

# Validatie Geotechnische Meetlat

## Vier praktijkcases leggen de basis voor de Geotechnische Meetlat

***Delft Cluster Publicatiecode:***

DC2-3.12-02

***Delft Cluster Projectcode en projecttitel:***

Delft Cluster CT03.10

"Duurzame Onderhouds Strategie voor voorzieningen op slappe bodem"

***Datum:***

5 juli 2005

***Versie:***

definitief

***Auteurs:***

ir R. Spruit (Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam)  
ir J. Maccabiani (GeoDelft)

# Colofon

Het voorliggende rapport is een deelrapport van het Delft Cluster project CT03.01, "Duurzame onderhouds Strategie voor voorzieningen op slappe bodem". Dit onderzoek is ondersteund door de Nederlandse regering via het BSIK programma.

De volledige tekst van dit rapport mag worden hergebruikt onder voorwaarde van het duidelijk vermelden van de herkomst van de tekst inclusief een correcte bronverwijzing naar dit rapport.

De volgende partijen hebben dit onderzoek ondersteund:

- GeoDelft
- Ingenieursbureau van Gemeentewerken Rotterdam
- ARCADIS
- Intergemeentelijk Samenwerkingsverband Midden-Holland (ISMH)
- CROW
- Stichting RIONED
- Stichting Energiened
- Het Ministerie van Financiën
- Stichting Schuimbeton Nederland
- TNO-Bouw
- De gemeenten: Alphen a/d Rijn, Bergambacht, Bodegraven, Boskoop, Capelle a/d IJssel, De Ronde Venen, Delft, Gouda, Jacobswoude, Krimpen a/d IJssel, Liemeer, Moordrecht, Nederlek, Nieuwerkerk a/d IJssel, Nieuwkoop, Ouderkerk, Oudewater, Reeuwijk, Rijnwoude, Schoonhoven, Ter Aar, Vlist, Waddinxveen, Woerden, Zevenhuizen-Moerkapelle

## **Contactinformatie project CT03.10**

Vragen over en reacties op dit rapport kunt u richten aan:

Projectleider: ir. J. Maccabiani - [j.maccabiani@delftcluster.nl](mailto:j.maccabiani@delftcluster.nl) - tel: 015-2693746

Internet: [www.delftcluster.nl/slappebodem](http://www.delftcluster.nl/slappebodem)

Community of Practice: [www.slappebodem.nl](http://www.slappebodem.nl)

## **Contactinformatie algemeen**

Delft Cluster

Postbus 69

2600 AB DELFT

[info@delftcluster.nl](mailto:info@delftcluster.nl) | [www.delftcluster.nl](http://www.delftcluster.nl)

# Inhoudsopgave

<b>1.</b>	<b>Inleiding en leeswijzer</b>	<b>5</b>
<b>1.1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>5</b>
<b>1.2</b>	<b>Leeswijzer</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>Case 1: Zinkeling Boskoop</b>	<b>7</b>
<b>2.1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
<b>2.2</b>	<b>Beschrijving van de toegepaste werkwijze en randvoorwaarden</b>	<b>7</b>
<b>2.3</b>	<b>DOS-Systematiek “Kwaliteit Zettingsprognose”</b>	<b>9</b>
<b>2.4</b>	<b>CROW-systematiek “Gevoeligheid Zettingsprognose”</b>	<b>22</b>
<b>2.5</b>	<b>Voordeel van de DOS-systematiek ten opzichte van de CROW-systematiek</b>	<b>24</b>
<b>2.6</b>	<b>Aandachtspunten uit case 1</b>	<b>24</b>
<b>2.7</b>	<b>Gebruikte gegevens en literatuur</b>	<b>25</b>
<b>3.</b>	<b>Case 2: Zinkeling Boskoop</b>	<b>27</b>
<b>3.1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>27</b>
<b>3.2</b>	<b>Werkwijze en randvoorwaarden</b>	<b>27</b>
<b>3.3</b>	<b>Terreinverkenning</b>	<b>30</b>
<b>3.4</b>	<b>DOS-Systematiek “Kwaliteit Zettingsprognose”</b>	<b>30</b>
<b>3.5</b>	<b>Behaalde score</b>	<b>37</b>
<b>3.6</b>	<b>CROW-systematiek “Gevoeligheid Zettingsprognose”</b>	<b>38</b>
<b>3.7</b>	<b>Gevoelighedsanalyse op de zettingsprognose</b>	<b>40</b>
<b>3.8</b>	<b>Aandachtspunten uit case 2</b>	<b>42</b>
<b>4.</b>	<b>Case 3: Schilderswijk Stolwijk</b>	<b>43</b>
<b>4.1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>43</b>
<b>4.2</b>	<b>Werkwijze en randvoorwaarden</b>	<b>43</b>
<b>4.3</b>	<b>Terreinverkenning</b>	<b>44</b>

4.4	DOS-systematiek “Kwaliteit Zettingsprognose”	44
4.5	Behaalde score	47
4.6	Overwegingen bij case 3	48
4.7	Generieke aandachtspunten uit case 3	49
4.8	Beschikbare brongegevens	49
5.	Case 4: Waarder Reeuwijk	51
5.1	Inleiding	51
5.2	Werkwijze en randvoorwaarden	51
5.3	Terreinverkenning	52
5.4	DOS systematiek “Kwaliteit zettingsprognose”	52
5.5	Behaalde score	54
5.6	Overwegingen bij case 4	55
5.7	Gebruikte brongegevens	55
6.	Evaluatie	56
6.1	Conclusies uit de behandelde cases	56
6.2	Benodigde score bij afwegen en ontwerpen	57
6.3	Aanbeveling voor toegankelijkheid systematiek	58
	<b>Bijlage 1: Oude DOS-scoremethodiek</b>	<b>60</b>
	<b>Bijlage 2: Aanvullende gegevens Zinkeling Boskoop</b>	<b>85</b>

# 1. Inleiding en leeswijzer

## 1.1 Inleiding

In 2002-2003 is in een Delft Cluster project een (score)methodiek ontwikkeld waarmee het proces van het opstellen van een zettingsprognose kan worden gedocumenteerd en de nauwkeurigheid ervan worden gekwantificeerd. De oorspronkelijke systematiek is gerapporteerd in Delft Cluster rapport DC1-412-10. De systematiek is opgesteld voor toepassing bij opnieuw ophogen van bestaande voorzieningen op slappe bodem. In de studie in 2003 is deze systematiek toegepast op slechts één gedocumenteerd project. Er was daarom behoefte aan een verdere validatie van de methodiek. Deze validatie is uitgevoerd en gerapporteerd in het voorliggende rapport. Op basis van de validatie is de methodiek aangepast. De aangepaste methodiek is gerapporteerd in rapport "Geotechnische Meetlat".

Aan de hand van vier concrete cases is de bruikbaarheid van de methodiek getoetst en is deze waar nodig aangepast. De puntentelling van de scoremethodiek is (waar nodig) aan de hand van de cases aangepast. Naast een validatie van de methode zelf dient de evaluatie van de projecten ook om vast te stellen welke score nodig is voor het maken van een goede afweging tussen traditioneel ophogen en ophogen met (duurder) licht gewicht materiaal.

In het huidige project is een naam gevonden voor de systematiek: de Geotechnische Meetlat.

## 1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2, 3, 4 en 5 worden de vier validatiecases besproken. In hoofdstuk 6 worden de conclusies en aanbevelingen naar aanleiding van de validatie opgesomd. De (score)methodiek die in dit rapport wordt gevalideerd is opgenomen als Bijlage 1. Nota bene: dit is dus de 'oude' systematiek, de aangepaste systematiek is opgenomen in het bijbehorende rapport 'De Geotechnische Meetlat'.



## 2. Case 1: Zinkeling Boskoop

### 2.1 Inleiding

De wijk Zinkeling is in 1990 aangelegd. Sindsdien zijn de wegen en groenvoorzieningen circa 50 centimeter gezakt. In 2004 wil de gemeente Boskoop deze voorzieningen weer ophogen tot het aanlegpeil. Voor het maken van een afweging tussen een ophoging in zand en een ophoging met EPS, zijn door de auteurs onder andere voorspellingen gemaakt van de te verwachte zettingen bij het ophogen met zand. Het doel was het maken van een nauwkeurige zettingsvoorspelling voor het maken van een afweging tussen ophogen met zand en met EPS.

In dit hoofdstuk wordt beschouwd hoe deze zettingsprognose scoort in de systematiek van de "Geotechnische Meetlat" en waar deze methodiek nog verbeterd moet worden. Ook wordt de scoresystematiek vergeleken met de systematiek uit CROW publicatie 204 "Betrouwbaarheid van zettingsprognoses".

Algemene informatie over De Zinkeling en resultaten van het grondonderzoek zijn opgenomen in bijlage 2.

### 2.2 Beschrijving van de toegepaste werkwijze en randvoorwaarden

#### 2.2.1 Gehanteerde werkwijze

De volgende werkwijze is gehanteerd om tot de zettingsprognosen te komen:

1. Allereerst is een geotechnisch ondergrondmodel gemaakt op basis waarvan alle afwegings- en ontwerpberekeningen gemaakt zijn. Dit model is tot stand gekomen op basis van terreinonderzoek en historische informatie. Het ondergrondmodel is gevisualiseerd als geotechnisch dwarsprofiel;
2. De huidige situatie is geschematiseerd in het softwareprogramma MSettle (versie 7.1) met het a,b,c-isotachenmodel voor twee maatgevende (2D) profielen. Hieruit is ook de nog te verwachten zetting als gevolg van de huidige wegconstructie en eventuele eerdere ophogingen inzichtelijk geworden. Het model is geijkt op de huidige hoogteligging;
3. Het te verwachten tijd-zettingsgedrag bij ophogen met zand is voor deze twee profielen bepaald op basis van de in de vorige stap geijkte zettingsmodellen;
4. Er is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om de invloed van de nauwkeurigheid van enkele relevante parameters op de te verwachten zettingen in één dwarsprofiel te schatten;

#### 2.2.2 Broninformatie

De volgende informatie was beschikbaar om de analyse te maken:

1. *Ingemeten peilen van verharding en drempels:*  
De tekeningen "Boskoop Zinkeling, hoogtecijfers en dwarsprofielen", kenmerk 131003.000945 [1], zijn gebruikt. Uit de ingemeten hoogtes volgt een schijnbaar verschil in zakkingsproblematiek tussen het deel van de Zinkeling "Zijde tot huisnummer 74/75" en

“huisnummer 76/77 tot polder”. De hoogteligging van de weg in het deel “huisnummer 76/77 tot polder” is circa 20 centimeter hoger dan in het eerste deel.

2. *Informatie over de aan te brengen verharding na ophoging:*

Door opdrachtgever is besloten om de volgende verhardingsconstructie toe te passen na ophoging:

Constructie met 100% hergebruik lava:

\* Betonstraatstenen dik 80 mm, dichtheid 2.250 kg/m<sup>3</sup>

\* Straatzand dik 50 mm, dichtheid 1900 kg/m<sup>3</sup>

\* Lava dik 300 mm, dichtheid 1800 kg/m<sup>3</sup> (vochtig, enigszins verbrijzeld) of dichtheid 1900 à 2000 kg/m<sup>3</sup> (verzadigd)

3. *Het te hanteren interventieniveau*

Voor het interventieniveau van de zettingen is 0,40 m drooglegging (straatpeil min open waterpeil) aangehouden. De kans op vorstschade (10 dagen min 10 graden Celsius) is dan al heel groot.

### 2.2.3 Historische informatie

De volgende historische informatie was beschikbaar om de zettingsvoorspellingen nauwkeuriger te maken:

1. *de (onderhouds)geschiedenis van het gebied voor aanleg van de huidige woonwijk.*

De volgende informatie volgt uit mondelinge opgave van de heren Glerum en Kervezee van de gemeente Boskoop. Op dit terrein is in het verleden een zwembad gevestigd geweest. Het zwembad was gefundeerd op palen. De bak stond wel boven maaiveld, er is destijds dus waarschijnlijk niet ontgraven. In het archief van de gemeente was behalve een ongedateerde luchtfoto van het zwembad [5] verder geen informatie te vinden.

2. *de aanleg en onderhoudsgeschiedenis van het gebied voor aanleg van de huidige woonwijk.*

De aangebrachte materialen ten behoeve van ophogingen voor de aanleg van de woonwijk zijn af te leiden uit de aangeleverde ontwerptekeningen [2] (van het gedeelte van de Zijde tot aan de vrije sectorwoningen) en het terreinonderzoek. Volgens opgave van de gemeente Boskoop is er na aanleg van de wijk in 1990 geen tussentijds onderhoud meer geweest.

3. *de variatie in grondwaterstand in de tijd;*

Er zijn in het digitale archief van NITG-TNO (het zogenaamde DINO-archief) geen gegevens over grondwaterstanden aanwezig in de omgeving van de Zinkeling. Ook bij de gemeente Boskoop is niet bekend of het polderpeil rond de Zinkeling in de afgelopen 20 jaar noemenswaardig is veranderd. Uit situatietekeningen die zijn opgesteld voor het veldwerk ten behoeve van de aanleg van de huidige wijk [3], in 1989, blijkt dat het polderpeil toen 1 centimeter hoger was dan nu, namelijk NAP – 2.28 meter. Aangezien dit geen merkbaar effect zal hebben in de zettingsberekeningen is daarom aangenomen dat het polderpeil niet is gewijzigd ten opzichte van het huidige peil.



