

# Achtergronden bij Werkinstructie - Zettingen als gevolg van indirecte effecten van diepe bodemdaling

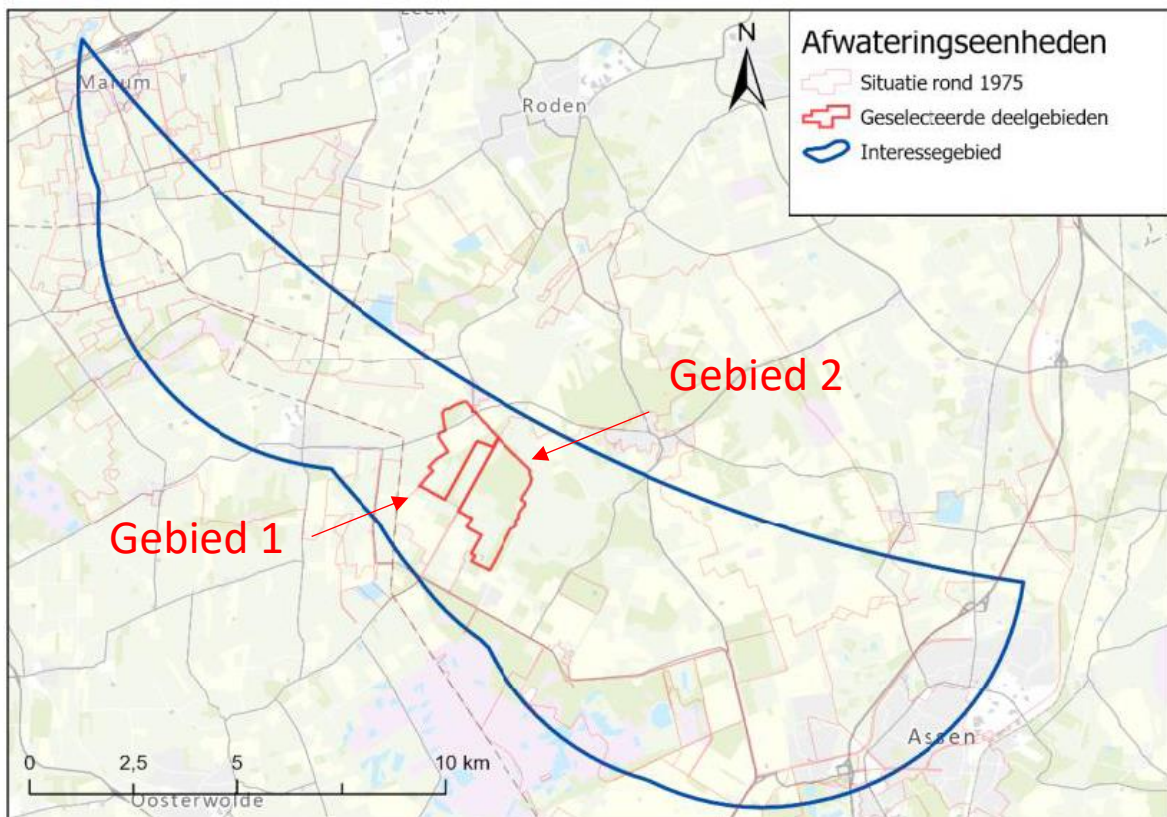
7 juli 2022

Opstellers: Ir. J.H. van Dalen, Ing. H.J. Everts, Ir. P.C. van Staalduinen

## Onderdeel I – Relevante gebieden voor de indirecte invloed van diepe bodemdaling

### A Gebieden in de omgeving van Norg

In het Deltares rapport zijn nabij de gasopslag Norg gebieden aangegeven, waarin de relatieve peilverandering als gevolg van de diepe bodemdaling op basis van een behoudende wijze van vaststelling meer dan 2 cm bedraagt of kan bedragen. In deze gebieden bedraagt de relatieve peilverandering als gevolg van de diepe bodemdaling echter overal minder dan 5 cm. Deze twee gebieden zijn aangegeven in figuur A-1. Voor de verdere behandeling worden de gebieden aangeduid als gebied 1 en gebied 2.

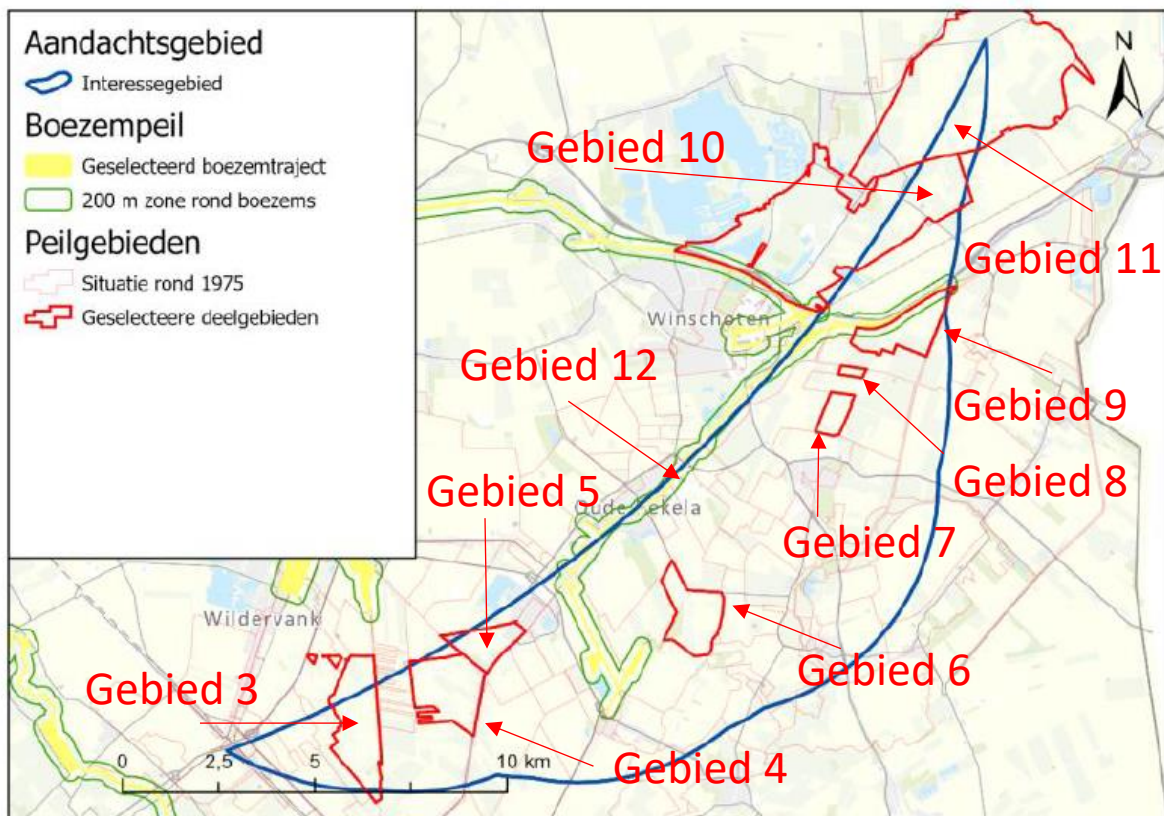


Figuur A-1 – aanduiding van de gebieden rondom Norg

## B Gebieden in de omgeving van de Pekela's en Winschoten

In het genoemde Deltares rapport zijn ten zuiden van Wildervank, in de omgeving van de Pekela's en ten oosten van Winschoten gebieden aangegeven, waarin de relatieve peilverandering als gevolg van de diepe bodemdaling op basis van de gehanteerde behoudende wijze van vaststelling meer dan 2 cm bedraagt. Deze negen gebieden zijn aangegeven in figuur B-1. Voor de verdere behandeling worden deze gebieden aangeduid als gebieden 3 tot en met 11.

Daarnaast heeft Deltares een gebied rondom het boezemwater aangegeven, waar de relatieve peilverandering volgens Deltares 9 cm bedraagt. Deze zone is verder aangeduid als gebied 12.



Figuur B-1 – aanduiding van de gebieden in de omgeving van de Pekela's en Winschoten

## C Beschrijving gebieden 1 t/m 12

### Gebieden 1 en 2

Vanwege de beperkte mate van wijziging van het waterpeil door diepe bodemdaling (tussen 2 cm en 5 cm), zijn hier op basis van de criteria in het Deltares rapport alleen de volgende mechanismen voor het ontstaan van zettingen mogelijk aan de orde:

- Aantasting van funderingshout (bij houten paalfundering)
- Krimp- of zwel van klei (indien klei onder het aanlegniveau van een ondiepe fundering)
- Veenoxidatie (indien veen onder het aanlegniveau van een ondiepe fundering)

Een randvoorwaarde voor het kunnen optreden van krimp van klei en oxidatie van veen is dat de laagste grondwaterstand zich in of beneden een veen- of kleilaag moet bevinden. Als deze daarboven

staat vinden deze processen niet plaats. Ingeval van de aanwezigheid van funderingshout moet de grondwaterstand zich rond of beneden de bovenzijde van de houten delen bevinden. Staat deze na de grondwaterstandsverlaging nog meer dan 0,1 m boven de bovenzijde van het hout, dan zal door een grondwaterstandsverlaging geen aantasting van het hout optreden.

Algemene karakteristiek van de omstandigheden in deze gebieden (informatief, per geval te verifiëren):

- Hoogteligging maaiveld circa NAP + 5,5 m tot + 6,5 m.
- Er komen tussen maaiveld en GLG plaatselijk dunne kleilagen voor met een dikte tot maximaal 0,3 m.
- Er komen tussen maaiveld en GLG plaatselijk veenlagen voor.

### **Gebieden 3 tot en met 5**

Vanwege de beperkte mate van wijziging van het waterpeil door diepe bodemdaling (tussen 2 cm en 5 cm), zijn hier op basis van de criteria in het Deltares rapport alleen de volgende mechanismen mogelijk aan de orde:

- Aantasting van funderingshout (bij houten paalfundering)
- Krimp- of zwel van klei (indien klei onder het aanlegniveau van een ondiepe fundering)
- Veenoxidatie (indien veen onder het aanlegniveau van een ondiepe fundering)

Algemene karakteristiek van de bodemopbouw in deze gebieden (informatief, per geval te verifiëren):

- Hoogteligging maaiveld circa NAP + 3,5 m.
- De bodem is overwegend opgebouwd uit zand.
- Er komen tussen maaiveld en GLG vrijwel nergens kleilagen of veenlagen voor.
- Gelet op de bodemgesteldheid, is het niet erg waarschijnlijk dat gebouwen in deze gebieden op palen zijn gefundeerd.

