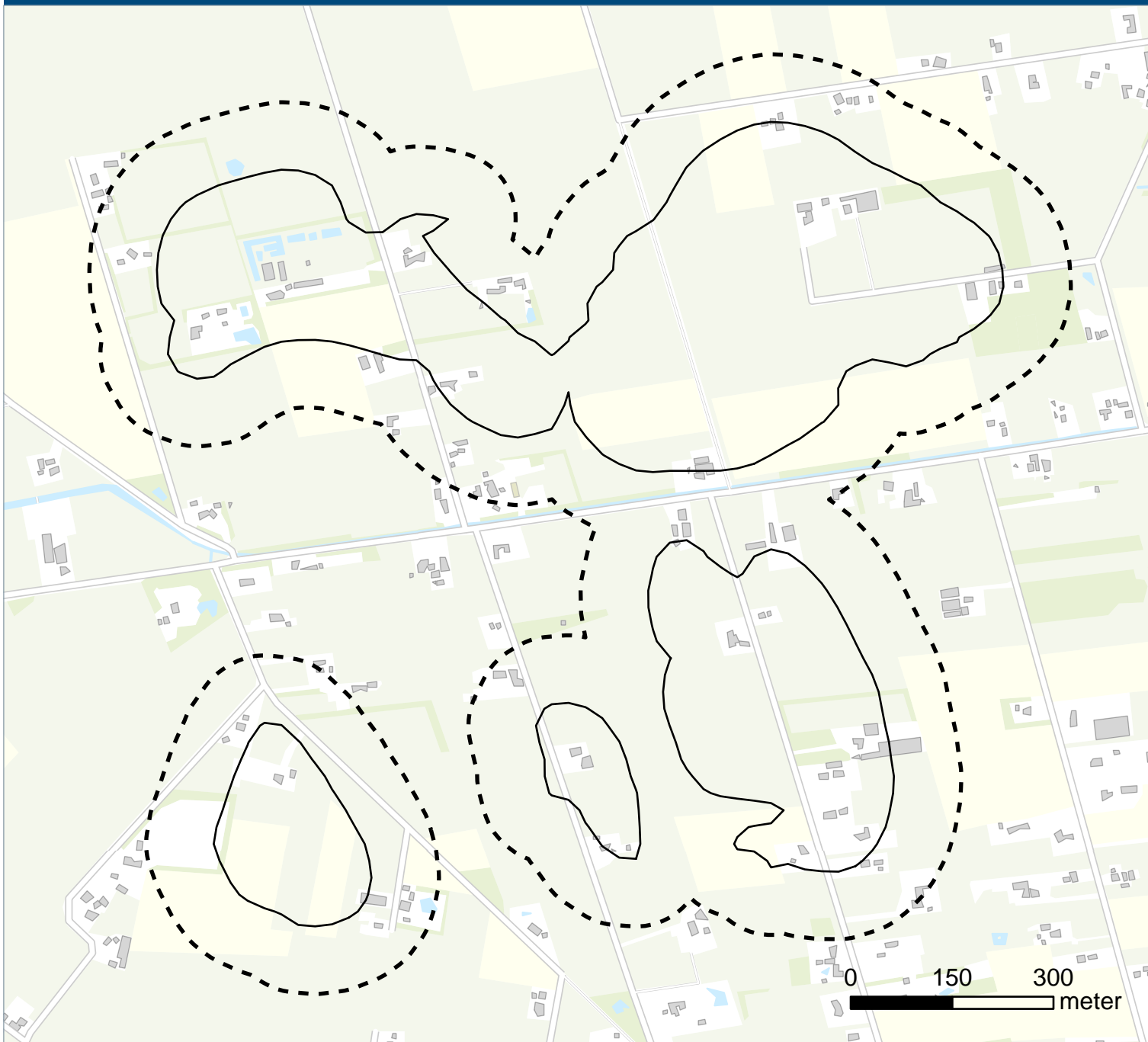
| Silt                            | Bovengrens | Ondergrens |
|---------------------------------|------------|------------|
| Lutumgehalte *1                 | 20%        | 20%        |
| Watergehalte (uit proeven)      | 55%        | 27%        |
| Percentage Vol krimp uit figuur | 80%        | 80%        |
| Percentage afname watervolume   | 20%        | 10%        |
| Krimp van de laag               | 16%        | 8%         |
| Klei                            | Bovengrens | Ondergrens |
| Lutumgehalte -> maximaal        | 60%        | 60%        |
| Watergehalte (uit proeven)      | 73%        | 35%        |
| Percentage Vol krimp uit figuur | 95%        | 95%        |
| Percentage afname watervolume   | 20%        | 10%        |
| Krimp van de laag               | 19%        | 9,5%       |