4. *sonderingen uitgevoerd ten behoeve van de bouw van de woonhuizen in 1990:*  
Er zijn sonderingen beschikbaar gesteld die zijn uitgevoerd ten behoeve van de bouw van de woonhuizen in 1990 [3] en [4]. Het betreft 12 mechanische sonderingen zonder meting van kleef, 12 elektrische sonderingen zonder meting van de kleef en 1 elektrische sondering met meting van kleef. De sonderingen zonder meting van kleef zijn geschikt voor het bepalen van het niveau van het Pleistocene zandpakket (hierin zijn de funderingspalen geheid) maar zijn ongeschikt voor het bepalen van de grondopbouw in de slappe bovenlaag. Van de elektrische sondering met meting van kleef komen de sondeerwaarden niet betrouwbaar over (waarden voor het wrijvingsgetal van 12% à 14%). Deze sondering is daarom niet gebruikt voor berekeningen maar wel voor het completeren van het algemeen beeld van het gebied.  
Concluderend zijn de bestaande sonderingen alleen indicatief gebruikt in dit onderzoek.
  
5. *grondonderzoek in de DINO database (NITG-TNO) en de GeoDatabank (GeoDelft en Fugro)*  
Er is geen relevant historisch grondonderzoek aanwezig in de DINO database en [www.GeoDatabank.nl](http://www.GeoDatabank.nl).

De volgende historische gegevens zijn aangevraagd bij de opdrachtgever, maar konden niet worden overlegd en zijn derhalve niet gebruikt in dit onderzoek.  
ontwerpberekeningen voor de te verwachten zetting bij het uitgevoerde ontwerp, met bijbehorende uitgangspunten;

#### **2.2.4 Terreinverkenning**

In dit project is het volgende aanvullende terreinonderzoek uitgevoerd:

1. 10 elektrische sonderingen met meting van conusweerstand, kleef en waterspanningen tot circa NAP -12 meter (maaiveld -10 meter);
2. 3 Begemann 66 mm boringen tot circa NAP -12 meter (maaiveld -10 meter), inclusief beschrijven, fotograferen en bepalen volumegewichten per strekkende meter;
3. 15 weinig geroerde ('ongeroerde') grondmonsters uit de Begemann boringen door, inclusief volumegewichtbepaling en bepaling van de doorlatendheid;
4. 15 oedometer samendrukkingsproeven volgens de vigerende norm, 5 belastingstappen, geen ontlastingsstappen.

In paragraaf 2.4 is aangegeven op welk moment in de systematiek welk grondonderzoek is gedaan, en wat dit al dan niet heeft bijgedragen aan het vergroten van de nauwkeurigheid van de zettingsprognose.

## **2.3 DOS-Systematiek "Kwaliteit Zettingsprognose"**

De nauwkeurigheid van de uitgevoerde zettingsanalyses is bepaald volgens de DOS-systematiek in bijlage 1. De gevolgde stappen in het stroomschema uit paragraaf 4.2 van dat rapport zijn hieronder opgesomd. Tussentijdse conclusies en aanbevelingen zijn opgenomen in kaders. In paragraaf 2.3.7 volgt de waardering van de gevolgde werkwijze door toekenning van de score volgende de DOS-systematiek.

### 2.3.1 1: definiëren project

Voor het project is als PvE en randvoorwaarden gegeven:

1. de weg moet worden opgehoogd tot minimaal het oorspronkelijke aanlegniveau in 1990, NAP – 1.60 m
2. het polderpeil ligt op NAP – 2.27 m, er mag worden aangenomen dat dit peil in de toekomst ongewijzigd blijft.
3. het interventieniveau voor de zettingen is 0,40 meter drooglegging (straatpeil – open waterpeil)
4. de op dit moment aanwezige kabels en leidingen zullen worden opgehaald, er is geen aparte zettingseis voor de kabels- en leidingen gespecificeerd.
5. er zijn geen eisen gesteld voor spoorvorming, langs- en dwarsonvlakheid
6. er zijn geen aanvullende eisen gesteld aan het zettingsgedrag van kolken en overige elementen

Het voldoen aan het PvE is daarmee - voor wat betreft het geotechnisch deel - volledig afhankelijk van de snelheid en grootte van het zettingsproces van de ondergrond ten gevolge van de ophoging.

### 2.3.2 2: historisch vervormingsgedrag

*(2.1) t/m (2.6): Is de bestaande weg differentieel gezakt?*

De weg was in 1990 aangelegd en er is sindsdien geen onderhoud gepleegd. Nu is er een verschil in hoogteligging gemeten tussen het deel van de weg van de Zijde tot huisnummer 74/75 en van het deel van huisnummer 76/77 tot de polder. Het verschil in hoogteligging is niet groot, circa 10 à 20 cm. Een verschil van 20 cm in 15 jaar is echter wel significant bij de keuze voor het type constructie aangezien de toelaatbare zakking maar 40 centimeter is: wellicht is voor één deel een ophoging in zand acceptabel, terwijl het voor een ander deel betekent dat een keer extra moet worden opgehoogd.

Volgens 2.4 in het stroomschema dient achterhaald te worden wat de reden voor dit zettingsverschil kan zijn:

1. Er is geen reden om aan te nemen dat er in strijd met het ontwerp een verschillende aanleghoogte is gehanteerd
2. Er was aangegeven door de gemeente dat er nergens onderhoud is gepleegd sinds aanleg.
3. Onbekend is, of in de gehele constructie ophoogmaterialen zijn gebruikt met hetzelfde volumegewicht. Er zijn alleen tekeningen beschikbaar van het deel van de Zijde tot huisnummer 74/75.
4. Onbekend is, of er heterogeniteit in de ondergrond aanwezig is dat dit verschil in zettingshistorie kan verklaren.
5. Onbekend is, wat de fasering was van de aanleg van de weg, en of dit een verklaring kan geven voor het verschil in zettingshistorie

**Tussenconclusie:**

**Het zettingsverschil van zo'n 15 cm lijkt wellicht niet erg groot, maar is mogelijk significant voor de toe te passen constructie. Het beste is dan om de twee gebieden apart te beschouwen. In de systematiek moet dit expliciet aan de orde komen. Als dit zettingsverschil te verklaren is (waardoor er in het ontwerp van de nieuwe constructie rekening mee kan worden gehouden) dan kan dit besparingen opleveren en risico's beperken. Bovendien geeft dit meer inzicht in de nauwkeurigheid van de uit te voeren zettingsanalyse t.o.v. een situatie waarbij de oorzaak van het verschil niet is achterhaald. NB: 15 cm is 25% van 60 cm, dus een verhoudingsgewijs groot verschil.**

**Tekst onderdeel 2.4 in oude systematiek aanpassen, de oorzaken hoeven niet per sé met behulp van grondonderzoek te worden gevonden.**

(2.7) t/m (2.11): *Tijd-zettingsverloop bij bestaande weg conform prognoses?*

Er zijn van de aanleg van de huidige weg geen zettingsprognoses beschikbaar, waardoor deze vergelijking niet gemaakt kan worden.

Volgens het stroomschema dienen de parameters en de uitgangspunten die de zettingssnelheid bepalen in die gevallen te worden bepaald. Het stroomschema vermeldt *niet* expliciet dat ook de restzetting van de bestaande weg nu nog moet worden bepaald.

**Tussenconclusie:**

**Toevoegen aan 2.10: bepalen restzetting als gevolg van bestaande weg en eerdere ophogingen**

Het bepalen van de restzetting van de bestaande weg kan op verschillende manieren:

1. Door op enkele plaatsen een aantal maal de hoogteligging te meten. Liefst jaarlijks gedurende enkele jaren, maar eventueel bijvoorbeeld 3 à 4 metingen eens in de 3 à 6 maanden als er minder tijd beschikbaar is. Belangrijk is dan wel dat op exact hetzelfde punt wordt gemeten (markeren met spijker o.i.d.). Deze methode is vrij nauwkeurig als de primaire zetting volledig opgetreden is. Hoe langduriger de meetperiode hoe nauwkeuriger de methode wordt.
2. Door het nauwkeurig bepalen van alle uitgangspunten van de zettingsberekening voor de aanleg van de huidige weg, zodat de huidige situatie volledig teruggerekend kan worden. Indien er echter maar twee ijkpunten zijn (hoogteligging bij aanleg en huidige hoogteligging) dan kunnen er in theorie een oneindig aantal gekromde lijnen doorheen getrokken worden. Aangezien het juist gaat om het gedrag ná de huidige hoogteligging (de restzetting) betekent dit dat de methode zeer afhankelijk is van de kwaliteit van de bepaling van de zettingsparameters (met name de laboratoriumbepaling van de samendrukkingsparameters van de grond).

In dit project is gekozen voor methode 2, omdat de planning van het project het uitvoeren van periodieke zettingsmetingen niet toestond. Het bleek echter lastig te zijn om een goede zettingssnelheid te bepalen danwel om deze aan de praktijk te verifiëren. Verschillende zettingssnelheden gaven binnen het observatieraam dezelfde uitkomst: ook bij een langzame verlopend zettingsproces werd het einde van de hydrodynamische periode bereikt in de periode tussen aanleg en huidige ligging. Indien op basis daarvan een voorspelling van het toekomstig tijdzettingsgedrag over een grote tijdspanne (40 jaar) moet worden gemaakt, levert dit een zeer grote onzekerheid op over het aantal uit te voeren ophoogslagen.

Eigenlijk kan de werkelijke zettingsnelheid alleen worden bepaald aan de hand van (intensieve) maaiveldmetingen.

**Tussenconclusie:**

**Score opvoeren voor het 'in-situ' bepalen van de actuele zettingsnelheid aan de hand van (meer dan twee) maaiveldmetingen.**

*(2.12) t/m (2.20): vorige ophoging(en), cunet(ten), aanlegpeilen, onderhoudswerkzaamheden en overige uitgangspunten bekend?*

De vorige ophogingen, aanlegpeilen, cunetten en uitgangspunten zijn redelijk bekend uit de historische informatie. In de praktijk blijken de aanwezige cunetten en aangebrachte zandpakketten en materialen echter af te wijken van de ontwerptekeningen.

1. de afwijking in de dikte van de aanwezige cunetten konden met de sonderingen goed worden bepaald
2. de afwijking van de materialen kon hiermee niet goed worden bepaald.

Het afwijken van dikte van cunetten en toegepaste materialen van de ontwerptekening, zonder dat daar vanuit de opdrachtgever een verklaring voor gegeven kon worden, introduceerde een belangrijke onzekerheid in de uit te voeren zettingsprognose. Het geeft namelijk niet alleen een onzekerheid in de huidige belasting op de ondergrond, maar ook in de belastingsgeschiedenis (wanneer is welke belasting aangebracht).

Dit heeft de volgende gevolgen:

1. het iken van parameters die op basis van grondonderzoek zijn bepaald, zoals stijfheidseigenschappen, aan werkelijk opgetreden zetting wordt onnauwkeuriger
2. de keuze in 2.18, waarbij de grensspanning mogelijk niet door terreinonderzoek bepaald zou hoeven worden, wordt onnauwkeurig doordat de grootte van de belasting niet goed bekend is. De grensspanning is een belangrijke parameter in zettingsprognosen en een belangrijke ontwerpparameter in lichtgewicht ophogingen.

Met betrekking tot 2.18 t/m 2.20 nog het volgende: op dit moment lijkt de keuze voor de wijze van bepalen van de grensspanning nog afhankelijk van de beschikbare informatie over de belastingsgeschiedenis. Is de beschikbare informatie voldoende nauwkeurig bekend (dit dient nog nader omschreven te worden) én is de ondergrond bij de aanleg van de huidige weg belast tot boven de grensspanning, dan kan de grensspanning in de zettingsvoorspelling worden vastgesteld op de spanning als gevolg van de belasting van de huidige wegconstructie.

**Tussenconclusie:**

***Bij nader inzien blijkt deze methode voor het bepalen van de grensspanning geen gelukkige keuze te zijn: zoals ook in de CROW publicatie 204 'Betrouwbaarheid van zettingsprognoses' is geconcludeerd, speelt de grensspanning een grote rol in de onnauwkeurigheid van (rest)zettingsanalyses zowel bij belasten tot vlak bij de grensspanning als bij belasten tot ver boven de grensspanning. Alleen bij ontlasten is deze methode geoorloofd. In andere gevallen wordt hiermee een mogelijk aanzienlijke onnauwkeurigheid in de analyse geïntroduceerd of dient de grensspanning te worden bepaald op basis van laboratoriumonderzoek. Hier dient de systematiek op aangepast te worden.***

**NB: bij ontlasten (zoals het aanleggen van lichtgewicht constructies) is het ook aan te raden om grensspanningsprofielen te bepalen. Vaak zijn de volumegewichten van de in de oude constructie aanwezige materialen niet goed bekend. Met grensspanningsprofielen kunnen dergelijke constructies scherper worden ontworpen omdat daarmee bekend is hoe zwaar de ondergrond door de nieuwe constructie belast mag worden.**

**Wijziging in tekst 2.18: grensspanning is korrelspanning als gevolg van vorige ophoging**

### 2.3.3 3: Kennisleemten

De kennisleemten vloeien voort uit het historisch grondgedrag en worden geformuleerd in doelen voor stap 4. Op basis van het hiervoor geschetste waren de doelen voor de terreinverkenning:

Het kunnen opstellen van een zettingsmodel zodanig, dat hiermee de bestaande situatie kon worden teruggerekend (zetting en zettingsnelheid) en de nieuwe ophoging kon worden geschematiseerd.

- 1) Bepaling aantal en diepteligging relevante grondlagen en ophoogmaterialen en de heterogeniteit hierin.
- 2) Eigenschappen van die lagen en de heterogeniteit erin:
  - a) Volumegewicht **vochtig en verzadigd**
  - b) Stijfheidseigenschappen: Koppejan- of isotachenparameters, grensspanning, zwelconstante
  - c) Horizontale en verticale doorlatendheid
- 3) De ligging van het freatisch vlak ten opzichte van het polderpeil (mate van opbolling)
- 4) De waterspanningen in het eerste watervoerende pakket.

### 2.3.4 4: Invullen kennisleemten door terreinonderzoek

*(4.1.1): Doelen grondonderzoek vaststellen*

Zie onder (3), daar zijn de doelen reeds opgeschreven.