### **Gebieden 6 tot en met 9**

In deze gebieden bedraagt de wijziging van het waterpeil door diepe bodemdaling meer dan 2 cm maar minder dan 5 cm. Daarom zijn hier op basis van de criteria in het Deltares rapport alleen de volgende mechanismen mogelijk aan de orde:

- Aantasting van funderingshout (bij houten paalfundering)
- Krimp- of zwel van klei (indien klei onder het aanlegniveau van een ondiepe fundering)
- Veenoxidatie (indien veen onder het aanlegniveau van een ondiepe fundering)

Algemene karakteristiek van de bodemopbouw in deze gebieden (informatief, per geval te verifiëren):

- Hoogteligging maaiveld circa NAP + 1,5 m,
- In gebied 6 komt tussen maaiveld en GLG vrijwel geen klei voor met een dikte groter dan 0,1 m.
- In gebied 6 komt tussen maaiveld en GLG vrijwel nergens veen met een dikte van betekenis voor.
- In gebieden 7 tot en met 9 komen tussen maaiveld en GLG kleilagen voor met een dikte tussen 0,5 en 1 m.
- In gebieden 7 tot en met 9 komen tussen maaiveld en GLG zeer plaatselijk veenlagen voor.

### **Gebied 10**

In dit gebied bedraagt de wijziging van het waterpeil door diepe bodemdaling volgens de behoudende uitgangspunten van Deltares maximaal 8 cm. Daarom zijn hier op basis van het Deltares rapport de volgende mechanismen mogelijk aan de orde:

- Aantasting van funderingshout (bij houten paalfundering)
- Krimp- of zwel van klei (indien klei onder het aanlegniveau van een ondiepe fundering)
- Veenoxidatie (indien veen onder het aanlegniveau van een ondiepe fundering)
- Consolidatie door grondwaterstandverlaging.

Algemene karakteristiek van de bodemopbouw in deze gebieden (informatief, per geval te verifiëren):

- Hoogteligging maaiveld circa NAP tot NAP +0,5 m
- Uit de boringen blijkt dat er tussen maaiveld en GLG op veel plaatsen veenlagen voorkomen ter dikte van minder dan 1 m. De veenlagen liggen veelal boven het grondwaterpeil (!), waardoor veenoxidatie hier wel een rol speelt, maar niet als gevolg van mijnbouw.
- Er komen tussen maaiveld -0,5 m en de GLG kleilagen voor ter dikte van maximaal 0,5 m.
- Het zomerpeil bevindt zich op een niveau van NAP – 2,65 m, behalve in het zuiden en oosten, waar het op NAP – 2,1 m ligt.

### **Gebied 11**

In dit gebied bedraagt de wijziging van het waterpeil door diepe bodemdaling volgens de uitgangspunten van Deltares meer dan 2 cm maar maximaal tussen 3 en 4 cm. Daarom zijn hier op basis van het Deltares rapport alleen de volgende mechanismen mogelijk aan de orde:

- Aantasting van funderingshout (bij houten paalfundering)
- Krimp- of zwel van klei (indien klei onder het aanlegniveau van een ondiepe fundering)
- Veenoxidatie (indien veen onder het aanlegniveau van een ondiepe fundering)

Algemene karakteristiek van de bodemopbouw in deze gebieden (informatief, per geval te verifiëren):

- Hoogteligging maaiveld varieert tussen NAP – 1,3 m in het noorden tot NAP -0,5 m à - 1,0 m in het zuiden tot NAP - 0,25 m in het midden.
- In het westelijke en zuidelijke gedeelte bedraagt het zomerpeil NAP -2,65 m; in het noord-oostelijke deel NAP -2,5 m.
- Er komen tussen maaiveld -0,5 m en NAP -2,5 m à NAP – 3 m veenlagen voor (vooral in het noorden en westen), maar ook kleilagen en samenstellingen daarvan. Zandlagen komen vooral voor in het hoger gelegen middendeel.

### **Gebied 12**

Dit gebied grenst aan een boezem waar in het verleden een significante peilaanpassing als gevolg van de diepe bodemdaling heeft plaatsgevonden. Zonder nader onderzoek moet er van uitgegaan worden dat de zone, waarin dit invloed heeft, zich tot 200 m uit de boezem uitstrekt. De werkelijke omvang van deze zone is naar verwachting veel kleiner. Deltares geeft een nominale GLG verandering voor dit gebied van 0,09 m (9 cm).

Op basis van het Deltares rapport zijn de volgende mechanismen hier mogelijk aan de orde:

- Aantasting van funderingshout (bij houten paalfundering)
- Krimp- of zwel van klei (indien klei onder het aanlegniveau van een ondiepe fundering)
- Veenoxidatie (indien veen onder het aanlegniveau van een ondiepe fundering)
- Consolidatie door grondwaterstandverlaging.

Algemene karakteristiek van de bodemopbouw in deze gebieden (informatief, per geval te verifiëren):

- Hoogteligging maaiveld langs het kanaal tussen Nieuwe en Oude Pekela circa NAP + 1,5 m tot + NAP + 2 m, zijdelings afnemend tot NAP +1,5 m. Nabij Winschoten zijn deze hoogten NAP + 1 m en NAP -0,5 tot -1 m.
- In het algemeen varieert de grondwaterstand van 0,5 tot maximaal 2,5 m beneden maaiveld; op veel plaatsen bedraagt de minimale grondwaterstand ten minste 2 m beneden maaiveld.
- er komen tussen maaiveld en 1,5 m – mv vaak klei- en of veenlagen voor; vaak ook alleen zand.
- op een aantal plaatsen (vooral bij Nieuwe en Oude Pekela) komen ook veenlagen voor tussen mv – 1,5 m en mv – 2,5 m.
- Voorbij Winschoten, richting het noorden komt een volledig kleipakket voor.

## Onderdeel II – Mechanismen die tot verschilzettingen kunnen leiden<sup>1</sup>

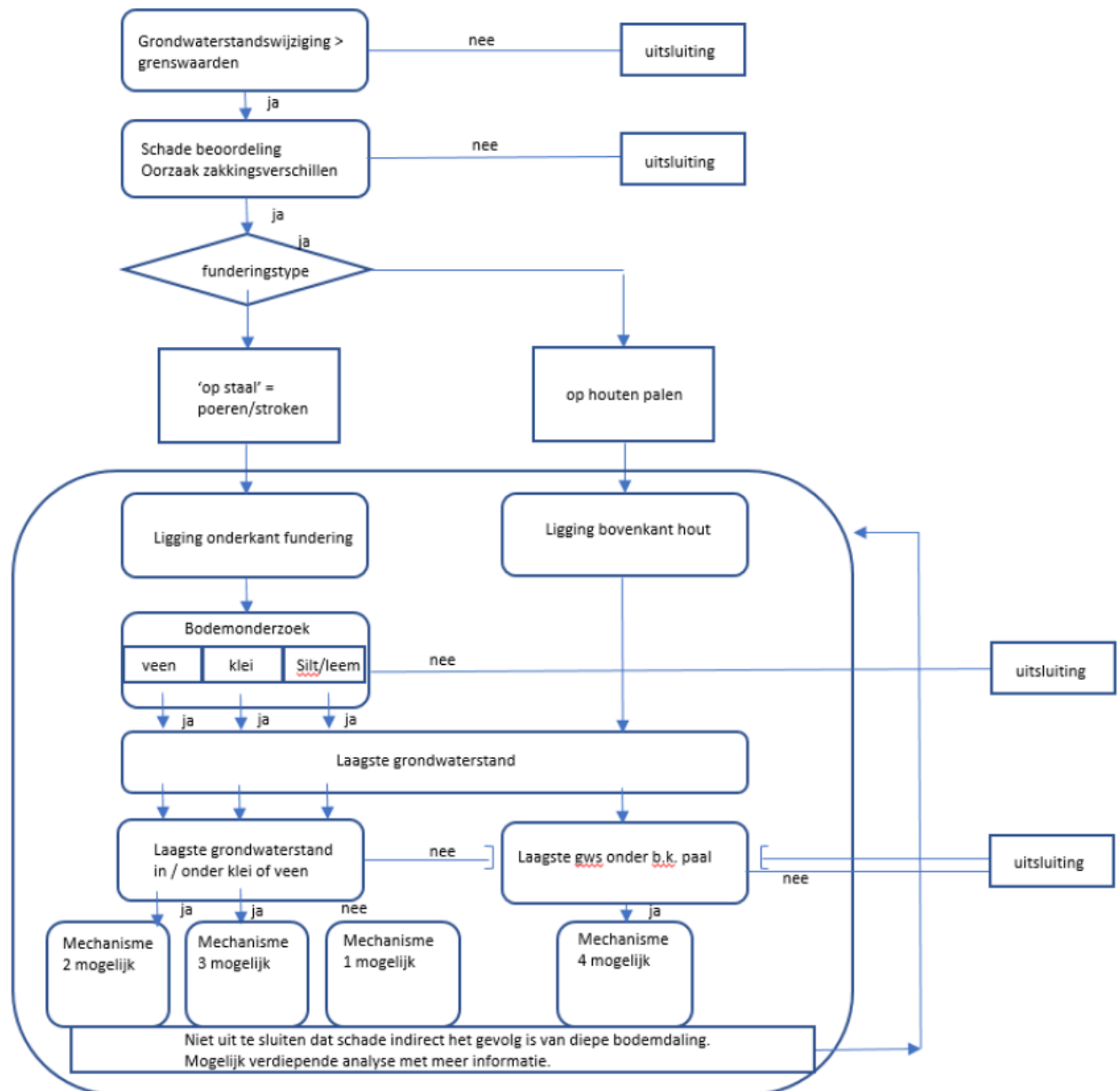
Mechanisme	toelichting
<p>Mechanisme 1 Ongelijkmatige zettingen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fundering op staal én</li> <li>Samendrukbare lagen onder funderingsniveau (klei, silt/leem, veen)</li> </ul>	<p>1</p>
<p>Mechanisme 2 Ongelijkmatige veen oxidatie</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fundering op staal,</li> <li>veen onder funderingsniveau én</li> <li>laagste grondwaterstand onder of in veenlaag.</li> </ul>	<p>2</p>
<p>Mechanisme 3 Ongelijkmatige krimp/zwel klei</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fundering op staal,</li> <li>klei onder funderingsniveau én</li> <li>laagste grondwaterstand onder of in klei.</li> </ul> <p><i>Opmerking: lijkt op 1 maar gaat om krimp i.p.v. consolidatie zetting en heeft andere voorwaarde m.b.t. grondwaterstand.</i></p>	<p>3</p>
<p>Mechanisme 4 Droogstaan houten paal</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fundering op houten palen én</li> <li>laagste grondwaterstand onder bovenkant hout</li> </ul>	<p>4</p>

### Relevantie van de mechanismen

mechanisme	Funderingstype	Grenswaarde grondwaterstandsvaling
1 Ongelijkmatige zettingen	Poeren/stroken (op staal)	< 0,05 m
2 Ongelijkmatige veen oxidatie	Poeren/stroken (op staal)	< 0,02 m
3 Ongelijkmatige krimp/zwel klei	Poeren/stroken (op staal)	< 0,02 m
4 Droogstaan houten paal	Fundering op houten palen	< 0,02 m

<sup>1</sup> Overgenomen uit: Deltares rapport 'Methode ter beoordeling schade', rapport 11207096-002-BGS-0003\_v0.2-Vraag B, Deltares 20 oktober 2021

## Beoordelingsschema<sup>2</sup> tot uitsluiting van mechanismen



<sup>2</sup> Overgenomen uit: Deltares rapport 'Methode ter beoordeling schade', rapport 11207096-002-BGS-0003\_v0.2-Vraag B, Deltares 20 oktober 2021

## Onderdeel III – Onderzoek ter plaatse

### **A** *Onderzoek naar type fundering en aanlegdiepte fundering*

Indien bouwtekeningen hierover onvoldoende informatie of onvoldoende zekerheid bieden (bijv. in geval van verbouwingen, aanbouwen, etc.), bestaat het nader onderzoek in dit geval uit het plaatselijk vrij graven van de fundering. Daarbij is de aan- of afwezigheid van een verbrede voet een aanwijzing voor de aanwezigheid van een ondiepe staalfundering. Om daarover zekerheid te verkrijgen moet met een prikstaaf worden gecontroleerd of onder het niveau van de verbrede voet toch nog een verdiepte fundering aanwezig is. Indien deze niet wordt aangetroffen, mag worden geconcludeerd dat sprake is van een ondiepe fundering op staal.