\*1) Ingeschatte waarde o.b.v. zeefanalyse Hammerfliet (11%) en algemene grenswaarden



## Bijlage 4 Overzichtskaarten onderzoeksresultaten

# a) Onderzoeksgebied 25cm contour

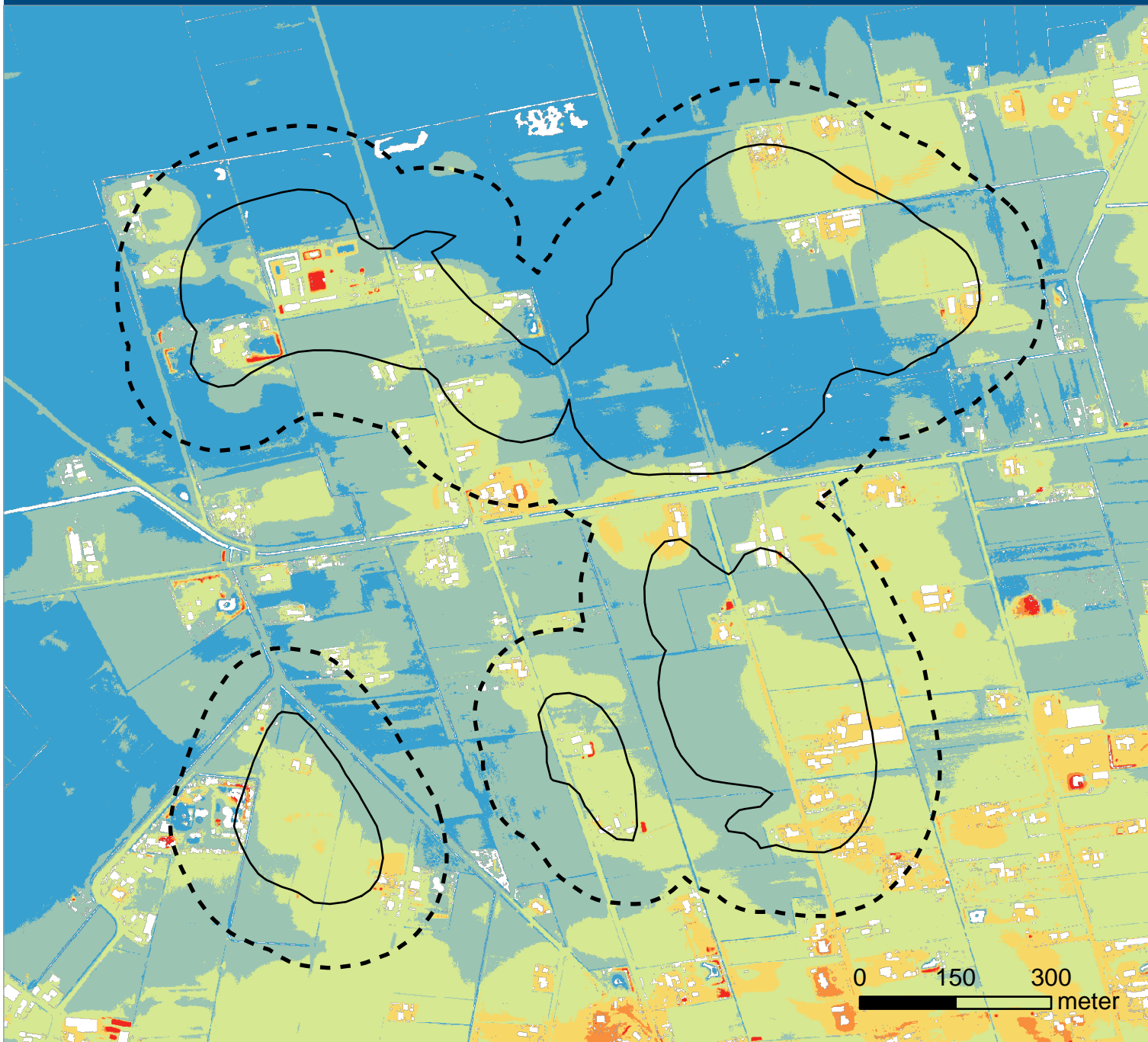


## Legenda

- Contourlijn 25cm wijziging GLG
- - - Contourlijn 25cm met 100meter bufer

|                |           |
|----------------|-----------|
| Projectnummer  | 223320    |
| Opgesteld door | CVDP      |
| Controle door  | BMS       |
| Datum          | 28-3-2023 |
| Schaal         | 1:8.534   |
| Papierformaat  | A4        |