*(4.1.2): Bepalen van geotechnische ontwerpaspecten*

**Hetgeen wordt vermeld onder 4.1.2 kan prima worden verplaatst naar (3), waarna 4.1.2 kan vervallen uit het stroomschema**

*(4.1.3): Bepalen van geotechnische parameters per aspect*

**Hetgeen wordt vermeld onder 4.1.3 kan prima worden verplaatst naar (3), waarna 4.1.3 kan vervallen uit het stroomschema**

*(4.1.4): Literatuur, oriënterend grondonderzoek*

Met betrekking tot de in (3) gestelde doelen:

1. *Bepaling aantal en diepteligging relevante grondlagen en ophoogmaterialen en de heterogeniteit hierin:*

In het verleden is nooit in detail een onderverdeling gemaakt tussen klei, humeuze klei en veen maar is het slappe lagen pakket als één geheel beschouwd. De relevante grondlagen kunnen dus nog niet worden geïdentificeerd. Ook in de DINO databank en GeoDatabank is geen aanvullend grondonderzoek gevonden waarmee dit wel kan.

De aard en dikte van de aangebrachte ophoogmaterialen zijn op tekening gespecificeerd

en lijkt daarmee afdoende in kaart gebracht. Hierop is geen nader grondonderzoek uitgevoerd.

**Tussenconclusie:**

***In de begeleidende tekst bij de systematiek opnamen, dat bij eventueel voorgraven van sonderingen monsters van de aangetroffen materialen dienen te worden genomen zodat de volumegewichten van de ophoogmaterialen kunnen worden geverifieerd.***

2. *Eigenschappen van die lagen en de heterogeniteit erin:*

- a. Volumegewicht vochtig en verzadigd: Voor de ophoogmaterialen is aangenomen dat op basis van de informatie op de ontwerptekeningen een afdoende nauwkeurige schatting van de volumegewichten gemaakt kan worden. (Eventuele verbrijzeling door herhaaldelijke belasting is niet meegenomen). Voor de grondlagen is dit anders: aangezien niet meer bekend is dan dat er lokaal circa 10 meter "slappe lagen" aanwezig zijn (uit sondeergrafieken zonder kleefmeting) kan het gemiddelde volumegewicht van het pakket niet goed worden geschat. Als aangenomen wordt dat er veen, humeuze klei en basisveen voorkomt, dan kan op basis van NEN6740 tabel 1 een eerste schatting van de (verzadigde) volumegewichten:

Veen: 10 of 12 kN/m<sup>3</sup>

Humeuze klei: 15 of 16 kN/m<sup>3</sup>

Basisveen: 12 of 13 kN/m<sup>3</sup>

- b. Stijfheidseigenschappen: Koppejan- of isotachenparameters, grensspanning, zwelconstante. Er zijn geen eerdere zettingsberekeningen in de buurt van het project gemaakt. Ook is er geen proevenverzameling van de gemeente beschikbaar. NEN6740 geeft per grondsoort een schatting van de Koppejanparameters  $C_p$  en  $C_s$ . Deze waarden zijn echter slecht bruikbaar, omdat:
- Nog onbekend is welke grondsoorten daadwerkelijk voorkomen in de ondergrond en in welke dikten. Dit kan eventueel met boringen worden ingevuld;
  - Alleen de Koppejan parameters ná de grensspanning zijn dan bekend, terwijl de parameters vóór de grensspanning ook zeer belangrijk zijn. Deze kunnen alleen met voldoende nauwkeurigheid worden bepaald in een laboratoriumproef.
  - NEN6740 geeft een schatting van de lage representatieve waarden van gemiddelden van de betreffende grondsoort. In werkelijkheid kunnen deze waarden echter sterk afwijken – zowel in gunstige als in ongunstige zin.

c. Horizontale en verticale doorlatendheid

Er is voor bekend geen eerder laboratoriumonderzoek of pompproef in de buurt uitgevoerd. Er kan daarom geen goede schatting gegeven worden van de horizontale en verticale doorlatendheid. De restzettingsberekening is gevoelig voor de doorlatendheid. Het is echter lastig om de (bulk) doorlatendheid van het slappe lagen pakket te bepalen, waardoor er bij dergelijke kleinere projecten met schattingen of grove bepalingen gewerkt moet worden, waar mogelijk geijkt aan werkelijk opgetreden tijd-zettingsverloop.

Het bepalen van zowel de horizontale als de verticale doorlatendheid is wenselijk, maar meting van de bulk doorlatendheid of alleen de verticale doorlatendheid en

aanname van een vast verhouding tussen horizontale en verticale doorlatendheid is in dit geval voldoende nauwkeurig.

3. *De ligging van het freatisch vlak ten opzichte van het polderpeil (mate van opbolling)*  
Er is geen eerder onderzoek in de buurt bekend over de mate van opbolling van het freatisch vlak. Hiervoor kan gebruik worden gemaakt van rekenregels (zoals de formule van Hooghoudt) of software (zoals PlaxFlow) of kan door middel van waterspanningsmetingen de freatische grondwaterstand onder het midden van de weg worden gemeten.
4. *De waterspanning in het eerste watervoerende pakket*  
Hiervoor is gebruik gemaakt van de TNO isohypsenkaart. In de buurt van het project zijn geen bemalingen, waardoor de werkelijke waterspanning in het watervoerende pakket naar verwachting slechts in geringe mate zal afwijken van het regionale beeld uit de isohypsenkaart. Het slappe lagen pakket is circa 10 meter dik, waardoor het effect van een iets hogere of iets lagere waterspanning op het consolidatieproces bij een nieuwe ophoging van minder dan een meter verwaarloosbaar zal zijn.

*(4.1.5): Kwalitatieve bepaling type grondonderzoek per parameter*

Op basis van de resultaten van 4.1.4. geldt het volgende:

1. *Bepaling aantal en diepteligging relevante grondlagen en ophoogmaterialen en de heterogeniteit hierin:*

Voor het in kaart brengen van de grondsoorten en laagdikten kan gebruik worden gemaakt van sonderingen. Gezien de slappe ondergrond is bij de sonderingen een meting van de schachtwrijving ('kleef') nodig om onderscheid in veenlagen en (slappe) kleilagen te kunnen maken. De sonderingen uit 1990, gemaakt voor het funderingsontwerp voor de aanleg van de woonwijk, zijn uitgevoerd met slechts meting van de puntweerstand en deze zijn hierdoor niet bruikbaar voor het bepalen van de opbouw van de grondlagen. Door het aanvullend meten van waterspanningen kunnen zeer dunne ondoorlatende laagjes opgespoord worden, die het consolidatieproces en daarmee de snelheid van het zettingsproces kunnen beïnvloeden.

Omdat er in het gebied nog geen boringen zijn uitgevoerd, kunnen de sonderingen het beste geijkt worden aan één boring. Sonderingen dienen altijd geijkt te worden aan ten minste één boring, omdat landelijk opgestelde correlaties tussen grondsoort en sondeermetingen lokaal kunnen afwijken.

***Tussenconclusie:***

***Zoals reeds vermeld aan het begin van deze paragraaf werd verondersteld dat de volumegewichten en dikten van de ophoogmaterialen bekend was. Pas na het uitvoeren van de sonderingen bleken de (diktes van de) aanwezige materialen veel af te wijken van de informatie op de ontwerptekeningen. Daarom wordt aanbevolen, om bij het voorboren of –kernen van de sonderingen het aangetroffen materiaal te laten beschrijven en bemonsteren zodat de onzekerheid met betrekking tot de aanwezige belasting sterk kan worden gereduceerd.***

2. *Eigenschappen van die lagen en de heterogeniteit erin:*

a. *Volumegewichten*

Volumegewichten van de grondlagen kunnen worden geschat met behulp van NEN6740 tabel 1 indien bekend is welke grondsoort er aanwezig is. Gezien de gevoeligheid van een zettingsberekening voor de nauwkeurigheid waarmee de volumegewichten zijn bepaald, is dit niet aan te raden. Voor het bepalen van de grondsoort is dus minimaal één boring nodig. De volumegewichten kunnen dan op eenvoudige wijze aanzienlijk nauwkeuriger worden bepaald door het wegen van de opgeboorde materialen.

***Tussenconclusie:***

***Indien een boring nodig is voor het bepalen van de grondopbouw (of het verzamelen van grondmonsters), bepaal dan de volumegewichten van de grondlagen uit deze boring en gebruik niet tabel 1 uit NEN6740.***

b. *Stijfheidsparameters*

De stijfheidsparameters dienen te worden bepaald op basis van laboratoriumproeven op grondmonsters. Dit kunnen oedometerproeven of K0-CRS proeven zijn. K0-CRS proeven zijn te prefereren, maar vanwege het prijsverschil is in dit project nog gekozen voor oedometer proeven. Deze monsters worden met behulp van boringen verzameld. Monsterverstoring dient hierbij voorkomen te worden. Daarom worden Begemann boringen of gestoken bussen met een grote diameter aangeraden. Meer informatie over typen boringen en monsterverstoring is te vinden in NEN5119.

c. *Horizontale en verticale doorlatendheid*

Indien oedometerproeven worden uitgevoerd (zie 2.b), dan wordt hierbij ook de doorlatendheid gemeten. Hoewel deze waarden altijd kritisch dienen te worden beschouwd, zijn ze over het algemeen goed bruikbaar. De doorlatendheden die worden bepaald met oedometerproeven zijn verticale doorlatendheden; er is horizontale doorlatendheid te meten.

3. *De ligging van het freatisch vlak ten opzichte van het polderpeil (mate van opbolling)*

Gezien de nabijheid van open water en de geringe drooglegging (op sommige locaties circa 20 cm) is er voor gekozen om geen aanvullend grondonderzoek te doen naar opbolling van het freatisch vlak: deze kan nooit erg groot zijn en is daardoor van geringe invloed op het tijd-zettingsverloop.

Indien na een periode van regenval wordt geboord voor het grondonderzoek, dan kan het freatisch vlak worden bepaald in het boorgat. Omdat de opbolling afhangt van de hoeveelheid neerslag zal dit niet altijd mogelijk zijn.

*(4.1.6): Bepalen hoeveelheid grondonderzoek*

De volgende aantallen grondonderzoek zijn toegepast in dit project:

1. 10 elektrische sonderingen met meting van conusweerstand, kleef en waterspanningen tot circa NAP -12 meter (maaiveld -10 meter); Dit betekent een hart-op-hart afstand van circa 50 meter.
2. 3 Begemann 66 mm boringen tot circa NAP -12 meter (maaiveld -10 meter), inclusief beschrijven, fotograferen en bepalen volumegewichten per strekkende meter;



3. 15 weinig geroerde ('ongerode') grondmonsters uit de Begemann boringen, inclusief volumegewichtbepaling;
4. 15 oedometer samendrukkingsproeven volgens NEN5118, met 5 belastingstappen en geen ontlastingsstappen, inclusief bepaling doorlatendheid en volumegewicht;

De aantallen zijn als volgt vastgesteld:

1. Het aantal sonderingen op basis van de richtlijn in CUR publicatie "Van niks naar grondparametermatrix".
2. Er werden op basis van de geologische informatie maximaal 4 verschillende grondlagen verwacht (veen, 1 à 2 soorten (humeuze) klei, basisveen). Om enig inzicht te krijgen in (de spreiding in) de stijfheidseigenschappen zijn op drie plaatsen boringen uitgevoerd voor het verkrijgen van grondmonsters: één in het deel van de Zijde tot huisnummer 74/75, één in het deel tussen huisnummer 76/77 en de polder, en één juist ter hoogte van huisnummers 74/76. Omdat de boringen met name zijn uitgevoerd voor het verkrijgen van grondmonsters, is gekozen voor het Begemann boorsysteem. Dit systeem levert volgens NEN5119 monsters van monsterklasse 1.
3. Per boring zijn 5 grondmonsters genomen en in een oedometer samendrukkingsapparaat beproefd, zodat inzicht werd verkregen in de eigenschappen van de verschillende grondsoorten en de horizontale en verticale variatie erin. Omdat in de gemeente nog geen stijfheidseigenschappen bekend waren is dit, redelijk forse aantal, monsters gekozen. Bij toekomstige projecten in de buurt kunnen deze proeven als (begin van een) proevenverzameling worden gebruikt. Wel correspondeert dit met de aantallen voorgesteld door de hiervoor genoemde CUR publicatie: volumegewicht 1/m'/boring en samendrukkingsparameters 3 proeven per cohesieve laag per boring.

#### *(4.2) Uitvoeren grondonderzoek*

Het onderzoek is gefaseerd uitgevoerd. Allereerst zijn de sonderingen uitgevoerd en verwerkt. Op basis van het hiermee bepaalde voorlopig dwarsprofiel zijn de locaties van de boringen vastgesteld. Deze zijn gekozen bij sonderingen, zodat deze geïkt konden worden, en verdeeld over het terrein zodat zoveel mogelijk verschillende grondlagen zijn aangeboord in gebieden met een verschillende zettingsgeschiedenis.

Na het uitvoeren van de boringen zijn de geboorde kernen in het lab beschreven en gefotografeerd. Op basis hiervan zijn de grondmonsters gekozen die zijn beproefd in het laboratorium.

#### *(4.3) Interpretatie grondonderzoek*

De stijfheidsparameters, volumegewichten en doorlatendheden zijn bepaald volgens NEN5118 en met de softwaretool MCompress 1.0. Deze waarden zijn gebruikt om per grondsoort een gemiddelde waarde en standaardafwijking van het volumegewicht,  $c_v$ ,  $C_p$ ,  $C_p'$ ,  $C_s$  en  $C_s'$ ,  $a$ ,  $b$  en  $c$  te bepalen. Voor deze eigenschappen was geen duidelijke laterale heterogeniteit gevonden. De grensspanningen zijn wel afhankelijk van de plaats van de boring en zijn niet gemiddeld.