In gebieden waar de slappe toplagen een geringe dikte hebben komt het voor dat de fundering bestaat uit gemetselde kolommen, met daartussen gemetselde bogen. In voorkomende gevallen moet het aanlegniveau van de kolommen worden gezien als het aanlegniveau van de fundering. Dat niveau kan zich gemakkelijk 1 m beneden de grondwaterstand bevinden. Om informatie te verkrijgen over het al of niet aanwezig zijn van verdiept aangelegde kolommen, moeten deze worden opgezocht en worden onderzocht. Het is gebruikelijk dat een kolom zich op de hoek van een gevel bevindt of ter plaatse van de aansluiting van een scheidingswand op een gevel.

In geval van een fundering op staal moet altijd worden gecontroleerd of beneden de staalfundering een grondverbetering aanwezig is. Dat kan worden getoetst door m.b.v. een grondboor schuin onder de funderingsstroken de grond op te boren of met een prikstaaf de weerstand tegen indringing te bepalen. Voor meer informatie, zie de Werkinstructie - technische aspecten nader funderingsonderzoek<sup>3</sup>.

### **B** *Onderzoek naar de opbouw van de ondiepe ondergrond*

Voor het beoordelen van de effecten van een grondwaterstandsverandering moet tot een diepte van 5 m beneden het maaiveld inzicht bestaan in de gelaagdheid van de ondergrond (samenstelling en dikte lagen).

De grondsoort en laagdikte kan worden bepaald met behulp van tenminste één handboring tot een diepte van zo mogelijk 5 m beneden het maaiveld. In afwijking van het gestelde in het Deltares<sup>4</sup> rapport, waarin 3 boringen worden gevraagd, mag worden volstaan met één boring bij het meest gezakte deel van het pand. Grondwaterstandsdalingen op een grotere diepte dan 5 m zullen nauwelijks bijdragen aan de zetting door grondwaterstandsdalingen van enkele centimeters. De bijdrage aan de zetting is namelijk afhankelijk van de relatieve korrelspanningsverandering en die neemt zeer snel af met de diepte.

De booropbrengst moet worden geïdentificeerd conform NEN-EN-ISO 14688-1, beschrijfkwaliteit B2 (standaard monsterbeschrijving). Het aantal boringen moet ten minste 2 bedragen, waarvan 1 te maken nabij een hoek van een pand, op een afstand < 5 m tot het pand. Indien relevant, bijvoorbeeld

---

<sup>3</sup> Ing. H.J. Everts, Werkinstructie - technische aspecten nader funderingsonderzoek, 20 juni 2022

<sup>4</sup> Zie pagina 6/10 van Deltares rapport 'Methode ter beoordeling schade', rapport 11207096-002-BGS-0003\_v0.2-Vraag B, Deltares 20 oktober 2021



bij een grote schadeomvang, kan ter ondersteuning van de boring en een verbeterde schatting van de samendrukbaarheid een sondering worden gemaakt met meting van de plaatselijke kleef conform NEN-EN-ISO 22476-1; 2012; klasse 3 of hoger. De sondering moet worden gemaakt tot een diepte van minimaal 10 m en op een afstand < 10 m tot het pand.

Voor het maken van indicatieve berekeningen is in het algemeen geen onderzoek op grondmonsters in het laboratorium nodig. Voor meer nauwkeurige berekeningen is dat wel het geval. Zie daartoe onderdeel D2 van deze bijlage.

## **C Bepaling GLG**

Voor de effecten van de verandering van de grondwaterstand is van belang een schatting te doen van de gemiddeld laagste grondwaterstand.

Deze laagste standen kunnen worden ontleend aan meerjarige waarnemingen in representatieve peilbuizen. Meestal kan daarmee worden volstaan, al kunnen door bijzondere omstandigheden, zoals de aanwezigheid van grote bomen of watergangen, binnen een perceel grote verschillen voorkomen in GLG. In geval van de aanwezigheid van een houten paalfundering is een meer nauwkeurige bepaling van de GLG vereist en moet ook de te maken boring worden geraadpleegd.

In gevallen waarin een meer nauwkeurige bepaling van de ligging van de GLG nodig is om te kunnen besluiten of een mechanisme relevant kan zijn, moet worden teruggegrepen op representatieve peilbuizen. Ofwel één of meerdere peilbuizen nabij het gebouw (afstand niet groter dan 50 m), die maandelijks of vaker zijn waargenomen, over een totale periode van minstens 3 jaar na 1980. Voor de bepaling van de GLG uit meetgegevens worden per jaar de 3 laagste grondwaterstanden gemiddeld over de periode van 1 april tot en met 31 maart (het hydrologisch jaar). Het gemiddelde van deze jaarlijkse waarden over een periode van ten minste 8 jaar, waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden, wordt gebruikt als GLG.

Indien twijfel bestaat over het representatief zijn van de waarnemingen in een op relatief grote afstand aanwezige peilbuis, kan worden overwogen om nabij het pand een nieuwe peilbuis te plaatsen, deze gedurende een jaar te peilen en vervolgens de waarnemingen te vergelijken met de waarnemingen in de peilbuis op enige afstand.

Indien peilbuizen ontbreken of indien er onvoldoende waarnemingen zijn, dient de GLG te worden bepaald op basis van een uit te voeren handboring. Hierin is de GLG zichtbaar als de grondlaag, waarbij nog verkleuring door oxidatie zichtbaar is. Voor gedetailleerde achtergrondinformatie wordt verwezen naar een memo van Deltares<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Roelof Stuurman - Bepaling Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) op basis van hydromorfe kenmerken, dit betreft bijlage A van 'Methode ter beoordeling schade', Deltares rapport 11207096-002-BGS-0003\_v0.2-Vraag B, Deltares 20 oktober 2021

## **Onderdeel IV – Kwantificering van de invloed op zettingen en zettingsverschillen door consolidatie, veenoxidatie en krimp van klei**

Hieronder zijn handvatten geformuleerd om tot een behoudende schatting voor de zetting te komen. In A1 en A2 is het mechanisme consolidatie behandeld, in B het mechanisme veenoxidatie en in C het mechanisme krimp van klei.

### **A1 *Bepaling van de zakking door consolidatie als gevolg van grondwaterstandsaling op basis van alleen handboringen***

Dit onderdeel gaat in op de zakking door consolidatie. Daarmee wordt in dit geval bedoeld de samendrukking van grondlagen door een vergroting van de afstand tussen maaiveld en de freatische grondwaterstand. Consolidatie is een grondmechanisch begrip, dat de samendrukking van grond beschrijft als gevolg van verandering van waterspanningen. Door diepe bodemdaling verandert mogelijk de ligging van de grondwaterspiegel ten opzichte van het maaiveld. We spreken dan van een relatieve grondwaterspiegelverandering. De verandering van de relatieve waterspanning treedt in de tijd meestal simultaan op met de bodemdaling; dus heel erg langzaam. In geval van een peilverandering in een boezem of polder verloopt dat sprongsgewijs en ligt dat anders.

In dit onderdeel wordt beschreven hoe groot de zakking op basis van behoudende uitgangspunten maximaal kan zijn, als gevolg van de in die gebieden mogelijk opgetreden relatieve grondwaterstandsaling door mijnbouw. De mate waarin een grondwaterstandsverlaging leidt tot een zakking is afhankelijk van de volgende factoren:

- de grootte van de relatieve grondwaterstandsverlaging; hierbij is per deelgebied uitgegaan van de door Deltares aangegeven maximale waarde;
- de beginspanning in de ondergrond voorafgaande aan de verlaging. Die beginspanning is onder een (stijve) keldervloer anders dan onder een strokenfundering;
- de aanwezige grondsoorten en de samendrukbaarheid daarvan. In zandlagen leidt een grondwaterstandsaling niet tot een in de praktijk relevante zakking en zakkingsverschillen, in klei en veen wel.

Om een indruk te verkrijgen van welke zakking in een deelgebied kan worden verwacht, is voor een aantal deelgebieden de zakking berekend onder een funderingsstrook. Daarbij is gebruik gemaakt van de theorie volgens Terzaghi-Buisman-Koppejan.

#### **Uitgangspunten**

Als uitgangspunt is gehanteerd dat de GLG evenveel zakt als de gemiddelde grondwaterstand. Meer in detail zijn bij het berekenen van de zettingen door consolidatie de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- een funderingsstrook ter breedte van 0,5 m, aangelegd op een diepte van 0,5 m.
- een gemiddelde funderingsdruk op de stroken van 25 kPa.
- een grondwaterspiegel volgens polderpeil.
- de consolidatie wordt bepaald door beschouwing van de eerste 5 m grond vanaf maaiveld. Grondwaterstandsalingen kunnen tot op een grotere diepte dan 5 m nauwelijks bijdragen aan de zetting door grondwaterstandsalingen van enkele centimeters. De bijdrage aan de zetting is namelijk afhankelijk van de relatieve korrelspanningsverandering en die neemt zeer snel af met de diepte.

- geen overconsolidatie van de grond t.o.v. korrelspanningen voorafgaande aan de grondwaterstands daling.
- in dwarsrichting stijve funderingsstroken.
- een grondopbouw tot 5 m diepte gebaseerd op DINO gegevens en een handboring.
- realistische grondparameters, met als basis NEN9997-1.
- de beschouwde zettingsperiode is 30 jaar.
- de gepresenteerde zakking als functie van de verlaging van de gemiddelde grondwaterstand is bepaald uit het verschil van twee berekende totaalzakkingen, te weten: de zakking  $z_2$ , zijnde de zakking als gevolg van eigen gewicht + de grondwaterspiegeldaling en  $z_1$ , zijnde de zakking door alleen het eigen gewicht van het pand en met een niet verlaagde grondwaterspiegel.