## b) Hoogtekaart Hammerf ier



### Legenda

- Contourlijn 25cm wijziging GLG
- - - Contourlijn 25cm met 100meter bufer

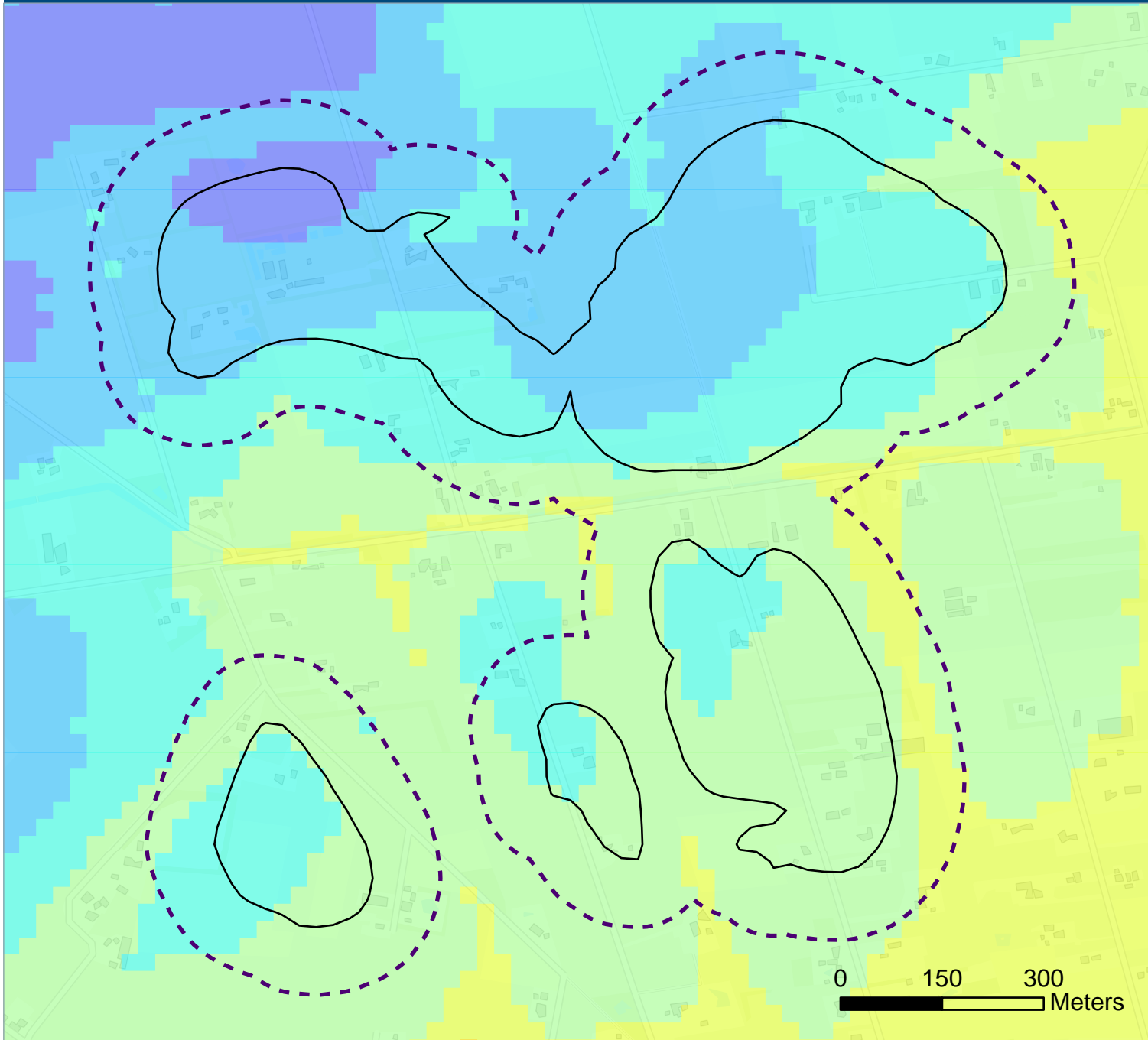
### AHN4 DTM

- Lager dan 7 mNAP
- Tussen 7 en 7,5 mNAP
- Tussen 7,5 en 8 mNAP
- Tussen 8 en 8,5 mNAP
- Tussen 8,5 en 9 mNAP
- Hoger dan 9 mNAP