#### *(4.4) Geohydrologie*

Er zijn in de sonderingen geen dunne storende laagjes aangetroffen (zandlaagjes of dunne kleilaagjes). Aan de polderzijde is wel een ondiepe kleilaag aangetroffen die de consolidatie zal beïnvloeden.

#### *(4.5) Grondopbouw*

De sonderingen en boringen zijn geïnterpreteerd door een geologisch expert. Op basis van de (hoge) dichtheid van de onderzoekspunten beschouwde hij de interpretatie van de grondopbouw als vrij zeker. De onderlinge afstand van de onderzoekspunten is 50 meter. Uiteraard kan dan niet worden uitgesloten dat er nog kleine zand- of kleilagen voorkomen met een breedte kleiner dan 50 meter.

#### *(4.6) Afleiden benodigde parameters*

##### 1) Volumegewicht **vochtig en verzadigd**

Deze parameters per grondlaag zijn onafhankelijk en eenduidig bepaald uit de boringen en 7 à 8 oedometerproeven per grondsoort. Op basis van het gemiddelde is per grondsoort de in de berekeningen gehanteerde waarde bepaald. (4.6.5)

#### ***Tussenconclusie:***

***Het uitvoeren van zettingsberekeningen dient volgens NEN6740, voor bruikbaarheids grenstoestand 2, te worden gedaan met representatieve waarden. In de praktijk betekent dit door het beperkte aantal proeven, dat de samendrukkingsparameters aanzienlijk ongunstiger zijn dan de gemiddelde waarde.***

Er zijn geen monsters uit het basisveen genomen. Deze dunne, relatief stijve veenlaag juist boven het eerste zandpakket (circa 10 meter onder maaiveld) heeft een relatief kleine bijdrage aan het totale tijd-zettingsverloop zodat volstaan kan worden met een vuistregel. In de berekeningen is uitgegaan van het gemiddelde van de gemiddelde volumegewichten van de veen- en kleilagen, 11.9 kN/m<sup>3</sup>. Tegelijkertijd geeft NEN6740 een richtwaarde van 12 of 13 kN/m<sup>3</sup> voor matig voorbelast veen. (4.6.8)

- 2) Stijfheidseigenschappen: Koppejan- of isotachenparameters, grensspanning, zwelconstante  
De Koppejan- en isotachenparameters per grondlaag zijn onafhankelijk en eenduidig bepaald uit de 7 à 8 oedometerproeven per laag. Op basis van het gemiddelde is per laag de in de berekeningen gehanteerde waarde bepaald. (4.6.5) Zie ook het gestelde onder punt 1).

Ook hier geldt voor het basisveen weer, dat in de berekeningen is uitgegaan van het gemiddelde van de gemiddelde stijfheidseigenschappen van de veen- en kleilagen. Deze waarden wijken slechts in geringe mate af van de waarden in NEN6740 voor matig voorbelast veen. Gezien de geringe invloed van het basisveen op het totale zettingsverloop zullen deze waarden voldoende nauwkeurig zijn. (4.6.8)

- 3) Horizontale en verticale doorlatendheid

Er is slechts de verticale doorlatendheid bepaald per monster.

#### ***Tussenconclusie:***

***In de systematiek dient te worden uitgelegd hoe hier mee om te gaan: wanneer is bepaling van de verticale doorlatendheid voldoende en wanneer dient ook de horizontale doorlatendheid te worden bepaald? In deze case is alleen de verticale doorlatendheid bepaald omdat de verticale afstrooimengte meestal maatgevend was en is hiervoor de maximale score toegekend.***

De doorlatendheid per grondlaag is onafhankelijk en eenduidig bepaald uit de 7 à 8 oedometerproeven per laag. Op basis van het gemiddelde is per laag de in de berekeningen gehanteerde waarde bepaald. (4.6.5) Zie ook het gestelde onder punt 1).

Ook hier geldt voor het basisveen weer, dat in de berekeningen is uitgegaan van het gemiddelde van de gemiddelde stijfheidseigenschappen van de veen- en kleilagen. Het basisveen zal door samendrukking ondoorlatender zijn geworden ten opzichte van het oppervlakteveen. Daarom is ook voor deze parameter het gemiddelde aangehouden van de doorlatendheid van veen en klei. Omdat dit een aanname is op basis van engineering judgment, valt dit in onderdeel (4.6.9)

### 2.3.5 5: Opstellen geotechnisch ontwerp

De schematisatie van het ondergrondmodel is als volgt in zijn werk gegaan:

4. de huidige (rest)zettingssnelheid is onbekend. Om deze te achterhalen is de situatie bij aanleg in 1990 geschematiseerd en teruggerekend. Dit is gedaan voor twee profielen, één in het deel Zijde tot huisnummer 74/75 en één in het deel huisnummer 76/77 tot de polder. In beide profielen zijn alle parameters zoals genoemd in de voorgaande punten opgenomen.
5. Een aantal gegevens zijn hierbij geschat, bij gebrek aan informatie:
  1. Op basis van de opgetreden zetting en de relatieve samendrukbaarheid is de grondopbouw ten tijde van aanleg teruggereconstrueerd
  2. Er is destijds een cunet gegraven. Aangenomen is dat overal veen is verwijderd.
  3. Het gemiddelde polderpeil was destijds gelijk aan het huidige gemiddelde polderpeil volgens enkele tekeningen. Aangenomen is dat er in de tussentijd geen peilvariaties zijn geweest.
  4. Aangenomen is, dat de constructie in één dag is aangelegd. Aangezien de exacte uitvoeringsdatum onbekend is, heeft een meer gedetailleerde modellering van het bouwproces weinig zin.
  5. De volumegewichten van de ophoogmaterialen zijn opgegeven door opdrachtgever. Aangenomen is dat deze informatie correct is.
6. Er is gebruik gemaakt van het a,b,c-isotachen rekenmodel met spanningsspreiding en correctie voor onder water zakken.
7. De aldus berekende grootte van de zetting tot en met de huidige situatie bleek vrij goed overeen te komen. Ook de huidige zettingssnelheid en restzetting bleken goed overeen te komen met de expert judgment van de opdrachtgever. Bij het profiel aan de polderzijde ontstonden de grootste afwijkingen. Hier bleek uit de sonderingen dat (de diktes van) de aangebrachte materialen niet overeenkwam met de informatie op de ontwerptekeningen.
8. Dit model is gebruikt als basis voor het nieuwe ontwerp. Hiermee is een verwachtingswaarde van het optredende tijd-zettingsverloop na ophoging bepaald.

#### ***Tussenconclusie:***

***De huidige zettingssnelheid en restzetting is belangrijke informatie, die het beste gemeten kan worden. Als dit niet is gebeurd, dan kan getracht worden de huidige situatie terug te rekenen. Indien het de eerste ophoging na aanleg betreft (oftewel: geen tussentijds klein onderhoud) dan blijkt dit goed te kunnen. Het stelt dan echter wel hoge eisen aan de kwaliteit van de beschikbare informatie, zoals bleek bij het profiel aan de polderkant van De Zinkeling.***

*Aan de andere kant is het zo, dat het goed kunnen terugrekenen van de huidige situatie veel vertrouwen geeft in de kwaliteit van de gebruikte parameters en randvoorwaarden. Aanbevolen wordt, om te proberen om de huidige situatie terug te rekenen en dat model als basis voor het nieuwe ontwerp te gebruiken. Er dient wel zéér kritisch te worden omgegaan met het aanpassen van parameterwaarden zodat het tijd-zettingsverloop 'klopt' met het opgetreden tijd-zettingsverloop, tenzij er bijvoorbeeld jaarlijks metingen van de zetting zijn. Er zijn namelijk zo veel vrijheidsgraden in de analyse, dat er veel verschillende manieren zijn om een tijd-zettingslijn te 'fitten' door twee meetpunten.*

### 2.3.6 6: Gevoeligheidsanalyse

Er is een gevoeligheidsanalyse op de gebruikte gegevens uitgevoerd, waaronder:

1. Volumegewichten van de ondergrond
2. Samendrukkingsparameters van de grondlagen
3. Mate van overconsolidatie
4. Dikte en samenstelling antropogeen pakket

Hieruit bleek, dat verschillende manieren van interpretatie van volumegewichten en samendrukkingsparameters tot vrijwel hetzelfde last-zakkingsdiagram leidden:

1. Volumegewichten en samendrukkingsparameters gemiddeld per grondlaag;
2. Volumegewichten per strekkende meter boring, samendrukkingsparameters uit correlatie met volumegewicht. (NB: deze correlaties zijn uniek voor de locatie en niet elders toepasbaar)

De bepaling van de mate van overconsolidatie verdient verdere aandacht: de berekening is hier gevoelig voor. De belangrijkste onzekerheid wordt gevormd door de dikte, samenstelling en geschiedenis van het antropogene pakket.

Op basis van de gevoeligheidsanalyse worden de parameters in de zettingsprognose geaccepteerd.

### 2.3.7 In de DOS-systematiek behaalde score

Op basis van de in de vorige paragraaf besproken werkwijze kan de score bepaald worden volgens de DOS-systematiek. Hier worden de stappen in het stroomschema en de behaalde score opgesomd:

- **2.1:** De weg is differentieel gezakt. Door middel van het grondonderzoek is aangetoond dat dit deels te verklaren is door de heterogeniteit in de ondergrond (met name de onderbreking van de ondiepe veenlaag door een kleilaag aan de noordzijde van de Zinkeling is verantwoordelijk voor een belangrijk verschil in opgetreden zetting). Een andere oorzaak van de differentiële zetting kan zijn veroorzaakt door verschillende belasting, ofwel verschillen in aanlegmethode en historie. Hierin is door de uitgevoerde sonderingen wel enig inzicht gekregen, maar er zijn nog steeds vraagtekens bij de exacte verhardingsopbouw.
  - **Score: 6 (van 8)**
- **2.7:** Er zijn geen prognoses beschikbaar van het ontwerp van de weg met betrekking tot het zakkingsgedrag. De zettingsparameters moesten daardoor in kaart worden gebracht. Door uitvoeren van 15 oedometerproeven en 43 volumegewichtbepalingen zijn deze parameters in kaart gebracht. Er zijn geen volumegewichtbepalingen gedaan van de aanwezige

ophoogmaterialen en het basisveen. Hierdoor kan niet de maximale score worden toegekend.

- **Score: 6 (van 8)**
- **2.12:** De vorige ophogingen, aanlegpeilen, cunetten en uitgangspunten zijn redelijk bekend uit de historische informatie. In de praktijk blijken de aanwezige cunetten en aangebrachte zandpakketten en materialen echter af te wijken van de ontwerptekeningen. Dankzij de omvang van het uitgevoerde terreinonderzoek kon echter worden vastgesteld waar deze afwijkingen zich bevinden, zodat een groot deel van de onzekerheid over de dikten is afgevangen. De materialen en de geschiedenis van aanbrengen blijven echter slecht bekend.
  - **Score: 5 (van 10)**
- De grensspanning is bepaald in de oedometerproeven. De hier bepaalde grensspanning bleek goed overeen te komen met de spanningen in het geijkte grondmodel. Hieruit volgt dat de grensspanning goed is afgeleid. **Score: 4 (van 4)**
- Het grondonderzoek is gefaseerd uitgevoerd. De locatie van de boringen is bepaald op basis van de resultaten van de sonderingen. De monsters voor het laboratoriumonderzoek zijn gekozen na bestudering van de boringen.
  - **Score: 8 (van 8)**
- De stijghoogten in het watervoerend en freatisch pakket zijn niet bepaald met waterspanningsmeters en peilbuizen maar afgeleid uit de TNO-waterspanningkaart en metingen van het polderpeil.
  - **Score: 0 (van 5)**
- De grondopbouw is bepaald door een geologisch expert, die de uitgevoerde sonderingen en boringen heeft geëvalueerd.
  - **Score: 10 (van 10)**
- De benodigde parameters zijn deels afgeleid uit het rekenkundig gemiddelde (samendrukkingsparameters, volumegewichten grondlagen, doorlatendheden), deels geschat op basis van ervaring (volumegewichten materialen oude constructie) en deels geijkt aan het gedrag van de constructie (grensspanningen).
  - **Score: 8.7 (van 15)**
- Het gebruikte rekenmodel is het a,b,c-isotachenmodel, waarbij onderwaterzakken en de restzetting als gevolg van de bestaande constructie expliciet zijn meegenomen.
  - **Score: 20 (van 20)**

Hiermee wordt de totaalscore – voor uitvoeren van de gevoeligheidsanalyse – 68 van de 80. Met de gevoeligheidsanalyse zijn 20 punten te verdienen. De score voor de gevoeligheidsanalyse is in de huidige systematiek nog niet goed omschreven. Omdat niet alle parameters zijn gevarieerd en het effect van onzekerheid in die parameters op de zettingen niet is bepaald, is enigszins subjectief 10 punten toegekend. Hiermee komt het aantal punten op 78 van de 100 uitkomt.

Dit is de eerste case op basis van de systematiek, waarbij als doel is gesteld om een “goede” zettingsvoorspelling te doen. Zoals uit het voorgaande blijkt zijn er nog een aantal verbeterpunten in de gevolgde procedure mogelijk; de uitgangspunten voor de zettingsvoorspelling zijn dus niet ‘perfect’ bepaald. Er is echter wel een relatief grote inspanning gedaan die de belangrijkste bronnen van onzekerheid heeft onderkend. De score van 78% lijkt daarom een goede representatie voor de manier waarop de case is uitgewerkt.

## 2.4 CROW-systematiek “Gevoeligheid Zettingsprognose”

Door het CROW is in 2004 in het kader van het onderzoek “Betrouwbaarheid van Zettingsprognoses” een score-systematiek ontwikkeld waarmee de nauwkeurigheid van een zettingsanalyse kan worden ingeschat.