Uit de rapportage van IMG blijkt dat zakking door consolidatie alleen relevant is in de gebieden 10 en 12. Die gebieden zijn onderstaand beschouwd. Voor deelgebied 10 is, conform de rapportage van Deltares, een grondwaterspiegeldaling van 0,08 m aangehouden; voor deelgebied 12 is 0,09 m aangehouden.

### **Gehanteerde relatie tussen zakking en verlaging grondwaterstand**

Uit een interpretatie van het binnen de deelgebieden aanwezige grondonderzoek blijkt dat binnen de relevante diepte van 5 m beneden het maaiveld en beneden de grondwaterstand, de dikte van de klei- en veenlagen sterk varieert. Dat is vooral het geval in deelgebied 12. Om die reden is er voor gekozen om de zakking als gevolg van een grondwaterspiegeldaling te bepalen met de volgende relatie:

zakking = een factor \* de dikte van de laag \* de verlaging van de grondwaterstand.

In formulevorm:

$$w_{\text{cons}} = a * d * \Delta_{\text{gws}}$$

waarin:

$w_{\text{cons}}$  is de zakking in m als gevolg van een grondwaterstandsverlaging  $\Delta_{\text{gws}}$ , van een klei- of veenlaag met dikte  $d$  (m);

$a$  is de factor, die de mate van indrukking weergeeft van een klei- of veenlaag, als gevolg van een grondwaterspiegelverlaging. (1/m).

$d$  is de dikte van de beschouwde klei- of veenlaag (m) beneden de fundering en beneden de grondwaterspiegel.

$\Delta_{\text{gws}}$  is de verlaging van de gemiddelde grondwaterstand (m) zoals aangegeven door Deltares. Voor deelgebied 10 kan worden uitgegaan van  $a = 0,03 \text{ m}^{-1}$  voor zowel de klei- als veenlagen;

Voor deelgebied 12 kan worden uitgegaan van  $a = 0,08 \text{ m}^{-1}$  voor veenlagen en  $a = 0,05 \text{ m}^{-1}$  voor kleilagen.

Indien meer kleilagen of veenlagen aanwezig zijn, mag de gesommeerde dikte van de kleilagen of veenlagen worden gehanteerd. Onderdeel V van dit achtergrondrapport bevat de consolidatieberekeningen van typische bodemprofielen in gebieden 10 en 12, die de basis vormen voor deze waarden van de factor  $a$ .

## **A2 Bepaling zakking door consolidatie als gevolg van grondwaterstandsaling op basis van extra onderzoek.**

In gevallen met een grote omvang van de schade kunnen die schattingen naar behoefte worden vervangen door berekende of bepaalde waarden. Dat geldt vooral de funderingsdruk, de beginspanning voorafgaande aan de GLG-verlaging, het aanlegniveau van de fundering (wel of geen kelders), de samendrukbaarheid van de ondergrond en de waterspanningen.

### *De beginspanning in de ondergrond*

De beginspanning in de ondergrond voorafgaande aan de waterspanningsverlaging wordt in de toplagen mede bepaald door de belasting op de fundering. Na opgraven van die fundering en het bepalen van het gewicht van de bovenbouw is die funderingsdruk te berekenen. Een veel voorkomende funderingsdruk is 25 à 30 kPa.

### *Opbouw ondergrond en samendrukbaarheid*

Om een minimaal inzicht te krijgen in de bodemopbouw is een ter plaatse uit te voeren handboring noodzakelijk. In relevante gevallen (bijvoorbeeld bij een grote omvang van de schade) kan het nodig zijn dat inzicht te vergroten door aanvullend onderzoek, zoals het uitvoeren van minimaal twee sonderingen en een boring tot aan de watervoerende zandlaag. Aan de boring kunnen dan ongeroerde grondmonsters worden ontleend, waarvan in het laboratorium ten minste het droge en natte volumegewicht en de samendrukbaarheid moeten worden bepaald. Wat betreft het aantal proeven mag dat worden afgestemd op de samenstelling en diepteligging van de lagen. Indicatie: 2 monsters per te onderscheiden pakket met een dikte van meer dan 1 m.

### *De waterspanningen*

In de berekening van de grootte van de korrelspanningsverhoging als gevolg van de grondwaterspiegeldaling is rekening gehouden met een even veel veranderde stijghoogte in de (diepe) watervoerende laag. Waterspanningsmetingen kunnen leiden tot een aanpassing daarvan.

### *Het berekeningsmodel*

De berekening van de zakking moet vervolgens worden gemaakt volgens NEN9997-1.

## **B Bepaling van de zakking door veenoxidatie als gevolg van grondwaterstandsaling**

Bodemdaling door veenoxidatie is een onomkeerbaar proces. De maaiveldaling kan wel twee centimeter per jaar bedragen en hangt naast het soort veen af van de bodemopbouw en van het waterpeil in de sloten. Uit een onderzoeksrapport van Alterra<sup>6</sup> blijkt dat de toename van maaiveldaling door veenoxidatie evenredig is met de mate van verlaging van de GLG en daarnaast ook een tijdgebonden proces is.

Op basis van paragraaf 3.3 (en tabel 3-3) van het Alterra rapport kan het volgende worden geconcludeerd:

- De in Zegveld waargenomen dikteafname per jaar, uitgaande van veen dat volledig droogvalt, is gelijk is aan 2 mm/jaar per decimeter GLG verlaging.

---

<sup>6</sup> P.C. Jansen, E.P. Querner, C. Kwakernaak - Effecten van waterpeilstrategieën in veenweidegebieden – een scenariostudie in een gebied met klei op veen rond Linschoten, Alterra rapport 1666, Wageningen 2008

- De dikteafname per jaar is lineair met de GLG verlaging.
- De dikteafname is constant in de tijd (bij gelijkblijvende GLG verlaging).

Dat betekent dat de zetting  $w_{ox}$  ten gevolge van veenoxidatie kan worden berekend als:

$$w_{ox} = a * t * \Delta_{GLG}$$

Waarin:

$w_{ox}$  is de zetting door veenoxidatie

$t$  is de tijd (jaar)

$\Delta_{GLG}$  is de extra verlaging van de GLG.

$a$  is een tijdconstante, op basis van  $c = 2$  mm per jaar per dm, ofwel  $a = 0,02$  (1/jaar)

Voor  $t = 50$  jaar wordt hiermee gevonden dat  $w_{ox} = \Delta_{GLG}$ .

Omdat de GLG verlaging niet constant is geweest in de tijd is de werkelijke bodemdaling door oxidatie geringer. De formules zijn lineair, zodat de berekening gemaakt mag worden met de gemiddeld over de tijd opgetreden GLG verlaging. Ongeveer 50 jaar geleden is de bodemdaling door gaswinning begonnen. Als wordt aangenomen dat de gemiddelde GLG verlaging in deze 50 jaar de helft is geweest van de maximale, is het resultaat voor  $w_{ox}$  de helft van de eindwaarde.

Op basis hiervan wordt aangehouden dat het dikteverlies door veenoxidatie gelijk is aan de helft van de maximaal optreden GLG verlaging gedurende 50 jaar, dus  $w_{ox} = \frac{1}{2} * \Delta_{GLG}$ .

### **C Bepaling van de zakking door krimp van klei als gevolg van grondwaterstands daling**

Krimp en zwel treden op als gevolg van verandering in watergehalte; vooral in kleilagen, maar in mindere mate ook in leem- en veenlagen. Voor funderingen spelen krimp en zwel alleen een rol in de lagen tussen het funderingsniveau en de laagste grondwaterstand. Hoewel krimp en zwel tegengestelde processen zijn, die leiden tot verschillen in grootte van de grondverplaatsing, wordt verondersteld dat deze effecten, bij herhaald optreden, even grote verplaatsingen veroorzaken en dus omkeerbaar zijn.

In geval van krimp treden door het verlagen van het vochtgehalte zeer grote zuigspanningen op, die het kleinst zijn nabij de grondwaterspiegel en het grootst nabij het maaiveld.

De grondwaterstand varieert gedurende het seizoen; in de zomer staat deze laag en in de winter hoger. Variaties in waterstand leiden tot variaties in vochtgehalte boven de grondwaterspiegel. Dat leidt tot reversibele variaties in maaiveldhoogte. Met name de ongelijkmatigheid van deze hoogtevariaties over de afmetingen van een gebouw kunnen aanleiding geven tot schade.

De opgetreden seizoensgebonden variatie van de hoogte van het maaiveld in de gebieden 1 tot en met 11 blijkt op basis van InSAR metingen (zie: [www.bodemdalingskaart.nl](http://www.bodemdalingskaart.nl)) in de orde van 20 tot 30 mm te bedragen.

Bij een bodem volledig opgebouwd uit klei, verloopt de krimp in grootte van de maximale waarde op maaiveldniveau tot 0 ter plaatse van de verlaagde GLG. De verschillende mate van krimp over de volledige hoogte van het bodemprofiel tussen maaiveld en GLG draagt daardoor bij aan de variatie

van de maaiveldhoogte. Ook de bodemlaag boven het aanlegniveau van de fundering draagt dus nog bij aan de variatie van de maaiveldhoogte, maar niet aan de zakkingsverschillen van de funderingen.

Over de grootte van de krimp van kleilagen in de desbetreffende gebieden bestaat voornamelijk weinig zekerheid. Daarom is uitgegaan van een eenvoudig krimpmodel. Uit de combinatie van deze InSAR praktijkwaarneming van de hoogtevariatie van het maaiveld met het ter plaatse waargenomen verschil tussen GLG en GHG, kan de maximale waarde van krimpfactor  $C_{kw}$  worden geschat. Daarbij is de aanname gedaan dat het zakkingsverschil in het maaiveld geheel veroorzaakt wordt door het verschil tussen GLG en GHG.<sup>7</sup> Omdat de diverse waarnemingen verschillen tonen, is hier uitgegaan van een 5 % bovengrens<sup>8</sup> van  $C_{kw}$ . Hiermee volgt  $C_{kw} = 0,07$ .

Bij de berekening van het effect van de krimp op de zakking van een gebouw is er voorts van uitgegaan dat:

- de volledige zakking door krimp als gevolg van de GLG wijziging optreedt in de bodemlagen onder het aanlegniveau van de fundering. Dit is een behoudend uitgangspunt.
- het zettingsverschil over de dragende wanden van het gebouw gelijk is aan de volledige zakking door krimp van het maaiveld; ook dit is een behoudend uitgangspunt.