|                |           |
|----------------|-----------|
| Projectnummer  | 223320    |
| Opgesteld door | CVDP      |
| Controle door  | BMS       |
| Datum          | 19-4-2023 |
| Schaal         | 1:9.037   |
| Papierformaat  | A4        |



# c) GLG model Tauw



## Legenda

— Contourlijn 25cm wijziging GLG

- - - Contourlijn 25cm met 100meter buffer

GLG [m NAP] - huidige situatie

■ Tussen 4 en 5,5 mNAP

■ Tussen 5,5 en 5,75 mNAP

■ Tussen 5,75 en 6 mNAP

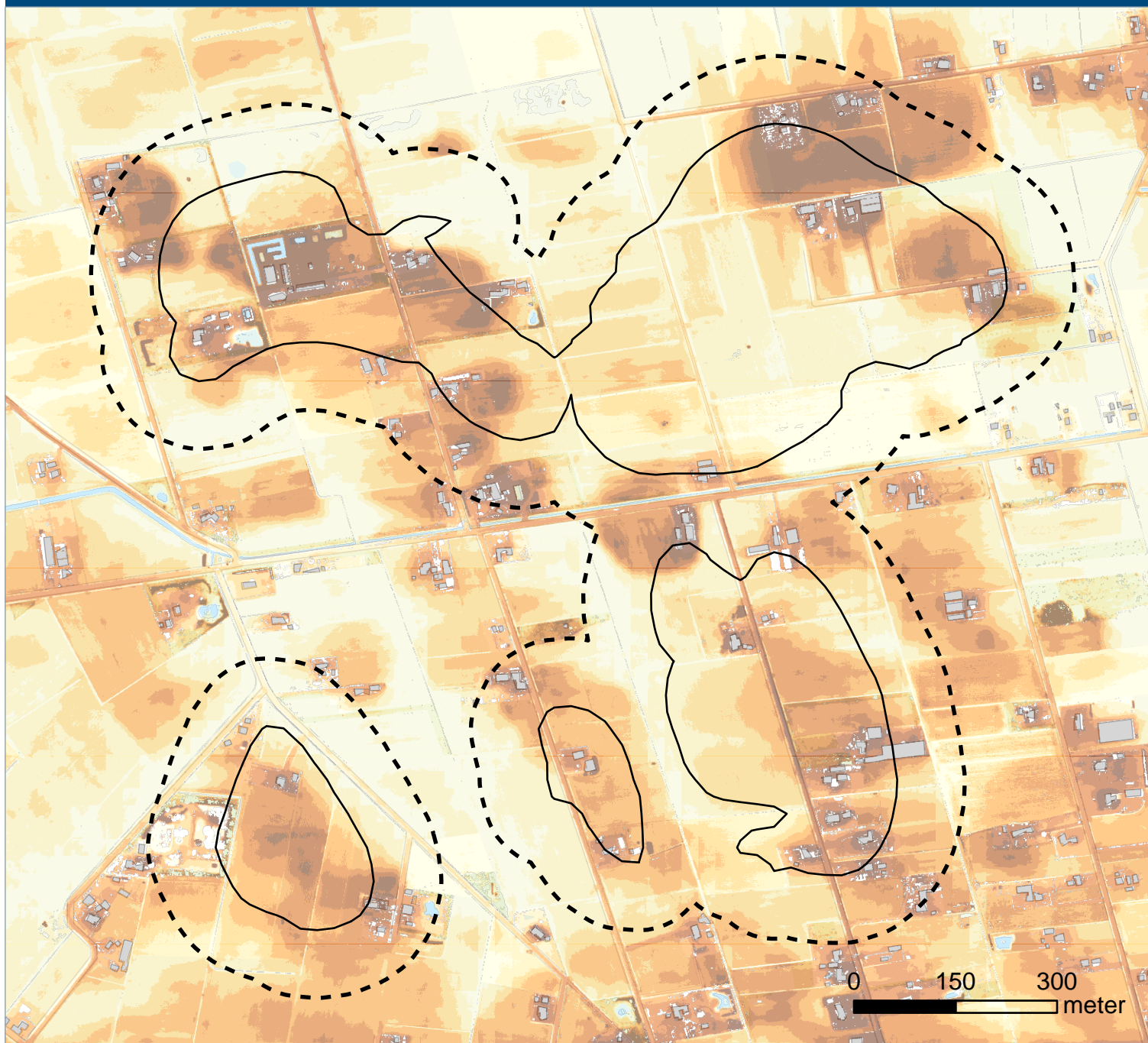