De methodiek is opgesteld voor nieuwe ophogingen en niet voor rehabilitatie. Desondanks is het de moeite waard om de uitgevoerde zettingsprognose te beoordelen volgens deze systematiek. Indien de verschillen tussen beide scoresystemen klein is, is aansluiting bij de (standaard) CROW-methode mogelijk gewenst.

De CROW-methode maakt gebruik van verschillende scoretabellen voor verschillende situaties. In dit geval zijn de scores voor de situatie “lijninfrastructuur: zettingsverloop en restzetting” van belang. Het lastige aan de CROW-methodiek is, dat slechts de maximale scores zijn gegeven. Als een onderdeel in de zettingsprognose op de best mogelijke manier is ingevuld, dan is de methodiek gemakkelijk en vrij objectief te hanteren. Als dit niet het geval is, dan wordt de puntentoekening (als fractie van het maximum aantal punten) overgelaten aan de gebruiker.

In de evaluatie van deze case is daarom gekozen voor de volgende werkwijze: per onderdeel is voor de “beste” methode het maximum aantal punten toegekend, voor de “slechtste” methode geen punten. Hiertussen is lineair geïnterpoleerd.

Checklist CROW “Betrouwbaarheid van zettingsprognoses”			score
verkenning ondergrond			
a1	hoeveelheid / soort onderzoek		
	a1 b	uitgebreid terrein en lab. werkzaamheden excl. geofysische metingen	11.25
		<i>Gezien de omvang van het project is er meer grondonderzoek uitgevoerd dan gebruikelijk (circa 3% van de bouwsom). Er is geen geofysisch onderzoek uitgevoerd.</i>	
a2	interpretatie er is gebruik gemaakt van		
	a2 b	geologische informatie en ervaring in de omgeving	5
		<i>Het grondonderzoek is door een geologisch expert met omgevingskennis geïnterpreteerd.</i>	
schematisatie ondergrond			
b1	De schematisatie van de grondlagen in maatgevend dwarsprofiel kent		
	b1 a	een grote mate van detaillering	8
		<i>Alle in de boringen en sonderingen aanwezige storende lagen zijn in de schematisatie meegenomen. In dit geval leidde dit niet tot zeer dunne lagen.</i>	
b2	De ligging van het freatisch niveau volgt uit:		
	b2 b	kaartmateriaal / opgaaf van derden	0

Checklist CROW "Betrouwbaarheid van zettingsprognoses"		score
	<i>Voor het freatisch niveau is het polderpeil, volgens opgaaf van opdrachtgever, aangehouden. Er is niet met opbolling gerekend. Gezien de geringe drooglegging en de locatie (naast watergang) wordt de invloed van opbolling op de analyse van de huidige situatie als zeer klein verondersteld..</i>	
b3	het verloop van de waterspanningen in de diepte:	
	b3 b stijghoogte in eerste watervoerend pakket volgt uit kaartmateriaal / metingen daarboven interpolatie	2
	<i>De TNO-isohypsenkaart is gebruikt als bron voor de waterspanningen in het eerste watervoerende pakket. De stijghoogten daarboven zijn lineair geïnterpoleerd.</i>	
b4	bij de keuze van maatgevende (= berekende) dwarsprofielen is zowel gekeken naar profielen met naar verwachting maximale zettingen als naar profielen met naar verwachting minimale zettingen	2
	<i>Er zijn, op basis van historische zettingsgegevens, twee gebieden onderscheiden met een verschillend zettingsgedrag (meer en minder zetting). Binnen deze twee gebieden is het meest zettingsgevoelige profiel doorgerekend.</i>	
b5	is er sprake van een anaarding? zo ja hoe is grondopbouw onder bestaande baan bepaald?	3
	<i>Niet van toepassing, dus maximale punten toegekend</i>	
b6	spanningsspreiding wordt in rekening gebracht	3
	<i>Spanningsspreiding is toegepast, dit is standaard bij gebruik van MSettle.</i>	
modelkeuze / parameterbepaling		
c1	modelkeuze, er is gekozen voor:	
	c1 b isotache model (abc model)	4
c2	de adviseur heeft ervaring met het gebruikte model en bijbehorende parameters (75%)	6
	<i>Wel ervaring, geen absolute experts. Er is een conservatieve toekenning van 75% van de te behalen punten gedaan.</i>	
c3	afstemming parameterbepaling / modelkeuze	
	c3 a de parameters volgend uit laboratorium onderzoek of archief zijn getoetst aan zettingsmetingen uit de omgeving van het project	9
	<i>Met de parameters uit het laboratoriumonderzoek is de huidige situatie nagerekend, dat wil zeggen de situatie na de vorige ophoging in 1990. Dit bleek goede resultaten op te leveren.</i>	
modelleren ophoging		
d1	er is rekening gehouden met tijdverloop tussen de verschillende ophoogslagen	0
	<i>Er is geen rekening gehouden met de uitvoeringstijd. Hoewel dit voor deze toepassing hoogstwaarschijnlijk vrijwel niets zal uitmaken op het berekende tijd-zettingsverloop, is in lijn met de systematiek 0 punten toegekend.</i>	
d2	er is rekening gehouden met het onderwater zakken van de ophoging	5
	<i>Dit is standaard bij gebruik van MSettle.</i>	

<b>Checklist CROW “Betrouwbaarheid van zettingsprognoses”</b>		<b>score</b>
d3	er is rekening gehouden met aanvulling van de optredende zettingen (onderhouden hoogte)	0
	<i>Nee.</i>	
d4	er is goed inzicht in het volumiek gewicht van het aan te brengen ophoogmateriaal	5
	<i>Ja, overigens was er geen goed inzicht in het volumegewicht van het reeds aanwezige ophoogmateriaal.</i>	
	modellering uitvoeringsvariant ter zettingsvermindering en/of –versnelling	17
	<i>Niet van toepassing: maximale score toegekend.</i>	
<b>Totaal score</b>		<b>80.25 / 100</b>

## 2.5 Voordeel van de DOS-systematiek ten opzichte van de CROW-systematiek

Met de CROW-systematiek wordt dus een score behaald, die zeer dicht in de buurt van de DOS-score ligt. Het voordeel van de CROW-methodiek is, dat deze makkelijker toe te passen is. Nadelen zijn, dat toekenning van de scores subjectiever is dan bij de DOS-systematiek en dat de systematiek niet specifiek voor ophogen van bestaande wegen is ontwikkeld waardoor sommige onderdelen niet van toepassing zijn (onderdelen b5 en ‘modelleren uitvoeringsvarianten’). Compenseren voor deze onderdelen levert een score op van 60/80 oftewel 75%. In dit geval is het verschil dus niet groot.

Belangrijker is echter, dat het gebruik van de DOS systematiek adviseurs dwingt om daarbij duidelijk uit te leggen hoe met de onzekerheden in het advies is omgegaan, daar deze (per project verschillende) onzekerheden eerst te laten benoemen en vervolgens op deze onzekerheden nader in te gaan. Dit is in tegenstelling tot de CROW systematiek. De score is daar een onderdeel van, maar niet het belangrijkste doel op zich.

## 2.6 Aandachtspunten uit case 1

In aanvulling op de “Tussenconclusie” tekstblokken in paragraaf 2.4 zijn nog de volgende aandachtspunten te benoemen:

De ideale werkwijze voor een zettingsprognose voor een niet-gewichtsneutrale ophoging is:

1. bepalen risicoprofiel o.b.v. toestand bestaande weg
2. bepalen uitgangspunten, belastinggeschiedenis, etc
3. bepalen huidige zettingsnelheid o.b.v. metingen
4. uitvoeren terreinonderzoek met laboratoriumbepaling van zettingsparameters
5. opstellen zettingsmodel, ijken aan zetting sinds aanleg en huidige zettingssnelheid
6. schematiseren ophoogmaatregel
7. gevoeligheidsanalyse

Uit de case Zinkeling komt naar voren dat vooral de bovenste meters, met het zeer slappe veen en de bestaande funderingslagen, van belang zijn (dit ligt ook voor de hand). Wellicht zou daarom bij een homogeen samendrukbaar pakket ongeveer 2/3 van de inspanningen worden gericht op de bovenste meters en 1/3 op de onderliggende meters in het slappe lagenpakket.



In het scoreschema voor de grondopbouw dient expliciet het bepalen van volumegewichten (ook van de antropogene toplaag) opgenomen te worden. Dit zit nu verborgen in 'afleiden benodigde parameters'. Eventueel kan de score voor de geoloog wat omlaag van 10 naar 5 punten en worden vervangen door 'grondopbouw bepaald op basis van voldoende lokaal onderzoek'. De eis dat degene die het grondonderzoek interpreteert een geoloog is, is wat te streng. Er wordt uiteraard wel aangenomen dat de interpretatie gebeurt door een voldoende ervaren persoon.

Het bepalen van het grensspanningsprofiel expliciet opnemen in de scoretabel voor de grondopbouw. Vanwege de grote invloed op de zettingsberekeningen mag hier een relatief groot aantal te verdienen punten bij staan.

Het bleek in de case Zinkeling lastig te zijn om een goede zettingssnelheid te bepalen en om deze aan de praktijk te verifiëren. Dit kwam met name door de onzekerheid in de geschiedenis van belastingen van het terrein. Eigenlijk kan de werkelijke zettingssnelheid alleen goed worden bepaald aan de hand van regelmatige maaiveldmetingen (bijvoorbeeld één of tweejaarlijks). Er dient een score opgevoerd te worden voor het bepalen van de zettingssnelheid aan de hand van maaiveldmetingen.

## 2.7 Gebruikte gegevens en literatuur

- [1] ARCADIS Geo- en vastgoedinformatie 131003.000945 – “Boskoop Zinkeling, hoogtecijfers en dwarsprofielen”, 15-jan-2004.
- [2] ARCADIS – “Geotechnisch advies Zinkeling, tekening met historische gegevens”, 23 juli 2004.
- [3] Joustra Geomet AA-00918 – “Veldrapport betreffende woningen ZWEMBADTERREIN te Boskoop”, 18-jul-1990.
- [4] A. Rietveld Grondboorbedrijf – 12 sondeergrafieken, 11-dec-1989.
- [5] Gemeente Boskoop 0402737 – “Archief foto zwembad Zinkeling”, 21-jul-2004



## 3. Case 2: Zinkeling Boskoop

### 3.1 Inleiding

Dit is dezelfde weg als in Case 1, alleen zijn nu, door een andere adviseur, zettingsberekeningen gemaakt voor ophoging en reconstructie van de bestaande weg met EPS. In case 1 was de bedoeling om op basis van een relatief grote inspanning tot een hoge score van circa 80 van 100 in de scoresystematiek te komen. In deze case is juist geprobeerd om met een beperkte inspanning een (rest)zettingsvoorspelling te maken (maar wel zodanig dat de aanpak representatief is voor de adviespraktijk). Het grootste verschil tussen beide cases is, dat voor case 2 géén grondonderzoek is uitgevoerd (ook zijn voor deze analyse de gegevens van het grondonderzoek uit case 1 niet beschikbaar gesteld).

In dit hoofdstuk wordt onderzocht hoe de eenvoudige zettingsprognose scoort in de scoresystematiek ten opzichte van het meer uitgebreide onderzoek in case 1 en waar deze systematiek zelf nog verbeterd moet worden. In het advies zijn twee situaties beschouwd: ophogen met zand op EPS en ophogen met Bims op EPS. Voor het dimensioneren van deze oplossingen is de zetting na aanleg teruggerekend tot het huidige niveau.

De te toetsen systematiek is voor het maken van afwegingen tussen 'zware' en 'lichte' ophogingen. In dit geval was reeds vooraf gekozen voor een gewichtsneutrale ophoging, zodat de systematiek minder bruikbaar is, het is daarom a priori logisch dat een (veel) lagere score zal worden behaald. In deze case wordt aangenomen dat de restzettingsvoorspelling wordt uitgevoerd binnen het toepassingsgebied van de DOS-systematiek. Er wordt met name op het narekenen van de huidige restzetting als gevolg van de oorspronkelijke aanleg ingegaan.

### 3.2 Werkwijze en randvoorwaarden

#### 3.2.1 Beschrijving van de gehanteerde werkwijze

De volgende werkwijze is aangehouden om tot de zettingsprognosen te komen:

- Op basis van bestaand grondonderzoek en de opgetreden zetting is een zettingsmodel van de huidige situatie bepaald.
- De eigenschappen van de grondlagen zijn op een zodanige manier aangepast, dat de opgetreden zetting overeenkomt met de berekeningsresultaten.
- De uit de geijkte berekening volgende restzetting is gebruikt om de conclusie te trekken dat het aanbrengen van een gewichtsneutrale ophoging leidt tot acceptabele restzettingen.

#### 3.2.2 Broninformatie

De volgende informatie is geciteerd als bron:

1. *Ingemeten peilen van verharding en drempels:*  
Gebruikt zijn de tekeningen "Boskoop Zinkeling, hoogtecijfers en dwarsprofielen" d.d. 15 januari 2004 en "Boskoop: dwarsprofielen" d.d. 12 januari 2004.  
Uit deze gegevens is geconcludeerd dat de Zinkeling in drie gebieden is onder te verdelen op basis van de hoogteligging van de verharding:

1. Zijde tot huisnummer 38: circa NAP –2,10 m;
2. huisnummer 38 tot huisnummer 74/76: circa NAP –2,05 m;
3. huisnummer 74/76 tot polder: circa NAP –1,80 m.

In case 1 is het gebied in twee delen opgesplitst. Nadere bestudering van de tekening met hoogtematen laat zien dat de verdeling in drie delen nauwkeuriger is (mits de informatie in de analyse ook wordt benut).

2. *Maximale restzetting na ophoging*

De maximale restzetting over een periode van 30 jaar na de reconstructie mag maximaal 0,15 m bedragen.