Hiermee bedraagt het maximale zakkingsverschil:

$$w_{krimp} = \Delta_{GLG} * C_{kw}$$

## **D Voorbeeldberekening**

Onderstaand wordt een realistisch voorbeeld uitgewerkt. Het gaat om de volgende case:

- een gebouw in gebied 10
- een fundering op staal (aanlegniveau boven sterk samendrukbare lagen)
- onder de fundering is een kleilaag van 1 m dikte aanwezig
- de GLG ligt in de kleilaag onder het aanlegniveau van de fundering
- de verlaging van de GLG door diepe bodemdaling bedraagt op de desbetreffende locatie 70 mm ( $\Delta_{GLG} = 0,07$  m)

De zakking op funderingsniveau door krimp bedraagt dan:

$$W_{krimp} = \Delta_{GLG} * C_{kw}$$

$$w_{krimp} = 70 * 0,07 = 4,9 \text{ mm.}$$

De zakking door consolidatie wordt bepaald met:

$$w_{cons} = a * d * \Delta_{gws}$$

Met  $a = 0,03 \text{ m}^{-1}$  en  $d = 1 \text{ m}$  volgt dan:

$$w_{cons} = 0,03 * 1 * 0,07 = 0,0021 \text{ m (2,1 mm)}$$

---

<sup>7</sup> Ook andere aannamen voor het verloop van de krimp over de hoogte zijn mogelijk, bijv. lineair verlopend. Deze andere aannamen leiden tot een complexere berekening, terwijl de resultaten niet wezenlijk verschillen.

<sup>8</sup> Gebaseerd op een verwachtingswaarde van 0,040 en een standaardafwijking van 0,017.

De helft van de maaiveldzakking door consolidatie leidt tot een zakkingsverschil in het gebouw, dus 1,1 mm.

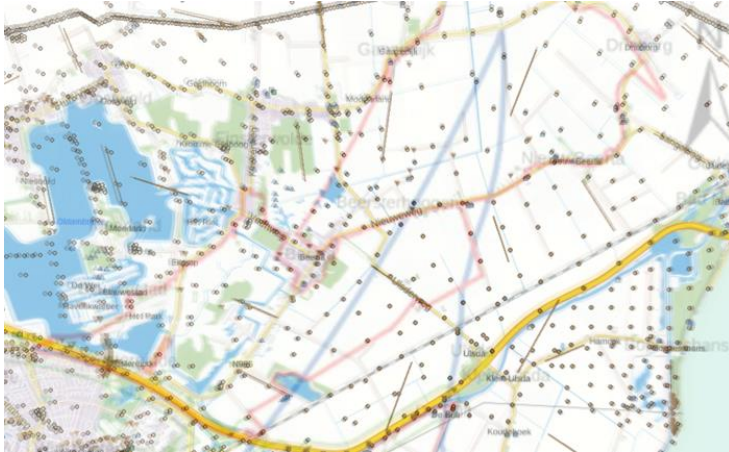
De totale verschilzakking in het gebouw bedraagt hiermee  $1,1 + 4,9 = 6,0$  mm.





Uit figuur V-2 blijkt dat het maaiveldniveau binnen deelgebied 10 weinig in hoogte varieert en ligt tussen NAP en NAP +0,5 m.

In figuur V-3 zijn alle binnen deelgebied 10 aanwezige boringen en sonderingen weergegeven, zoals die beschikbaar zijn via [www.dinoloket.nl](http://www.dinoloket.nl).



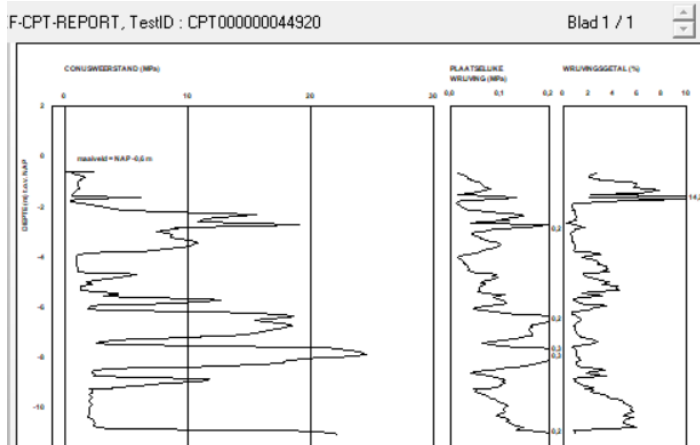
*Figuur V-3: Binnen het interessegebied aanwezig grondonderzoek.*

In figuur V-4 is het beschikbare grondonderzoek meer in detail weergegeven voor deelgebied 10.



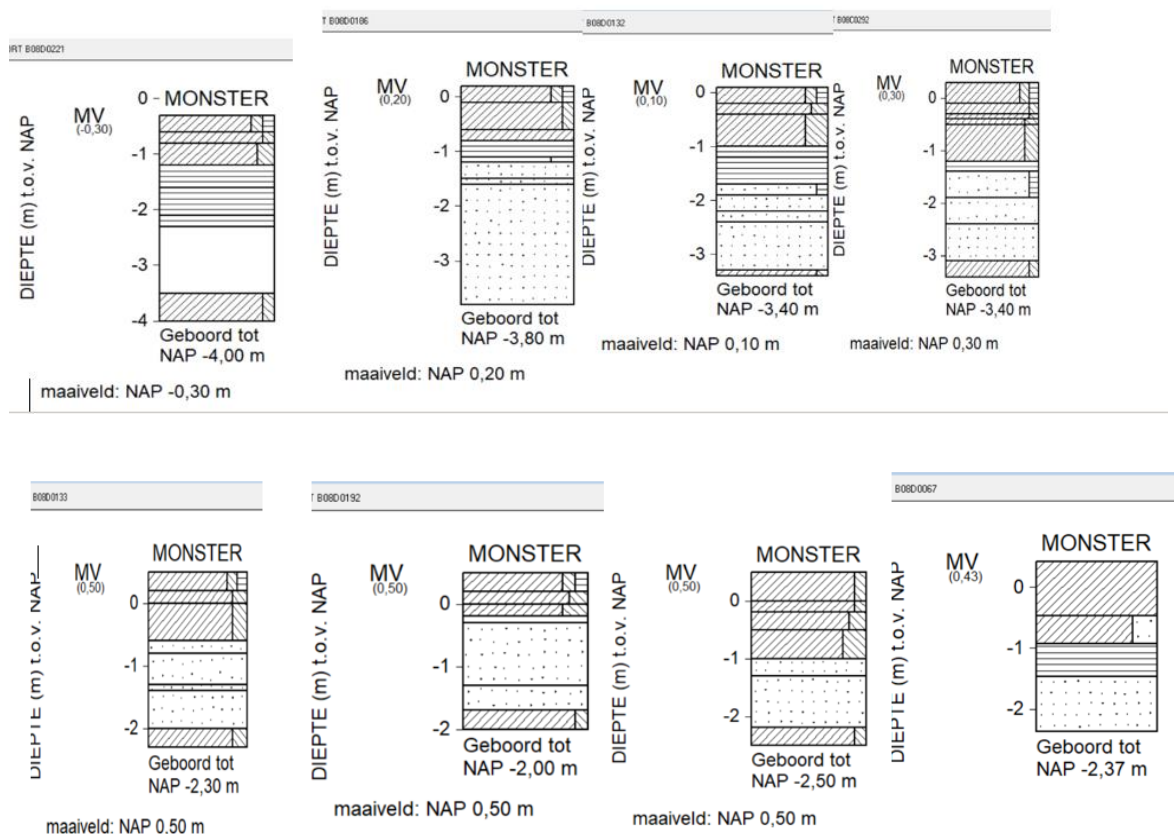
*Figuur V-4 In het Dinoloket beschikbare grondonderzoek voor deelgebied 10.*

In figuur V-5 is een sondering weergegeven voor deelgebied 10. Daaruit blijkt dat de toplagen relatief samendrukbaar zijn, maar slechts tot een geringe diepte voorkomen.



Figuur V-5 Sondering deelgebied 10.

In figuur V-6 zijn in deelgebied 10 aanwezige boringen weergegeven (Bron: Dinoloket)



Figuur V-6 In deelgebied 10 gemaakte boringen (Bron: Dinoloket)

In figuur V-7 is de in- en uitvoer gegeven van een zettingsprogramma. Als input is gebruikt een grondopbouw, zoals is weergegeven in de boorprofielen linksboven of rechtsonder in figuur V-6. Een circa 1 m dikke veenlaag bevindt zich op geringe diepte (1 à 1,5 m beneden het maaiveld). De volgende grondopbouw is aangehouden:

- Maaiveld tot NAP -1,5 m: klei, uitgedroogd
- NAP -1,5 tot NAP -2,5 m: veen, deels droog gestaan

- NAP - 2,5 m tot -3,5 m: zand
- NAP -3,5 tot -5 m: klei.

Het maaiveld bevindt zich in dit gebied op ongeveer NAP tot NAP +0,5 m. Uitgegaan is van NAP.

Het zomerpeil ligt op NAP – 2,1 m, of, afhankelijk van de locatie, op NAP -2,65 m. Veiligheidshalve is een hoog polderpeil aangehouden, waardoor de berekende zakking groter wordt.

Uit alle boringen in deelgebied 10 blijkt dat de veenlaag zich op een geringe diepte bevindt. De gemiddelde grondwaterstand bevindt zich vaak boven de veenlaag en soms in de veenlaag. Dat betekent dat de GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) steeds lager ligt dan de onderkant van de veenlaag. Om die reden is voor de samendrukkingsconstante van de veenlaag een bijna 2 maal zo hoge waarde gekozen, als in NEN9997-1 is aangegeven voor veen, dat niet onderworpen is aan “droogstand”.

Uit de berekeningen blijkt (zie de figuren V-7 en V-8), dat de zakking van het gebouw bij de genoemde fictieve bodemopbouw, zonder grondwaterstandsverlaging, 66,7 mm bedraagt (zie figuur V-7) en met een grondwaterstands daling 71,1 mm (zie figuur V-8).

Dat betekent dat de grondwaterspiegeldaling een zetting heeft veroorzaakt van  $71,1 - 66,7 = 4,4$  mm.

In dit deelgebied volgt dat in de 0,5 m dikke veenlaag beneden de gws, als gevolg van een grondwaterspiegeldaling van 0,08 m, een zetting kan optreden van  $(0,0023+0,0087) - (0,0021+0,0077) = 0,012$  mm (zie figuren V-8 resp. V-7), hetgeen leidt tot een a-waarde van  $(0,0012/(0,5*0,08) = 0,03$ .

In de 1,5 m dikke kleilaag is door de gws-verlaging een zakking opgetreden van  $(0,0125-0,0095) = 3$  mm. Dat leidt tot een a-waarde van  $0,003/(1,5*0,08) = 0,025$ .