■ Tussen 6 en 6,25 mNAP

■ Tussen 6,25 en 6,5 mNAP

■ Tussen 6,5 en 6,75 mNAP

|                |           |
|----------------|-----------|
| Projectnummer  | 223320    |
| Opgesteld door | CVDP      |
| Controle door  | BMS       |
| Datum          | 19-4-2023 |
| Schaal         | 1:8.534   |
| Papierformaat  | A4        |

## d) Ontwateringsdiepte GLG



### Legenda

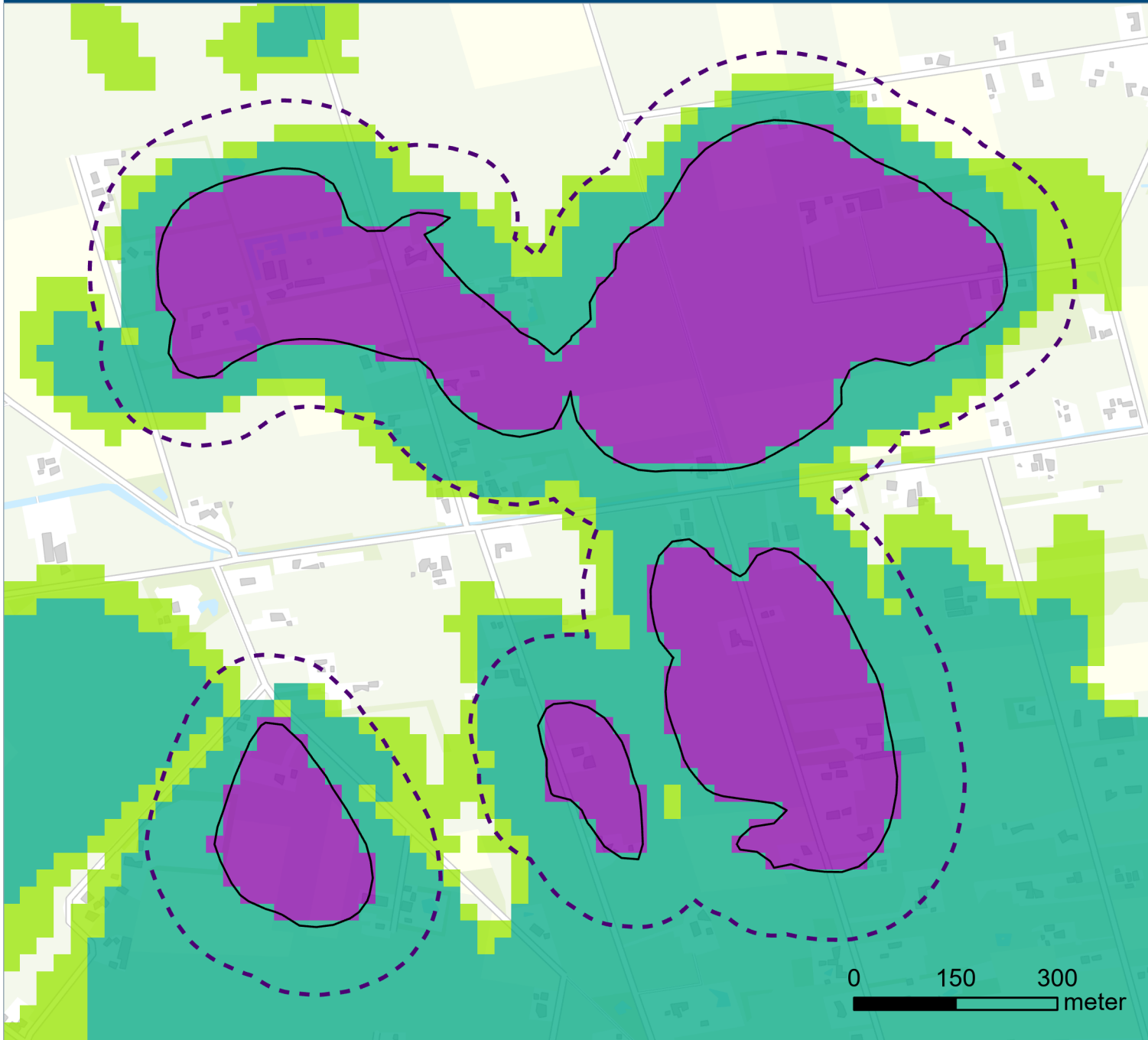
- Contourlijn 25cm wijziging GLG
- - - Contourlijn 25cm met 100meter buffer