3. *Informatie over de aan te brengen verharding na ophoging:*

In [Tabel 3.1](#) zijn de toekomstige verhardingsconstructies weergegeven. Uitgangspunt is hergebruik van de in de huidige constructie aanwezige lava en flugsand. Daarnaast dient de bovenkant van de EPS minimaal 1 m onder de bovenkant van de verhardingsconstructie te liggen in verband met de ligging van de waterleiding.

Rijbaan/Parkeerterrain		Voetpaden	
materiaal	dikte	materiaal	dikte
[-]	[meter]	[-]	[meter]
Klinkers	0,08	Tegel	0,05
Zand	0,05	Flugsand/zand of Bims	0,75
Lava	0,30	EPS	variabel
Flugsand/zand of Bims	0,57		
EPS	variabel		

*Tabel 3.1: Toekomstige verhardingsconstructies Zinkeling*

4. *De toekomstige weghoogte en mate van ophoging*

In het Programma van Eisen is aangegeven dat de toekomstige weghoogte gelijk moet zijn aan de aanleghoogte in 1990. Deze varieert tussen de 0,5 en 0,8 m ten opzichte van het toenmalige polderpeil (NAP –2,20 m). In [Tabel 3.2](#) is een overzicht gegeven van de huidige hoogte, aanleghoogte en benodigde ophoging per deel, zoals die hierboven onderscheiden is. Deze hoogtes zijn gebaseerd op de volgende tekeningen:

- “Nieuwbouw Zwembadkavel: situatie zonder doorgaande maten” d.d. 26 juli 1989;
- “Nieuwbouw Zwembadkavel: dwarsprofielen” d.d. 26 juli 1989.

De aanleghoogtes ter plaatse van deel 2 en 3 waren niet volledig uitgewerkt.

		Deel 1	Deel 2	Deel 3
Huidige hoogte	NAP m	-2,11 tot – 2,07	-2,08 tot – 1,97	-1,79 tot –1,76
Toekomstige hoogte	NAP m	-1,40 tot – 1,60	-1,45 tot – 1,60	-1,45 tot –1,50
Mate van ophoging / zetting tot nu	meter	0,50 tot 0,70	0,40 tot 0,60	0,30 tot 0,35

Tabel 3.2: Hoogte midden rijbaan

### 3.2.3 Historische informatie

De volgende historische informatie was beschikbaar om de zettingsvoorspellingen nauwkeuriger te maken:

1. *de aanwezige verhardingsconstructies*

Op basis van de tekening “Nieuwbouw Zwembadkavel: dwarsprofielen” d.d. 26 juli 1989 is aangegeven wat de aanwezige verhardingsconstructies zijn. In [Tabel 3.3](#) is een overzicht gegeven van de verschillende constructies.

Rijbaan: type 1		Rijbaan: type 2		Parkeren/rijbaan: type 1		Parkeren/rijbaan: type 2		Voetpaden	
materiaal	dikte	materiaal	dikte	materiaal	dikte	materiaal	dikte	materiaal	dikte
[-]	[meter]	[-]	[meter]	[-]	[meter]	[-]	[meter]	[-]	[meter]
Asfalt	0,15	Asfalt	0,15	Klinkers	0,08	Klinkers	0,08	Tegel	0,05
Slakken	0,10	Slakken	0,10	Zand	0,15	Zand	0,15	Zand	0,55
Lava	0,30	Lava	0,30	Lava	0,30	Lava	0,30	Veen	
Flugsand	0,45	Veen		Flugsand	0,45	Veen			

Tabel 3.3: Huidige verhardingsconstructies Zinkeling

2. *de variatie in grondwaterstand in de tijd;*

In het rapport is aangegeven dat het polderpeil bij aanleg van de weg NAP –2,20 m bedroeg en nu NAP –2,27 m bedraagt. Er is niet aangegeven wanneer het polderpeil is verlaagd, maar de informatie over het polderpeil is afkomstig van tekeningen uit juli 1989. In case 1 was aangenomen dat de grondwaterstand sinds de aanleg niet is veranderd, gebaseerd op een tekening in het rapport “Veldrapport betreffende woningen zwembadterrein te Boskoop” van 18 juli 1990. Blijkbaar is het polderpeil tussen juli 1989 en juli 1990 verlaagd. Hierdoor kan bij het terugrekenen van de zetting als gevolg van de oorspronkelijke aanleg beter met het nieuwe polderpeil gerekend worden. In deze berekening is het peil bij aanleg aangehouden.

3. *sonderingen uitgevoerd ten behoeve van de bouw van de woonhuizen in 1990.*

Er zijn sonderingen gebruikt die zijn uitgevoerd ten behoeve van de bouw van de woonhuizen in 1990. Het betreft 12 mechanische sonderingen zonder meting van kleef, 12 elektrische sonderingen zonder meting van de kleef en 1 elektrische sondering met meting van kleef. De sonderingen zonder kleef zijn gebruikt voor het bepalen van de dikte van het slappe lagenpakket. Bovendien is op basis van deze sonderingen geconstateerd dat in gebied 3 een zandlaag van 1 à 2 meter dikte in de ondergrond aanwezig is. De sondering met kleef is gebruikt voor het bepalen van de grondopbouw in het slappe

lagenpakket. Echter, deze grondopbouw is niet gebruikt in de zettingsberekeningen. Navraag bij de adviseur leert dat deze de sondeerwaarde onvoldoende vertrouwd om deze als basis voor de zettingsberekening te gebruiken. (Dit dezelfde conclusie als in case 1 is gemaakt).

### 3.3 Terreinverkenning

Voor dit project is de huidige hoogteligging van de weg en enkele andere peilen gemeten (zoals genoemd in de vorige paragraaf). Er is verder geen terreinonderzoek gerapporteerd.

### 3.4 DOS-Systematiek “Kwaliteit Zettingsprognose”

De nauwkeurigheid van de uitgevoerde zettingsanalyses is bepaald volgens de DOS-systematiek in bijlage 1. De gevolgde stappen in het stroomschema de daarmee behaalde score zijn hieronder opgesomd:

#### 3.4.1 1: definiëren project

Voor het project is als PvE en randvoorwaarden gegeven:

1. de weg moet worden opgehoogd tot het oorspronkelijke aanlegniveau in 1990, deze varieert over de weg en is gegeven in tekeningen
2. het polderpeil ligt op NAP – 2.29 m, er mag worden aangenomen dat dit peil in de toekomst ongewijzigd blijft.
3. De maximaal toelaatbare restzetting over een periode van 30 jaar na de reconstructie mag maximaal 0,15 m bedragen.
4. de op dit moment aanwezige kabels en leidingen zullen worden opgehaald, er is geen aparte zettingseis voor de kabels- en leidingen gespecificeerd.

Het voldoen aan het PvE is daarmee - voor wat betreft het geotechnisch deel - volledig afhankelijk van de snelheid en grootte van het zettingsproces van de ondergrond ten gevolge van de nieuwe en de historische ophoging.

#### 3.4.2 2: historisch vervormingsgedrag

*(2.1) t/m (2.6): Is de bestaande weg differentieel gezakt?*

De weg was in 1990 aangelegd en er is sindsdien geen onderhoud gepleegd. Desalniettemin is er een verschil in hoogteligging gemeten, de weg is in het rapport in drie delen gesplitst.

Volgens 2.4 dient achterhaald te worden wat de reden voor dit zettingsverschil kan zijn:

1. Er is wordt aangenomen dat de aanleghoogte in het deel bij de polder circa 10 centimeter lager was dan in de andere twee delen;
2. Er was aangegeven door de gemeente dat er nergens onderhoud was gepleegd sinds aanleg.
3. Onbekend is, of in de gehele constructie ophoogmaterialen zijn gebruikt met hetzelfde volumegewicht. Er zijn alleen tekeningen beschikbaar van het deel van de Zijde tot huisnummer 74/75.
4. Onbekend is, of er heterogeniteit in de ondergrond aanwezig is dat dit verschil in zettingshistorie kan verklaren. Er is één sondering gebruikt met meting van kleef.
5. Onbekend is, wat de fasering was van de aanleg van de weg, en of dit een verklaring kan geven voor het verschil in zettingshistorie

**Tussenconclusie:**

**Hoewel de verschilzetting goed is beschreven, is er verder niet op ingegaan. De 'worst case' restzetting is bepaald voor het hele traject. Op basis hiervan is de lichtgewicht constructie ontworpen, zodat ook deze overal aan de restzettingseis zal voldoen.**

(2.7) t/m (2.11): *Tijd-zettingsverloop bij bestaande weg conform prognoses?*

Er zijn van de aanleg van de huidige weg geen zettingsprognoses beschikbaar, waardoor deze vergelijking niet gemaakt kan worden.

Volgens het stroomschema dienen de parameters en de uitgangspunten die de zettingssnelheid na ophogen bepalen in die gevallen te worden bepaald. Het stroomschema vermeldt niet expliciet dat ook de restzetting van de bestaande weg nu nog moet worden bepaald. Dit moet dus worden toegevoegd in de systematiek.

De restzetting van de bestaande weg is bepaald door het terugrekenen met behulp van een 1-dimensionale MSettle berekening. Over deze berekening kan het volgende worden gezegd:

1. De grondopbouw is geschematiseerd op een manier die maar zeer globaal overeenkomt met de gerapporteerde grondopbouw. Navraag leert dat de betreffende adviseur heeft geconstateerd dat de beschikbare sondering waarschijnlijk onbetrouwbare resultaten heeft opgeleverd. Daarom is deze sondering verder niet gebruikt. In de berekening is een grondopbouw gebruikt, die elders in Boskoop vaker voorkomt. Deze gemiddelde grondopbouw komt niet goed overeen met de grondopbouw gevonden in de in case 1 uitgevoerde sonderingen en boringen. Dit geeft aan dat grondonderzoek altijd aan te bevelen is om te controleren of gebiedservaring ook in nieuwe omgevingen nog geldig is.
2. De historische ophoging is geschematiseerd door een belasting van 18 kN aan te brengen. Dit lijkt erg hoog: de totale belasting van rijbaan type 1 is ongeveer 18 kN, maar doordat een groot deel als vervanging van veen (in cunet) is toegepast, onder de grondwaterstand, zal de werkelijke belasting aanzienlijk lager zijn. Bij het ijken van het grondmodel aan de werkelijk opgetreden zetting zal het lijken alsof de grond stijf is: bij een grote belasting (18 kN) treedt weinig zetting op.
3. De eigenschappen van de grondlagen zijn niet in overeenstemming met die van NEN tabel 1. De herkomst is niet gegeven in de rapportage. Een van de afwijkingen is het gebruik van een volumieke massa voor veen van 11 kN/m<sup>3</sup>, terwijl in het rapport een volumieke massa van 10 kN/m<sup>3</sup> is gegeven. Navraag leert dat de in het project gebruikte versie (onbekend, voor 7.1) van MSettle niet kan omgaan met volumieke massa's voor grondlagen gelijk aan dat van water.
4. De in de berekening gebruikte samendrukkingseigenschappen zijn bepaald op basis van vuistregels: de Koppejan-samendrukkingcoëfficiënten beneden de grensspanning zijn voor iedere grondsoort exact tien maal zo groot als de Koppejan-samendrukkingcoëfficiënten boven de grensspanning. Overigens wijken deze een factor 10 af van de waarden, gemeten in laboratoriumproeven in case 1 van de Zinkeling. Uit navraag bij de adviseur blijkt dat de waarden zodanig zijn aangepast, dat de grootte van de zetting sinds aanleg tot nu toe overeen kwam met de werkelijk opgetreden zetting.

De vraag is nu: wat is het effect van het gebruik van deze vuistregels en aannamen op de uitgevoerde analyse? Om hierop een antwoord te vinden is dezelfde som opnieuw gemaakt, maar nu met de eigenschappen voor veen en slappe klei zoals die voor case 1 in het laboratorium zijn gemeten. De overige onderdelen van de som zijn gelijk gehouden.

Het verschil in resultaat is groot: de zetting na tien jaar wordt nu berekend op 1,74 m met een restzetting van 9 cm (in plaats 61 cm met een restzetting van 6 cm in de oorspronkelijke berekening). Het mag duidelijk zijn dat er in werkelijkheid geen 1,74 meter zetting is opgetreden. Hieruit blijkt dat de uitgangspunten van de berekening waarschijnlijk niet voldoende nauwkeurig

bekend zijn om een voldoende nauwkeurige prognose te maken.

Mogelijke foutenbronnen naast de keuze van de samendrukkingsparameters zijn:

- Het graven van het cunet en het aanvullen met flugsand is niet geschematiseerd, waardoor zowel de belastingssituatie als de afstroomlengte onjuist is meegenomen
- Gebruik van een te eenvoudig zettingsmodel
- De invloed van waterspanningen in het eerste watervoerend pakket op het waterspanningsverloop in de diepte is niet meegenomen.

***Tussenconclusie:***

***Opmerkelijk is wel, dat de restzetting volgens deze benadering inderdaad circa 10 cm is. Toch is het maken van een grove berekening en het evalueren in hoeverre de antwoorden overeenkomen met de verwachting risicovol:***

- 1. De stijfheidseigenschappen van de grondlagen kunnen sterk afwijken van wat een geotechnisch adviseur van te voren 'op ervaring' bepaalt of wat uit een 'fit' van de opgetreden zetting volgt.***
- 2. Als de primaire zetting voorbij is, dient met name de kruipsnelheid bepaald te worden. Hiermee kan lineair in log tijd worden geëxtrapoleerd en is de restzetting te bepalen. Terugrekenen is dan niet nodig.***
- 3. De kruipsnelheid kan het beste worden bepaald op basis van metingen, daarna op basis van laboratoriumproeven.***

Bij het uitwerken van case 1 (Zinkeling) is gezegd dat de restzetting als gevolg van de vorige ophoging zonder metingen kan worden bepaald:

“Door het nauwkeurig te bepalen van alle uitgangspunten van de zettingsberekening voor aanleg van de huidige weg, zodat de huidige situatie volledig teruggerekend kan worden. Indien er echter maar twee ijkpunten zijn (hoogteligging bij aanleg en huidige hoogteligging) dan kunnen er in theorie een oneindig aantal zettingslijnen doorheen getrokken worden. Aangezien het juist gaat om het gedrag ná de huidige hoogteligging (de restzetting) betekent dit dat de methode zeer afhankelijk is van de kwaliteit van de bepaling van de zettingsparameters (met name de laboratoriumbepaling van de stijfheidseigenschappen van de grond).” Geconcludeerd wordt dat in deze case 2 niet aan die voorwaarden is voldaan en dat de restzetting niet goed zonder metingen teruggerekend kan worden.