*Gemakshalve wordt voor beide grondsoorten voor deelgebied 10 een a-waarde van 0,03 aangehouden.*

Wordt deze a-waarde toegepast op de boringen, zoals zijn weergegeven in figuur V-6, dan is de boring linksboven maatgevend. Deze boring is niet gemaakt tot de vereiste diepte van 5 m. Uit de sondering blijkt dat beneden NAP – 2 m zich nog 0,5 m klei kan bevinden. De totale slappe laagdikte beneden de gws bedraagt dan 0,2 m veen + 0,5 m klei= 0,7 m. De te verwachten zakking als gevolg van een grondwaterstandsverlaging van 0,08 m bedraagt dan:

$$z = 0,03 * 0,7 * 0,08 = 1,7 \text{ mm.}$$

Uit de schematisatie blijkt overigens ook dat de grondwaterspiegel zich op veel plaatsen beneden de onderzijde van de veenlaag bevindt, zodat in gebied 10 oxidatie van veen wel een rol speelt, maar dat die oxidatie niet wordt verergerd door de mijnbouw.

Invoer			Bovenbelasting			Belastingspreiding			tijd		
<b>Grondwaterstanden</b>			H	1,00	m <sup>1</sup>	Lengte	10	m	(of/of)	30	jr dgn
begin	-2,10	m	$\gamma_{dloog}$	25,00	kN/m <sup>3</sup>	Breedte	0,5	m			
end	-2,10	m	$\gamma_{sat}$	35,00	kN/m <sup>3</sup>	Niveau	-0,50	m			
<b>Stijghoogte onderzijde</b>			P	25	kN/m <sup>2</sup>	F <sub>rep</sub>	125	kN			
begin	-2,10	m									
end	-2,10	m									

laag nr.	bovenzijde (m)	onderzijde (m)	laag (code)	omschrijving	$\gamma_{dr}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$P_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	C' (-)	C' <sub>p</sub> (-)	C' <sub>s</sub> (-)	cv (m <sup>2</sup> /s)	drained correctie (j/n)	$\delta H$ (-)	$\delta H$ (m)
1	0,00	-0,50	i	klei, zandig	18,0	18,0	25,0	33	400	1,0E-07	n	1,0	0,0000	
2	-0,50	-1,50	i	klei, zandig	18,0	18,0	25,0	33	400	1,0E-07	n	1,0	0,0261	
3	-1,50	-2,10	y	veen NEN99971	12,0	12,0	6,0	12	48	5,0E-08	n	1,0	0,0212	
4	-2,10	-2,18	y	veen NEN99971	12,0	12,0	6,0	12	48	5,0E-08	n	1,0	0,0021	
5	-2,18	-2,50	y	veen NEN99971	12,0	12,0	6,0	12	48	5,0E-08	n	1,0	0,0077	
6	-2,50	-3,50	n	zand, vast	19,0	21,0	900,0	938	-	1,0E-02	j	1,0	0,0001	
7	-3,50	-5,00	w	klei slap norm	14,0	14,0	7,3	10	110	5,0E-08	n	1,0	0,0095	
<b>Totaal</b>													<b>0,0667</b>	

Figuur V-7: Zettingsberekening gebied 10 zonder grondwaterstandsaling.

Invoer			Bovenbelasting			Belastingspreiding			tijd		
<b>Grondwaterstanden</b>			H	1,00	m <sup>1</sup>	Lengte	10	m	(of/of)	30	jr dgn
begin	-2,10	m	$\gamma_{dloog}$	25,00	kN/m <sup>3</sup>	Breedte	0,5	m			
end	-2,18	m	$\gamma_{sat}$	35,00	kN/m <sup>3</sup>	Niveau	-0,50	m			
<b>Stijghoogte onderzijde</b>			P	25	kN/m <sup>2</sup>	F <sub>rep</sub>	125	kN			
begin	-2,10	m									
end	-2,18	m									

laag nr.	bovenzijde (m)	onderzijde (m)	laag (code)	omschrijving	$\gamma_{dr}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$P_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	C' (-)	C' <sub>p</sub> (-)	C' <sub>s</sub> (-)	cv (m <sup>2</sup> /s)	drained correctie (j/n)	$\delta H$ (-)	$\delta H$ (m)
1	0,00	-0,50	i	klei, zandig	18,0	18,0	25,0	33	400	1,0E-07	n	1,0	0,0000	
2	-0,50	-1,50	i	klei, zandig	18,0	18,0	25,0	33	400	1,0E-07	n	1,0	0,0261	
3	-1,50	-2,10	y	veen NEN99971	12,0	12,0	6,0	12	48	5,0E-08	n	1,0	0,0215	
4	-2,10	-2,18	y	veen NEN99971	12,0	12,0	6,0	12	48	5,0E-08	n	1,0	0,0023	
5	-2,18	-2,50	y	veen NEN99971	12,0	12,0	6,0	12	48	5,0E-08	n	1,0	0,0087	
6	-2,50	-3,50	n	zand, vast	19,0	21,0	900,0	938	-	1,0E-02	j	1,0	0,0001	
7	-3,50	-5,00	w	klei slap norm	14,0	14,0	7,3	10	110	5,0E-08	n	1,0	0,0125	
<b>Totaal</b>													<b>0,0711</b>	

Figuur V-8: Zettingsberekening deelgebied 10 met een constante grondwaterspanningsafname van 0,08 m over de gehele pakketdikte tot NAP – 5 m.

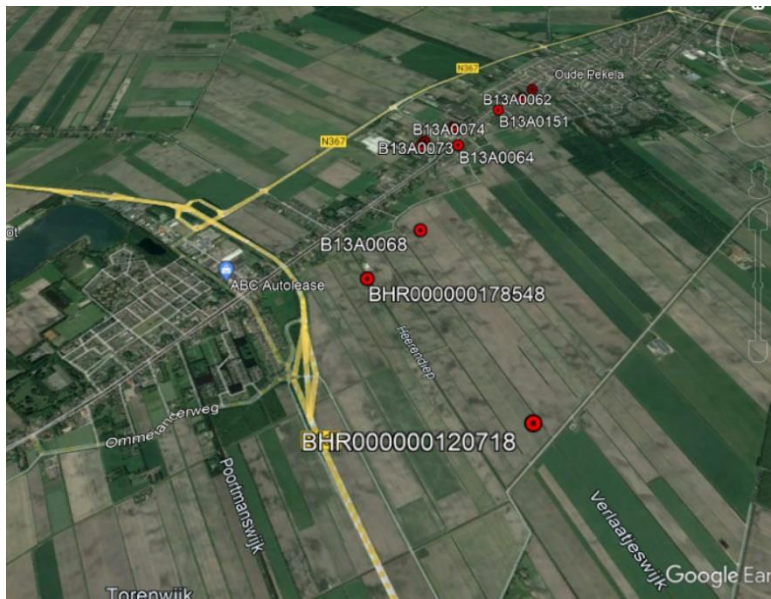
## Analyse van deelgebied 12.

Deelgebied 12 betreft de oevers van een kanaal. In deelgebied 12 worden 3 sub-gebieden onderscheiden, te weten (zie ook figuur 2):

- 4.3.1 Nieuwe Pekela
- 4.3.2- Oude Pekela
- 4.3.3- Winschoten

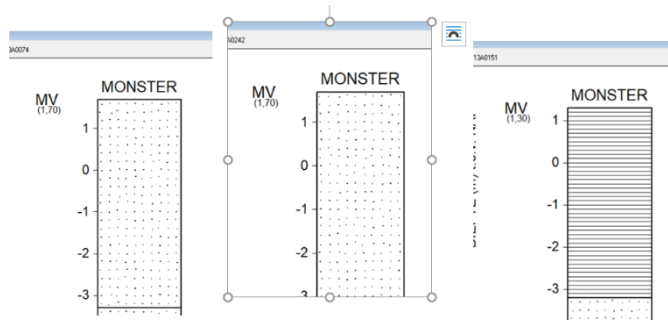
### 4.3.1 Deelgebied Nieuw Pekela.

Onderstaand wordt eerst het in het Dino-loket beschikbare grondonderzoek weergegeven voor Nieuwe Pekela.



Figuur V-9: Beschikbaar grondonderzoek in Nieuwe Pekela.

Uit dit onderzoek zijn 3 boringen weergegeven die de bodemopbouw representeren. Zie figuur V-10.



Figuur V-10 Representatieve boringen Nieuwe Pekela.

Het maaiveld langs het kanaal bevindt zich op circa NAP +1,5 tot +2 m, geleidelijk aflopend naar NAP + 1,5 m. De grondwaterstand bevindt zich op NAP tot NAP -1,3 m (!).

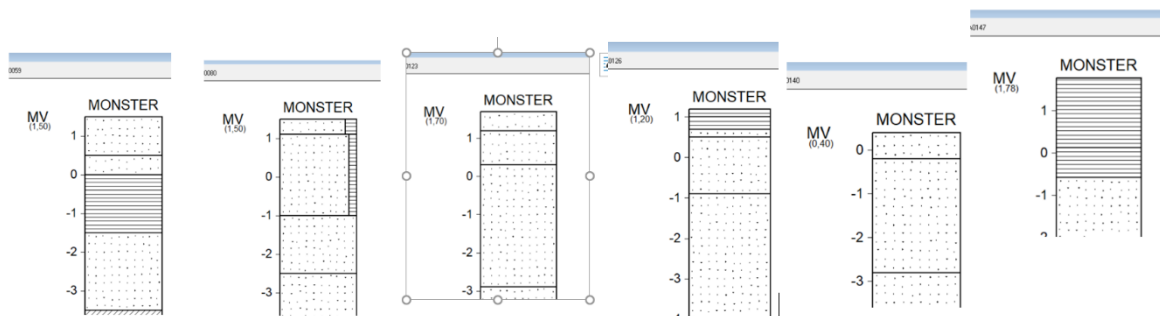
### 4.3.2 Deelgebied Oude Pekela

In figuur V-11 is het beschikbare onderzoek in Oude Pekela weergegeven, met in figuur V-12 de representatieve boringen.





Figuur V-11 Beschikbare grondonderzoek langs het kanaal in Oude Pekela.



Figuur V-12 Representatieve boringen voor de grondopbouw langs het kanaal in Oude Pekela.

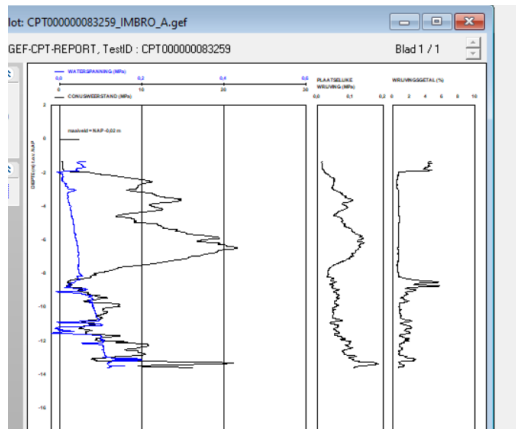
De grondwaterstand bevindt zich hier 0,5 tot 2,5 m – maaiveld.

#### 4.3.3 Deelgebied Winschoten

In figuur V-13 is het beschikbare grondonderzoek langs het kanaal nabij Winschoten weergegeven met in figuur V-14 een sondering en in figuur V-15 de representatieve boringen.