### Ontwateringsdiepte GLG

- Minder dan 1 m onder maaiveld
- Tussen 1 en 1,2 m onder maaiveld
- Tussen 1,2 en 1,4 m onder maaiveld
- Tussen 1,4 en 1,6 m onder maaiveld
- Tussen 1,6 en 1,8 m onder maaiveld
- Tussen 1,8 en 2 m onder maaiveld
- Dieper dan 2 m onder maaiveld

|                |           |
|----------------|-----------|
| Projectnummer  | 223320    |
| Opgesteld door | CVDP      |
| Controle door  | BMS       |
| Datum          | 19-4-2023 |
| Schaal         | 1:8.534   |
| Papierformaat  | A4        |

# e) GLG model verlaging Tauw



## Legenda

— Contourlijn 25cm wijziging GLG

- - - Contourlijn 25cm met 100 meter buffer

### Berekende wijziging GLG

■ meer dan 25 cm verlaging

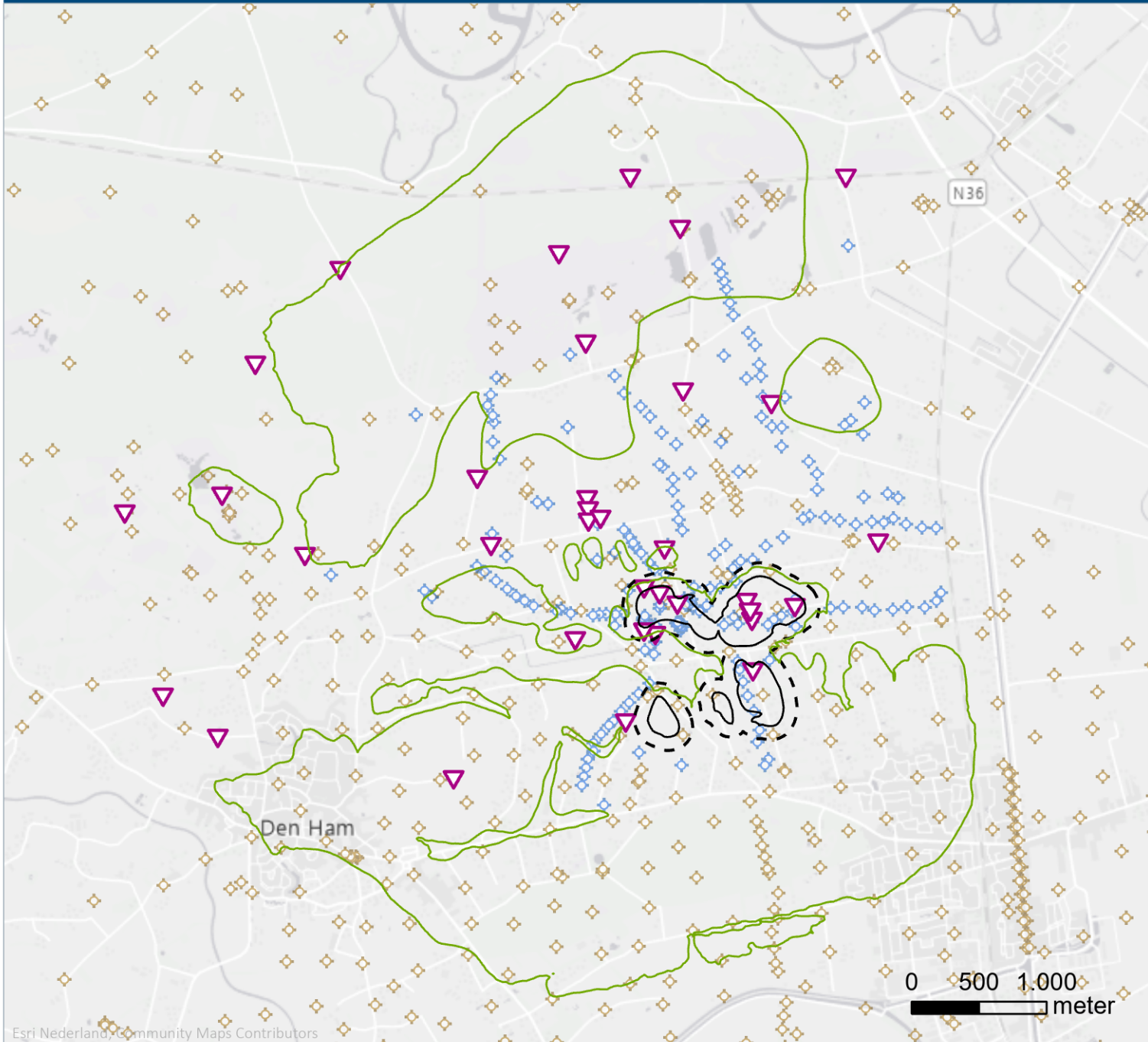
■ 10 - 25 cm verlaging

■ 5 - 10 cm verlaging

■ geen verlaging

|                |           |
|----------------|-----------|
| Projectnummer  | 223320    |
| Opgesteld door | CVDP      |
| Controle door  | BMS       |
| Datum          | 19-4-2023 |
| Schaal         | 1:8.534   |
| Papierformaat  | A4        |