*(2.12) t/m (2.20): vorige ophoging(en), cunet(ten), aanlegpeilen, onderhoudswerkzaamheden en overige uitgangspunten bekend?*

De vorige ophogingen, aanlegpeilen, cunetten en uitgangspunten zijn redelijk bekend uit de historische informatie. Deze informatie is overgenomen en als correct beschouwd.

In de praktijk (zie grondonderzoek case 1) blijken de aanwezige cunetten en aangebrachte zandpakketten en materialen echter aanzienlijk af te wijken van de ontwerptekeningen. Hieruit blijkt, dat er zeer kritisch moet worden omgegaan met historische ontwerptekeningen, ook al is de ouderdom vrij gering.



**Tussenconclusie:**

**Tenzij met grote zekerheid bekend is dat ontwerptekeningen van de fundering overeenkomen met de daadwerkelijke uitvoering, dient de aard van de ophogingen met tenminste één veldbepaling per 250 m' te worden vastgesteld. De relevante eigenschappen zijn: dikte funderingslagen en volumieke massa funderingslagen. Dit kan op de volgende manieren:**

1. door het graven van proefsleuven of kernen
2. door bij het eventueel uitvoeren van sonderingen de funderingslaag voor te graven en nauwkeurig te beschrijven

**Indien de dikte van de funderingslagen zeer heterogeen is en de te onderzoeken weglengte groot, dan kan de inzet van grondradar of een andere geofysische techniek overwogen worden hoewel deze methoden geen inzicht in de volumieke massa's van de funderingsmaterialen verschaffen.**

### 3.4.3 3: Kennisleemten

De kennisleemten dienen voort te vloeien uit het historisch grondgedrag en worden geformuleerd in doelen voor stap 4. Op basis van het voorgaande zouden de doelen voor de terreinverkenning moeten zijn:

Het kunnen opstellen van een zettingsmodel zodanig, dat hiermee de bestaande situatie kon worden teruggerekend (zetting en zettingsnelheid) en de nieuwe ophoging kon worden geschematiseerd.

- 1) Bepaling aantal en diepteligging relevante grondlagen en ophoogmaterialen en de heterogeniteit hierin.
- 2) Eigenschappen van die lagen en de heterogeniteit erin:
  - a) Volumegewicht **vochtig en verzadigd**
  - b) Stijfheidseigenschappen: Koppejan- of isotachenparameters, grensspanning, zwelconstante
  - c) Horizontale en verticale doorlatendheid
- 3) De ligging van het freatisch vlak ten opzichte van het polderpeil (mate van opbolling)
- 4) De waterspanningen in het eerste watervoerende pakket.

### 3.4.4 4: Invullen kennisleemten door terreinonderzoek

*(4.1.1): Doelen grondonderzoek vaststellen*

Zie onder (3)

*(4.1.2): **Hetgeen wordt vermeldt onder 4.1.2 kan worden verplaatst naar (3), waarna 4.1.2 kan vervallen uit het stroomschema***

*(4.1.3): **Hetgeen wordt vermeldt onder 4.1.3 kan worden verplaatst naar (3), waarna 4.1.3 kan vervallen uit het stroomschema***

*(4.1.4): Literatuur, oriënterend grondonderzoek*

Met betrekking tot de in (3) gestelde doelen:

1. *Bepaling aantal en diepteligging relevante grondlagen en ophoogmaterialen en de heterogeniteit hierin:*

Op basis van een oude sondering met meting van kleeft (gemaakt voor het ontwerpen van paalfunderingen) is de grondopbouw vastgesteld. De samenstelling van het slappe lagen

pakket is aangenomen voor de hele weg hetzelfde te zijn. Uitzondering hierop is, dat uit sonderingen zonder kleef bleek dat de ondiepe zandlaag niet overal voorkomt. In de uitgevoerde zettingsberekening komt de grondopbouw uit de sonderingen niet meer terug. Er is vastgesteld (net als in in case 1) dat de oude sondering met meting van kleef onbetrouwbaar is en er is gebruik gemaakt van een schatting van de grondopbouw op basis van gebiedsinformatie. Navraag bij de adviseur leert, dat aangenomen is dat deze inschatting leidt tot een 'worst case' berekening. Vergelijking van de gebruikte grondopbouw met de grondopbouw gevonden in de sonderingen uitgevoerd voor case 1 laat zien dat de gebruikte grondopbouw (2,5 meter veen op 5 meter slappe klei) géén 'worst case scenario' is: bij sondering 3 is circa 4 meter veen op 3,5 meter slappe klei aangetroffen. Het veen is slapper dan de klei.

De aard en dikte van de aangebrachte ophoogmaterialen zijn op tekening gespecificeerd en lijkt daarmee afdoende in kaart gebracht. Hierop is geen nader grondonderzoek uitgevoerd. (lees echter ook het gestelde onder 2.4.2, onderaan)

2. *Eigenschappen van relevante grondlagen en de heterogeniteit erin:*

- a. Volumegewicht vochtig en verzadigd: Voor de ophoogmaterialen is aangenomen dat op basis van de informatie op de ontwerptekeningen een afdoende nauwkeurige schatting van de volumegewichten gemaakt kan worden. Voor de grondlagen is een schatting gemaakt van de volumegewichten van de grondlagen:

	Aangenomen	NEN6740 tabel 1	Verificatie: grondonderzoek case 1
<b>Veen</b>	11 kN/m <sup>3</sup>	10 of 12 kN/m <sup>3</sup>	10,1 kN/m <sup>3</sup>
<b>Humeuze klei ("Slappe klei")</b>	13 kN/m <sup>3</sup>	13 kN/m <sup>3</sup>	13,6 kN/m <sup>3</sup>
<b>"Gemiddeld stijve klei"</b>	15 kN/m <sup>3</sup>	15 of 16 kN/m <sup>3</sup>	-
<b>Basisveen</b>	-	12 of 13 kN/m <sup>3</sup>	-

Tabel 3.4: Schatting van volumegewichten ten opzichte van waarden uit NEN6740 tabel 1 en het grondonderzoek uit case 1.

De schatting is gemaakt op basis van NEN 6740 tabel 1. Voor veen was eigenlijk een volumegewicht van 10 kN/m<sup>3</sup> geschat, maar dit is om rekentechnische redenen niet in de berekening gebruikt (zie punt (2.7) t/m (2.11)). In dit geval komt de oorspronkelijke schatting goed overeen met de werkelijke volumegewichten, de verhoging van het volumegewicht van veen introduceert een onnauwkeurigheid.

- b. Stijfheidseigenschappen: Koppejan- of isotachenparameters, grensspanning, zwelconstante. Er zijn geen eerdere zettingsberekeningen in de buurt van het project gemaakt. Ook is er geen proevenverzameling van de gemeente beschikbaar. NEN6740 geeft per grondsoort een schatting van de Koppejanparameters Cp' en Cs'.

	Aangenomen				NEN6740 tabel 1				Verificatie: grondonderzoek case 1			
	$C_p$	$C_p'$	$C_s$	$C_s'$	$C_p$	$C_p'$	$C_s$	$C_s'$	$C_p$	$C_p'$	$C_s$	$C_s'$
<b>Veen</b>	250	25	900	90	-	7.5 of 10	-	30 of 40	29	5	17 0	35
<b>“Slappe klei”</b>	250	25	900	90	-	7.5	-	30	49	9	27 6	48
<b>“Gem. stijve klei”</b>	140	14	1600	160	-	20	-	240	-	-	-	-
<b>Basis- veen</b>	-	-	-	-	-	7.5 of 10	-	30 of 40	-	-	-	-

Tabel 3.5: Gehanteerde stijfheidseigenschappen ten opzichte van waarden uit NEN6740 tabel 1 en het grondonderzoek uit case 1.

De gehanteerde waarden zijn niet afkomstig uit oriënterend grondonderzoek of literatuur, maar zijn zodanig aangepast dat het opgestelde zettingsmodel de werkelijk opgetreden hoeveelheid zetting na 10 jaar veroorzaakt. Gezien de grote verschillen met met name de resultaten uit het grondonderzoek in case 1 is te verwachten dat deze waarden niet erg in overeenstemming zijn met de werkelijkheid. In plaats van het grondgedrag 2 tot 5 keer stijver te veronderstellen is onderzoek naar de andere uitgangspunten gewenst.

c. *Horizontale en verticale doorlatendheid*

Er waren geen eerdere laboratoriumonderzoeken of pompproeven beschikbaar.

3. *De ligging van het freatisch vlak ten opzichte van het polderpeil (mate van opbolling)*

Er is geen eerder onderzoek in de buurt naar de mate van opbolling van het freatisch vlak beschikbaar.

4. *De waterspanning in het eerste watervoerende pakket*

De waterspanning in het eerste watervoerend pakket is niet gebruikt in het advies.

(4.1.5): *Kwalitatieve bepaling type grondonderzoek per parameter*

Op basis van de resultaten van 4.1.4. wordt het volgende gesteld:

1. *Bepaling aantal en diepteligging relevante grondlagen en ophoogmaterialen en de heterogeniteit hierin:*

Aangenomen is dat het gebruik van een op ervaring geschat profiel een ‘worst case scenario’ benadering oplevert. In het rapport wordt geen aanbeveling gedaan voor nader grondonderzoek.

2. *Eigenschappen van die lagen en de heterogeniteit erin:*

a. *Volumegewichten*

Volumegewichten van de grondlagen zijn geschat met behulp van NEN6740.

b. *Stijfheidsparameters*

Na navraag is gebleken dat de samendrukkingsparameters zijn vastgesteld door middel van een parameterfit van het zettingsmodel aan de opgetreden zetting. Deze zijn niet door aanvullend grondonderzoek bepaald.

c. *Horizontale en verticale doorlatendheid*

Er is aangenomen dat een inschatting van de waarde van de consolidatiecoëfficiënt door de adviseur voldoende nauwkeurig is.

3. *De ligging van het freatisch vlak ten opzichte van het polderpeil (mate van opbolling)*

Er is geen aanvullend grondonderzoek gedaan naar opbolling van het freatisch vlak. Gezien de nabijheid van open water en de geringe drooglegging is dit acceptabel.

*(4.1.6): Bepalen hoeveelheid grondonderzoek*

In het project is geen aanvullend grondonderzoek uitgevoerd.

*(4.2) Uitvoeren grondonderzoek*

Er is geen grondonderzoek uitgevoerd.

*(4.3) Interpretatie grondonderzoek*

Er is geen grondonderzoek uitgevoerd.

*(4.4) Geohydrologie*

Er is alleen rekening gehouden met het polderpeil. Het verloop van de waterspanningen in de diepte is hydrostatisch verondersteld.

*(4.5) Grondopbouw*

De grondopbouw is geschat op basis van gebiedservaring. Aangenomen is, dat met deze grondopbouw een 'worst case scenario' wordt bepaald. De aannname is niet gecontroleerd met lokaal grondonderzoek.

*(4.6) Afleiden benodigde parameters*

4) Volumegewicht vochtig en verzadigd

Zie onder "Literatuurstudie", deze zijn afkomstig uit NEN6740 met uitzondering van het volumegewicht van veen.

5) Stijfheidseigenschappen: Koppejan- of isotachenparameters, grensspanning, zwelconstante

De waarden wijken sterk af van die in NEN6740 tabel 1 en in case 1 uitgevoerd grondonderzoek. De waarden zijn afkomstig van een parameterfit van het model, die blijkbaar zeer sterk afwijkt van de waarden uit literatuur en grondonderzoek.

6) Horizontale en verticale doorlatendheid

Deze zijn geschat door de adviseur.

### **3.4.5 5: Opstellen geotechnisch ontwerp**

De schematisatie van het ondergrondmodel is als volgt in zijn werk gegaan:

1. de huidige (rest)zettingssnelheid is onbekend. Om deze te achterhalen is de situatie bij aanleg in 1990 geschematiseerd en teruggerekend voor één profiel.
2. Een aantal gegevens zijn hierbij geschat, bij gebrek aan informatie:
  1. Er is destijds een cunet gegraven. Dit is niet geschematiseerd, aangenomen is dat de totale fundering destijds op het maaiveld is aangebracht.
  2. Het gemiddelde polderpeil was destijds 7 cm lager dan het huidige polderpeil. (De invloed hiervan zal overigens gering zijn)
  3. Aangenomen is, dat de constructie in één dag is aangelegd. Aangezien de exacte uitvoeringstijd onbekend is, heeft het modelleren van het uitvoeringsproces geen zin.
  4. De volumegewichten van de ophoogmaterialen en grondlagen zijn geschat.

3. Er is gebruik gemaakt van het 1D Koppejan rekenmodel, zonder correctie voor onder water zakken van de grondlagen en zonder spanningsverspreiding.
4. De aldus berekende grootte van de zetting tot en met de huidige situatie bleek vrij goed overeen te komen. Ook de huidige zettingssnelheid en restzetting bleken goed overeen te komen met de expert judgment van de opdrachtgever.
5. Dit model is gebruikt als basis voor het nieuwe ontwerp. Hiermee is een verwachtingswaarde van het optredende tijd-zettingsverloop na ophoging met EPS en met Bims + EPS bepaald.

Dit is over het algemeen een gebruikelijke en acceptabele werkwijze. Bij deze constatering is de nauwkeurigheid waarmee de uitgangspunten zijn bepaald en gekozen, zoals o.a. ook het gebruikte rekenmodel, buiten beschouwing gelaten.