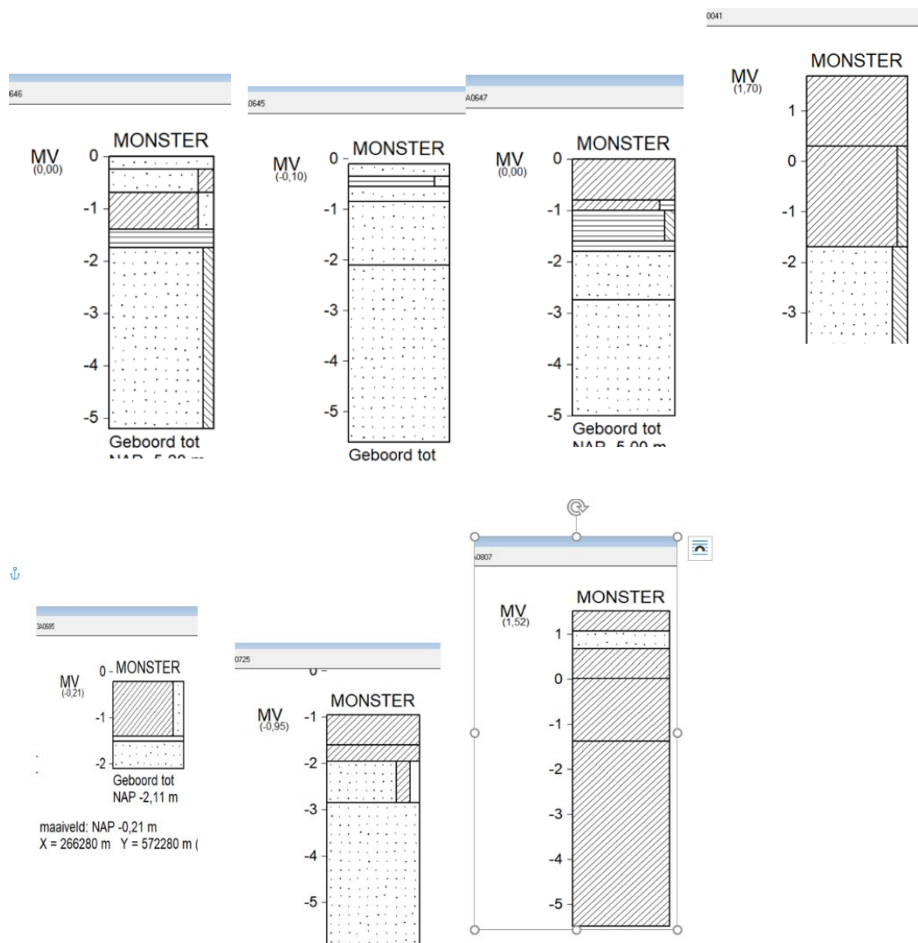


Figuur V-13 Beschikbaar onderzoek langs het kanaal nabij Winschoten.



Figuur V-14 Sondering nabij Winschoten.

Uit de sondering blijkt dat zich beneden NAP – 2 m nauwelijks sterk samendrukbare lagen bevinden.



Figuur V-15 Beschikbare boringen nabij Winschoten.

De conclusie luidt dat in deelgebied 12 alle grondsoorten voorkomen, dat de sterk samendrukbare deklaag dun is, meestal niet meer dan 2 m en dat daar beneden vooral zandlagen aanwezig zijn. Echter in enkele gevallen worden aanzienlijk dikkere veen- of kleilagen aangetroffen. Om die reden is er een onderscheid gemaakt in 4 grondprofielen.

- 1 een profiel met 5 klei
- 2 een profiel met 2,5 m klei
- 3 een profiel met maximaal 2,5 m slappe lagen, waarvan de veendikte maximaal 1,5 m bedraagt. Onder slappe lagen worden klei en veenlagen verstaan.
- 4 een profiel met ten minste 3 m veen.

Er is uitgegaan van een grondwaterspiegeldaling van 0,09 m conform het Deltares rapport.

Voor de rest zijn dezelfde uitgangspunten gehanteerd als voor deelgebied 10. Daaruit volgt onderstaande gelaagdheid van de ondergrond en grondparameters.

### Ad 1 Het klei-profiel (dikte 5 m):

Onderstaand is in figuur V-16 en V-17 de zetting berekend voor een profiel met 5 m klei.

Invoer			Bovenbelasting			Belastingspreiding			tijd		
<b>Grondwaterstanden</b>			H	1,00	m <sup>1</sup>	Lengte	10	m	(of/of)	30 jr dgn	
begin	-0,50	m	$\gamma_{doog}$	25,00	kN/m <sup>3</sup>	Breedte	0,5	m			
end	-0,50	m	$\gamma_{sat}$	35,00	kN/m <sup>3</sup>	Niveau	1,00	m			
<b>Stijghoogte onderzijde</b>			P	25	kN/m <sup>2</sup>	Frep	125	kN			
begin	-0,50	m									
end	-0,50	m									

laag nr.	bovenzijde (m)	onderzijde (m)	laag (code)	omschrijving	$\gamma_{dr}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$P_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	$C^*$ (-)	$C^*_p$ (-)	$C^*_s$ (-)	$c_v$ (m <sup>2</sup> /s)	drained correctie (j/n)	$\delta H$ (m)
1	1,50	1,00	i	klei, zandig	18,0	18,0	25,0	33	400	1,0E-07	n	1,0	0,0000
2	1,00	0,50	i	klei, zandig	18,0	18,0	25,0	33	400	1,0E-07	n	1,0	0,0173
3	0,50	-0,50	w	klei slap norm	14,0	14,0	5,2	7	80	5,0E-08	n	1,0	0,0623
4	-0,50	-0,59	w	klei slap norm	14,0	14,0	5,2	7	80	5,0E-08	n	1,0	0,0032
5	-0,59	-2,00	w	klei slap norm	14,0	14,0	5,2	7	80	5,0E-08	n	1,0	0,0357
6	-2,00	-3,50	w	klei slap norm	14,0	14,0	5,2	7	80	5,0E-08	n	1,0	0,0197
Totaal													0,1381

Figuur V-16 Berekende zetting in gebied 12 voor een kleigebied (5 m) zonder gws-verlaging.

Invoer			Bovenbelasting			Belastingspreiding			tijd		
<b>Grondwaterstanden</b>			H	1,00	m <sup>1</sup>	Lengte	10	m	(of/of)	30 jr dgn	
begin	-0,50	m	$\gamma_{doog}$	25,00	kN/m <sup>3</sup>	Breedte	0,5	m			
end	-0,59	m	$\gamma_{sat}$	35,00	kN/m <sup>3</sup>	Niveau	1,00	m			
<b>Stijghoogte onderzijde</b>			P	25	kN/m <sup>2</sup>	Frep	125	kN			
begin	-0,50	m									
end	-0,59	m									

laag nr.	bovenzijde (m)	onderzijde (m)	laag (code)	omschrijving	$\gamma_{dr}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$P_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	$C^*$ (-)	$C^*_p$ (-)	$C^*_s$ (-)	$c_v$ (m <sup>2</sup> /s)	drained correctie (j/n)	$\delta H$ (m)
1	1,50	1,00	i	klei, zandig	18,0	18,0	25,0	33	400	1,0E-07	n	1,0	0,0000
2	1,00	0,50	i	klei, zandig	18,0	18,0	25,0	33	400	1,0E-07	n	1,0	0,0173
3	0,50	-0,50	w	klei slap norm	14,0	14,0	5,2	7	80	5,0E-08	n	1,0	0,0638
4	-0,50	-0,59	w	klei slap norm	14,0	14,0	5,2	7	80	5,0E-08	n	1,0	0,0035
5	-0,59	-2,00	w	klei slap norm	14,0	14,0	5,2	7	80	5,0E-08	n	1,0	0,0411
6	-2,00	-3,50	w	klei slap norm	14,0	14,0	5,2	7	80	5,0E-08	n	1,0	0,0250
Totaal													0,1506

Figuur V-17 Berekende zetting in gebied 12 voor een kleigebied (5 m) met een gws-verlaging van 0,09 m.

De maximale a-waarde bedraagt 0,048 bij een gws-verlaging van 0,09 m, een laagdikte van 1,41 m (laag 5) en een zakking van 5,5 mm.



## Ad 2 Het profiel met een dunne kleilaag (dikte <2,5 m)

Wanneer de toplagen uit klei bestaan is een zakking berekend, zoals is aangegeven in figuur V-18 en V-19.

Invoer			Bovenbelasting			Belastingspreiding			tijd	
<b>Grondwaterstanden</b>			H			Lengte			(of/of)	
begin	-0,50	m	$\gamma_{dooop}$	1,00	m <sup>1</sup>	10	m	30	jr	
eind	-0,50	m	$\gamma_{sat}$	25,00	kN/m <sup>3</sup>	Breedte	0,5	m	dgn	
<b>Stijghoogte onderzijde</b>			P			Niveau				
begin	-0,50	m	25			1,00				
eind	-0,50	m	kN/m <sup>2</sup>			F <sub>rep</sub>			125	

laag nr.	bovenzijde (m)	onderzijde (m)	laag (code)	omschrijving	$\gamma_{dr}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$P_{0j}$ (kN/m <sup>2</sup> )	C' (-)	C' <sub>p</sub> (-)	C' <sub>s</sub> (-)	c <sub>v</sub> (m <sup>2</sup> /s)	drained correctie (j/n)	$\delta H$ (m)
1	1,50	1,00	i	klei, zandig	18,0	18,0		25,0	33	400	1,0E-07	n	1,0
2	1,00	0,50	i	klei, zandig	18,0	18,0		25,0	33	400	1,0E-07	n	1,0
3	0,50	-0,50	w	klei slap norm	14,0	14,0		5,2	7	80	5,0E-08	n	1,0
4	-0,50	-0,59	w	klei slap norm	14,0	14,0		5,2	7	80	5,0E-08	n	1,0
5	-0,59	-1,00	w	klei slap norm	14,0	14,0		5,2	7	80	5,0E-08	n	1,0
6	-1,00	-3,50	n	zand, vast	19,0	21,0		900,0	938	-	1,0E-02	j	1,0
Totaal													0,0977

Figuur V-18 Berekende zetting in gebied 12 voor een kleigebied met dikte < 2,5 m zonder een gws-verlaging.