# f) Grondonderzoeksgegevens totaal

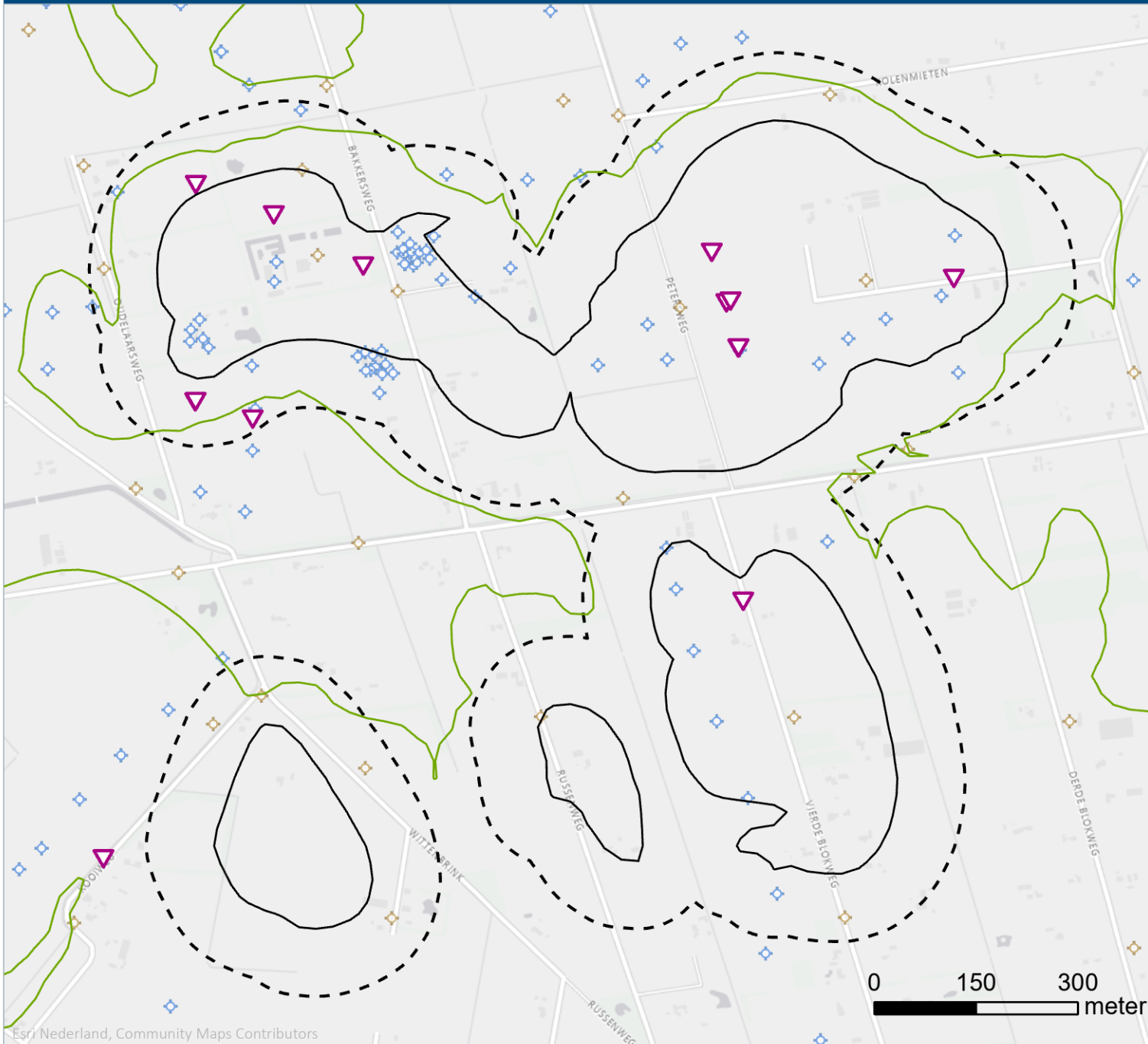


## Legenda

- Contourlijn 5 cm wijziging GLG
- Contourlijn 25cm wijziging GLG
- - - Contourlijn 25cm met 100 meter buffer
- ▽ Sonderingen Wiertsema
- ◆ Boringen Aequator
- ◆ Boringen Dinoloket

|                |           |
|----------------|-----------|
| Projectnummer  | 223320    |
| Opgesteld door | CVDP      |
| Controle door  | BMS       |
| Datum          | 21-3-2023 |
| Schaal         | 1:42.871  |
| Papierformaat  | A4        |

# g) Grondonderzoeksgegevens totaal



## Legenda

- Contourlijn 5 cm wijziging GLG
- Contourlijn 25cm wijziging GLG
- - - Contourlijn 25cm met 100 meter buffer
- ▽ Sonderingen Wiertsema
- ◆ Boringen Aequator
- ◆ Boringen Dinoloket

|                |           |
|----------------|-----------|
| Projectnummer  | 223320    |
| Opgesteld door | CVDP      |
| Controle door  | BMS       |
| Datum          | 21-3-2023 |
| Schaal         | 1:8.526   |
| Papierformaat  | A4        |



## Bijlage 5 Begrippenlijst

## Bijlage 5 – Begrippenlijst

In deze bijlage lichten we een aantal veelgebruikte afkortingen toe.

**Grondwater:** Water dat zich tussen de vaste deeltjes in de ondergrond (zand, veen, klei en silt) bevindt.

**GLG:** Gemiddeld Laagste Grondwaterstand. Deze waarde van de grondwaterstand is representatief voor een zomersituatie. In perioden waarin lange tijd geen neerslag valt en er wel sprake is van veel verdamping, kan de grondwaterstand tijdelijk verder dalen dan de GLG.

**NAP:** Normaal Amsterdams Peil. De meest gebruikte hoogtereferenctie in Nederland. Grondwaterstanden en maaiveldhoogtes relateren we aan dit peil om te kunnen vergelijken.

**Slappe bodemlaag:** Een bodemlaag met een minder grote draagkracht dan zand en waarbij kans op constructieve schade bestaat wanneer de grondwaterstand uitzakt tot in of onder deze bodemlaag. In dit onderzoek onderscheiden we de slappe bodemlagen veen, klei en silt.

**Krimp:** Het proces waarbij als gevolg van een afname van het watergehalte in een slappe bodemlaag deze bodemlaag 'krimpt'.

**Oxidatie:** Het proces waarbij onder werking van zuurstof afbraak van organisch materiaal (veen) optreedt. Zuurstof bereikt het organisch materiaal wanneer de grondwaterstand uitzakt tot aan of onder het organisch materiaal.

**Hoekverdraaiing:** De eenheid voor de scheefstand van een gebouw wanneer ongelijkmatige bodemdaling optreedt.

**mv:** maaiveld. Het grensvlak tussen de ondergrond en de lucht. Ook weergegeven in onderstaande figuur.

**Ontwateringsdiepte:** De afstand tussen grondwaterstand en maaiveld. Ook weergegeven in onderstaande figuur.