Invoer			Bovenbelasting			Belastingspreiding			tijd	
<b>Grondwaterstanden</b>			H			Lengte			(of/of)	
begin	-0,50	m	$\gamma_{dooop}$	1,00	m <sup>1</sup>	10	m	30	jr	
eind	-0,59	m	$\gamma_{sat}$	25,00	kN/m <sup>3</sup>	Breedte	0,5	m	dgn	
<b>Stijghoogte onderzijde</b>			P			Niveau				
begin	-0,50	m	25			1,00				
eind	-0,59	m	kN/m <sup>2</sup>			F <sub>rep</sub>			125	

laag nr.	bovenzijde (m)	onderzijde (m)	laag (code)	omschrijving	$\gamma_{dr}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$P_{0j}$ (kN/m <sup>2</sup> )	C' (-)	C' <sub>p</sub> (-)	C' <sub>s</sub> (-)	c <sub>v</sub> (m <sup>2</sup> /s)	drained correctie (j/n)	$\delta H$ (m)
1	1,50	1,00	i	klei, zandig	18,0	18,0		25,0	33	400	1,0E-07	n	1,0
2	1,00	0,50	i	klei, zandig	18,0	18,0		25,0	33	400	1,0E-07	n	1,0
3	0,50	-0,50	w	klei slap norm	14,0	14,0		5,2	7	80	5,0E-08	n	1,0
4	-0,50	-0,59	w	klei slap norm	14,0	14,0		5,2	7	80	5,0E-08	n	1,0
5	-0,59	-1,00	w	klei slap norm	14,0	14,0		5,2	7	80	5,0E-08	n	1,0
6	-1,00	-3,50	n	zand, vast	19,0	21,0		900,0	938	-	1,0E-02	j	1,0
Totaal													0,1002

Figuur V-19 Berekende zetting voor een kleigebied (dikte < 2,5 m) met een gws-verlaging van 0,09 m.

De maximale a-waarde van de klei wordt weer gevonden in laag 5 en bedraagt 0,052.

Voor beide profielen in gebied 12 kan daarom voor de kleilagen worden uitgegaan van een a-waarde van 0,05.

## Ad 3 Veengebied met dikte veenlaag < 1,5 m en totale dikte slappe laag < 2,5 m:

De grondopbouw voor dit profiel is weergegeven in figuur V-20. Er is een zakking berekend van 127,5 mm. Met een grondwaterstandsverlaging van 0,09 m bedraagt de berekende zakking 131,3 mm (zie figuur V-21).

Invoer			Bovenbelasting			Belastingspreiding			tijd		
<b>Grondwaterstanden</b>			H	1,00	m <sup>1</sup>	Lengte	10	m	(of/of)	30 jr dgn	
begin	-0,50	m	$\gamma_{droog}$	25,00	kN/m <sup>3</sup>	Breedte	0,5	m			
eind	-0,50	m	$\gamma_{sat}$	35,00	kN/m <sup>3</sup>	Niveau	1,00	m			
<b>Stijghoogte onderzijde</b>			P	25	kN/m <sup>2</sup>	Free	125	kN			
begin	-0,50	m									
eind	-0,50	m									

laag nr.	bovenzijde (m)	onderzijde (m)	laag (code)	omschrijving	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$P_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	C' (-)	C' <sub>p</sub> (-)	C' <sub>s</sub> (-)	c <sub>v</sub> (m <sup>2</sup> /s)	drained correctie (j/n)	$\delta H$ (m)
1	1,50	1,00	i	klei, zandig	18,0	18,0	25,0	33	400	1,0E-07	n	1,0	0,0000
2	1,00	0,50	i	klei, zandig	18,0	18,0	25,0	33	400	1,0E-07	n	1,0	0,0173
3	0,50	-0,50	y	veen NEN99971	12,0	12,0	3,8	8	30	5,0E-08	n	1,1	0,0872
4	-0,50	-0,59	y	veen NEN99971	12,0	12,0	3,8	8	30	5,0E-08	n	1,0	0,0045
5	-0,59	-1,00	y	veen NEN99971	12,0	12,0	3,8	8	30	5,0E-08	n	1,0	0,0183
6	-1,00	-3,50	n	zand, vast	19,0	21,0	900,0	938	-	1,0E-02	j	1,0	0,0002
<b>Totaal</b>													<b>0,1275</b>

Figuur V-20 Zettingsberekening voor dikte veenlaag < 1,5 m en dikte slappe lagen < 2,5 m.

Invoer			Bovenbelasting			Belastingspreiding			tijd		
<b>Grondwaterstanden</b>			H	1,00	m <sup>1</sup>	Lengte	10	m	(of/of)	30 jr dgn	
begin	-0,50	m	$\gamma_{droog}$	25,00	kN/m <sup>3</sup>	Breedte	0,5	m			
eind	-0,59	m	$\gamma_{sat}$	35,00	kN/m <sup>3</sup>	Niveau	1,00	m			
<b>Stijghoogte onderzijde</b>			P	25	kN/m <sup>2</sup>	Free	125	kN			
begin	-0,50	m									
eind	-0,59	m									

laag nr.	bovenzijde (m)	onderzijde (m)	laag (code)	omschrijving	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$P_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	C' (-)	C' <sub>p</sub> (-)	C' <sub>s</sub> (-)	c <sub>v</sub> (m <sup>2</sup> /s)	drained correctie (j/n)	$\delta H$ (m)
1	1,50	1,00	i	klei, zandig	18,0	18,0	25,0	33	400	1,0E-07	n	1,0	0,0000
2	1,00	0,50	i	klei, zandig	18,0	18,0	25,0	33	400	1,0E-07	n	1,0	0,0173
3	0,50	-0,50	y	veen NEN99971	12,0	12,0	3,8	8	30	5,0E-08	n	1,1	0,0880
4	-0,50	-0,59	y	veen NEN99971	12,0	12,0	3,8	8	30	5,0E-08	n	1,0	0,0049
5	-0,59	-1,00	y	veen NEN99971	12,0	12,0	3,8	8	30	5,0E-08	n	1,0	0,0209
6	-1,00	-3,50	n	zand, vast	19,0	21,0	900,0	938	-	1,0E-02	j	1,0	0,0003
<b>Totaal</b>													<b>0,1313</b>

Figuur V-21: Dikte slappe lagen < 2,5 m, dikte veenlaag < 1,5 m, met 0,09 m gws-verlaging.

Deze grondopbouw overheerst in deelgebied 12. De maximale a-waarde is voor laag 5, het veen, bepaald op 0,079.

#### Ad 4 Veengebied met dikte > 2 m.

Tenslotte is een profiel onderzocht waarin meer dan 2 m veen aanwezig is. Onderzocht is een profiel met 3 m veen.

Invoer			Bovenbelasting			Belastingspreiding			tijd		
<b>Grondwaterstanden</b>			H	1,00	m <sup>1</sup>	Lengte	10	m	(of/of)	30 jr dgn	
begin	-0,50	m	$\gamma_{droog}$	25,00	kN/m <sup>3</sup>	Breedte	0,5	m			
eind	-0,50	m	$\gamma_{sat}$	35,00	kN/m <sup>3</sup>	Niveau	1,00	m			
<b>Stijghoogte onderzijde</b>			P	25	kN/m <sup>2</sup>	Free	125	kN			
begin	-0,50	m									
eind	-0,50	m									

laag nr.	bovenzijde (m)	onderzijde (m)	laag (code)	omschrijving	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$P_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	C' (-)	C' <sub>p</sub> (-)	C' <sub>s</sub> (-)	c <sub>v</sub> (m <sup>2</sup> /s)	drained correctie (j/n)	$\delta H$ (m)
1	1,50	1,00	i	klei, zandig	18,0	18,0	25,0	33	400	1,0E-07	n	1,0	0,0000
2	1,00	0,50	i	klei, zandig	18,0	18,0	25,0	33	400	1,0E-07	n	1,0	0,0173
3	0,50	-0,50	y	veen NEN99971	12,0	12,0	3,8	8	30	5,0E-08	n	1,1	0,0856
4	-0,50	-0,59	y	veen NEN99971	12,0	12,0	3,8	8	30	5,0E-08	n	1,0	0,0042
5	-0,59	-2,50	y	veen NEN99971	12,0	12,0	3,8	8	30	5,0E-08	n	1,0	0,0614
6	-2,50	-3,50	n	zand, vast	19,0	21,0	900,0	938	-	1,0E-02	j	1,0	0,0001
<b>Totaal</b>													<b>0,1686</b>

Figuur V-22 Zettingsberekening voor een profiel met 3 m veen.

Invoer			Bovenbelasting			Belastingspreiding			tijd	
<b>Grondwaterstanden</b>			H			Lengte			(of/of)	
begin	-0,50	m	γ <sub>droog</sub>	1,00	m <sup>1</sup>	0,5	m	30	jr	
eind	-0,59	m	γ <sub>sat</sub>	25,00	kN/m <sup>3</sup>	1,00	m		dgn	
<b>Stijghoogte onderzijde</b>			p			Niveau				
begin	-0,50	m		25	kN/m <sup>2</sup>			Frep		
eind	-0,59	m					125	kN		

laag nr.	bovenzijde (m)	onderzijde (m)	laag (code)	omschrijving	γ <sub>dr</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	γ <sub>sat</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	P <sub>g</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	C' (-)	C' <sub>p</sub> (-)	C' <sub>s</sub> (-)	c <sub>v</sub> (m <sup>2</sup> /s)	drained correctie (i/n)	δH (m)
1	1,50	1,00	i	klei, zandig	18,0	18,0	25,0	33	400	1,0E-07	n	1,0	0,0000
2	1,00	0,50	i	klei, zandig	18,0	18,0	25,0	33	400	1,0E-07	n	1,0	0,0173
3	0,50	-0,50	y	veen NEN99971	12,0	12,0	3,8	8	30	5,0E-08	n	1,1	0,0880
4	-0,50	-0,59	y	veen NEN99971	12,0	12,0	3,8	8	30	5,0E-08	n	1,0	0,0847
5	-0,59	-2,50	y	veen NEN99971	12,0	12,0	3,8	8	30	5,0E-08	n	1,0	0,0725
6	-2,50	-3,50	n	zand, vast	19,0	21,0	900,0	938	-	1,0E-02	j	1,0	0,0001
Totaal													0,1826

Figuur V-23 Zettingsberekening voor een profiel met 3 m veen en een grondwaterspiegelverlaging van 0,09 m.

De maximaal berekende a-waarde voor laag 5 bedraagt nu 0,072.

Resumerend kan voor gebied 12 het volgende worden aangehouden:

De a-waarde kan voor kleilagen worden aangehouden op 0,05 en voor veenlagen op 0,08.

Worden deze waarden toegepast op de profielen zoals deze het meest voorkomen in gebied 12, dan bedraagt de te berekenen zakking uit de lagen beneden de grondwaterstand:

- Voor Nieuwe Pekela (zie figuur 12):  $0 \text{ tot } 0,08 * 2,5 * 0,09 = 18 \text{ mm}$ ;
- Voor Oude Pekela (zie figuur 14):  $0,08 * 1,5 \text{ m} * 0,09 = 10,8 \text{ mm}$ ;
- Voor Winschoten (zie figuren 16 en 17): ofwel 0,3 m veen, leidend tot een zakking van  $0,08 * 0,3 * 0,09 = 2 \text{ mm}$  ofwel 3,5 m klei, leidend tot een zakking van  $0,05 * 3,5 * 0,09 = 16 \text{ mm}$ .