#### **3.4.6 6: Gevoeligheidsanalyse**

Een gevoeligheidsanalyse op de gebruikte gegevens is niet uitgevoerd in het project. Wel is voor de evaluatie in het voorliggende rapport opnieuw gerekend met de stijfheidsparameters, zoals die uit het grondonderzoek voor case 1 zijn bepaald. Hiermee werden zeer grote zettingen gevonden met overigens een redelijk gelijke restzetting als gevolg van de huidige ophoging. Desondanks maakt dit duidelijk, dat schatting van stijfheidsparameters op basis van expertkennis of door fitten aan een te klein aantal metingen een zeer grote onzekerheid met zich mee kan brengen.

### **3.5 Behaalde score**

Op basis van de in de vorige paragraaf besproken werkwijze kan de score bepaald worden volgens de DOS-systematiek. Hier worden de stappen in het stroomschema en de behaalde score opgesomd:

1. **2.1:** De weg is differentieel gezakt. Er is aangenomen dat dit is veroorzaakt door aanwezigheid van een lokale zandlaag, maar dit is niet verder onderzocht in berekeningen of grondonderzoek.  
**Score: 0 (van 8)**
2. **2.7:** Er zijn geen prognoses beschikbaar van het ontwerp van de weg met betrekking tot het zakkingsgedrag. De zettingsparameters zijn niet in kaart gebracht.  
**Score: 0 (van 8)**
3. **2.12:** De vorige ophogingen, aanlegpeilen, cunetten en uitgangspunten zijn redelijk bekend uit de historische informatie. In de praktijk blijken de aanwezige cunetten en aangebrachte zandpakketten en materialen echter af te wijken van de ontwerptekeningen (zie grondonderzoek case 1) maar aangezien er geen grondonderzoek is uitgevoerd is dit uiteraard niet ontdekt.  
**Score: 3 (van 10)**
4. De grensspanning is niet bepaald.  
**Score: 0 (van 4)**
5. Er is geen grondonderzoek uitgevoerd.  
**Score: 0 (van 8)**
6. De stijghoogten in het watervoerend en freatisch pakket zijn niet bepaald. Het polderpeil is aangehouden als freatische grondwaterstand.  
**Score: 0 (van 5)**
7. De gebruikte grondopbouw komt niet overeen met de opbouw die is bepaald uit lokaal grondonderzoek (de sondering).  
**Score: 0 (van 10)**
8. De benodigde parameters zijn deels geschat op basis van ervaring, deels uit "standaard" correlaties (NEN6740 tabel 1) afgeleid.  
**Score: 3.75 (van 15)**

9. Het gebruikte rekenmodel is het 1D Koppejan model, waarbij onderwaterzakken van de grondlagen en spanningsspreiding niet zijn meegenomen. Dit model is nog niet opgenomen in de scorelijst en dient toegevoegd te worden (het Koppejan model in de huidige lijst is bedoeld als 2D Koppejan model). Gezien de eigenschappen van dit model past het tussen “Terzaghi met kruipcomponent” en “2D NEN methode, geen correctie voor onderwaterzakken”. De restzetting als gevolg van de oude ophoging is expliciet meegenomen.

**Score: 12 (van 20)**

10. Er is geen gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

**Score: 0 (van 20)**

Hiermee wordt de totaalscore 18.75 van de 104, met als waardering ‘slecht’. Dit betekent niet dat in dit geval een slecht advies zou zijn geleverd: de adviseur had de opdracht een lichtgewicht constructie te dimensioneren en niet om een afweging tussen ophogen met zand of met licht materiaal te maken.

Als de beslissing voor gewichtsneutraal ophogen reeds is gemaakt, dan kan worden volstaan met een lagere score dan bij belastingverhogend ophogen. Bij werkelijk gewichtsneutraal ophogen is de kans op grote afwijkingen tussen voorspelling en werkelijke restzetting kleiner. De kans dat onacceptabele vervormingen ontstaan in het wegdek is dus kleiner. Dit is hier verder niet uitgewerkt.

### 3.6 CROW-systematiek “Gevoeligheid Zettingsprognose”

Door het CROW is in 2004 in het kader van het onderzoek “Betrouwbaarheid van Zettingsprognoses” een score-systematiek ontwikkeld waarmee de nauwkeurigheid van een zettingsanalyse kan worden ingeschat.

De methodiek is opgesteld voor nieuwe ophogingen en niet voor ophogen van bestaande situaties. Desondanks is het de moeite waard om de uitgevoerde zettingsprognose te beoordelen volgens deze systematiek. Indien de verschillen tussen beide scoresystemen klein is, is aansluiting bij de (standaard) CROW-methode wellicht gewenst.

De CROW-methode maakt gebruik van verschillende scoretabellen voor verschillende situaties. In dit geval zijn de scores voor de situatie “lijninfrastructuur: zettingsverloop en restzetting” van belang. Het lastige aan de CROW-methodiek is, dat slechts de maximale scores zijn gegeven. Als een onderdeel in de zettingsprognose op de best mogelijke manier is ingevuld, dan is de methodiek gemakkelijk en vrij objectief te hanteren. Als dit niet het geval is, dan wordt de puntentoekening (als fractie van het maximum aantal punten) overgelaten aan de gebruiker.

In de evaluatie van deze case is daarom gekozen voor de volgende werkwijze: per onderdeel is voor de “beste” methode het maximum aantal punten toegekend, voor de “slechtste” methode geen punten. Hiertussen is lineair geïnterpoleerd.

Checklist CROW “Betrouwbaarheid zettingsprognoses”			score
verkenning ondergrond			
a1	hoeveelheid / soort onderzoek		
	a1d	Enige sonderingen en archiefgegevens	3.75
		<i>In werkelijkheid waren de sonderingen ook archiefgegevens en was slechts één sonderingen van een voldoende hoge kwaliteit.</i>	
a2	interpretatie er is gebruik gemaakt van		
	a2b	geologische informatie óf ervaring in de omgeving	2.5
		<i>Er is aangenomen dat de betreffende geotechnisch adviseur ervaring heeft in de omgeving. Er is geen geologische informatie gebruikt.</i>	
schematisatie ondergrond			
b1	De schematisatie van de grondlagen in maatgevend dwarsprofiel kent		
	b1a	een grove laagindeling	0
		<i>De gebruikte laagopbouw komt niet overeen met de in de sondering aangetroffen laagopbouw</i>	
b2	De ligging van het freatisch niveau volgt uit:		
	b2b	kaartmateriaal / opgaaf van derden	1
		<i>Voor het freatisch niveau is het polderpeil, volgens opgaaf van opdrachtgever, aangehouden. Er is niet met opbolling gerekend. Gezien de geringe drooglegging en de locatie (naast watergang) wordt de invloed van opbolling op de analyse van de huidige situatie als zeer klein verondersteld..</i>	
b3	het verloop van de waterspanningen in de diepte:		
	b3d	Is lineair verondersteld	0
b4	bij de keuze van maatgevende (= berekende) dwarsprofielen is zowel gekeken naar profielen met naar verwachting maximale zettingen als naar profielen met naar verwachting minimale zettingen		2
		<i>Er zijn, op basis van historische zettingsgegevens, drie gebieden onderscheiden met een verschillend zettingsgedrag (meer en minder zetting). Binnen deze drie gebieden is een ‘gemiddeld’ profiel doorgerekend.</i>	
b5	is er sprake van een aanaarding? zo ja hoe is grondopbouw onder bestaande baan bepaald?		3
		<i>Niet van toepassing, dus maximale punten toegekend</i>	
b6	spanningsspreiding wordt niet in rekening gebracht		0
		<i>Spanningsspreiding is niet toegepast, er is wel gerekend met MSettle, maar met een 1D-model</i>	
modelkeuze / parameterbepaling			
c1	modelkeuze, er is gekozen voor:		
	c1b	Koppejan-methode	2
c2	de adviseur heeft ervaring met het gebruikte model en bijbehorende parameters (75%)		6
		<i>Onbekend. Willekeurige aanname: wel (voldoende) ervaring, geen absolute expert. Er is een conservatieve toekenning van 75% van de te behalen punten gedaan.</i>	
c3	afstemming parameterbepaling / modelkeuze		
	c3f	Voor alle parameters zijn aannamen gedaan	0

Checklist CROW “Betrouwbaarheid zettingsprognoses”		score
modelleren ophoging		
d1	er is rekening gehouden met tijdverloop tussen de verschillende ophoogslagen	0
	<i>Er is geen rekening gehouden met de uitvoeringstijd. Hoewel dit voor deze toepassing hoogstwaarschijnlijk vrijwel niets zal uitmaken op het berekende tijd-zettingsverloop, is in lijn met de systematiek 0 punten toegekend.</i>	
d2	er is rekening gehouden met het onderwater zakken van de ophoging	5
	<i>Dit is standaard bij gebruik van MSettle.</i>	
d3	er is rekening gehouden met aanvulling van de optredende zettingen (onderhouden hoogte)	0
	<i>Niet van toepassing, dus maximale score toegekend..</i>	4
d4	er is goed inzicht in het volumiek gewicht van het aan te brengen ophoogmateriaal	5
	<i>Ja, overigens was er geen goed inzicht in het volumegewicht van het reeds aanwezige ophoogmateriaal.</i>	
modellering uitvoeringsvariant ter zettingsvermindering en/of –versnelling		17
<i>Niet van toepassing: maximale score toegekend.</i>		
<b>Totaal score</b>		<b>51 / 100</b>

Uit de CROW systematiek blijkt, dat de nauwkeurigheid van de zettingsprognose niet als erg hoog wordt ingeschat. De publicatie vermeldt een score van 80/100 als nodig om tot een nauwkeurigheid van +/- 30% te komen; een score van 50 wordt geassocieerd met +/- 60%, een tweemaal zo hoge onnauwkeurigheid dus. (Overigens: indien de score voor de uitvoeringsvarianten niet wordt meegeteld, dan daalt de score van 51% naar 42%). In de publicatie wordt aangegeven dat de relatie tussen score en onnauwkeurigheid slechts indicatief is, toch kan worden gesteld dat een lage score is behaald.

### 3.7 Gevoeligheidsanalyse op de zettingsprognose

Ook al is de score lager dan de score in Zinkeling case 1, het is daarmee uiteraard nog niet zeker dat de nauwkeurigheid ook daadwerkelijk lager is.

De gebruikte gegevens in de zettingsanalyse zijn als volgt:

Van	Tot (NAP)	Grondsoort	Volumegewicht (kN/m <sup>3</sup> )	Samendrukkingsparameters (Cp', Cs' en OCR)	Doorlatendheid (m <sup>2</sup> /s)
-2	-2.5	Soft Clay	13	25, 90, 1.3	5*10 <sup>-8</sup>
-2.5	-5	Peat	11	25, 90, 1.3	1*10 <sup>-7</sup>
-5	-9	Soft Clay	13	25, 90, 1.3	5*10 <sup>-8</sup>
-9	-11	Medium Clay	15	14, 170, 1.3	5*10 <sup>-8</sup>

Tabel 3.6: Gebruikte gegevens in de zettingsanalyse van case 2. Tabel 3.7

Als belasting is in 1990 een ophoging van 1 meter grond met een gewicht van 18 kN/m<sup>3</sup> gebruikt. Voor de ophoging nu (na 5000 dagen) is een ophoging van 0.35 meter met een volumegewicht van 8 kN/m<sup>3</sup> gebruikt.



Hieruit volgde dat na 5000 dagen een zetting van 0.61 m zou zijn bereikt en na 15000 dagen (zonder ingrijpen) een zetting van 0.67 m

### 3.7.1 Licht gewijzigde grondopbouw

De gebruikte grondopbouw komt niet overeen met de grondopbouw die is aangetroffen in de sonderingen uitgevoerd in case 1.

De zettingsanalyse is opnieuw uitgevoerd waarbij alles gelijk is gehouden behalve de ligging van de grondlagen. Deze is, conform sondering GA3 uit case 1, als volgt geschematiseerd:

Van	Tot (NAP)	Grondsoort	Volumegewicht (kN/m <sup>3</sup> )	Samendrukkingsparameters (Cp', Cs' en OCR)	Doorlatendheid (m <sup>2</sup> /s)
-1.7	-7.1	Veen	11	25, 90, 1.3	1*10 <sup>-7</sup>
-7.1	-10.6	Slappe klei	13	25, 90, 1.3	5*10 <sup>-8</sup>
-10.6	-11	Veen	11	25, 90, 1.3	1*10 <sup>-7</sup>
-11	-11.9	Gem. stijve klei	15	14, 160, 1.3	5*10 <sup>-8</sup>
-11.9	-...	Zand	18	(onsamendrukbaar)	(gedraineerd)

Tabel 3.8: Grondopbouw volgens sondering GA3 uit case 1.

Hieruit volgde dat na 5000 dagen een zetting van 0.57 m zou zijn bereikt en na 15000 dagen (zonder ingrijpen) een zetting van 0.62 m.

Het gebruiken van de werkelijk aanwezige grondopbouw levert dus een ongeveer gelijke restzetting op (5 cm tegen 6 cm). De conclusie is daarmee dat, bij deze keuze van de samendrukkingsparameters van de grondlagen, de gekozen grondopbouw van weinig invloed is. Dit is uiteraard logisch aangezien de samendrukkingseigenschappen van de slappe klei gelijk zijn gekozen aan de samendrukkingseigenschappen van het veen. Verandering van de relatieve diktes van beide lagen heeft daarom geen invloed op de voorspelling.

### 3.7.2 Grondeigenschappen bepaald t.b.v. case 1

Voor de Zinkeling case 1 zijn, op basis van laboratoriumproeven, samendrukkingseigenschappen bepaald van de veen- en kleilagen.

Van	Tot (NAP)	Grondsoort	Volumegewicht (kN/m <sup>3</sup> )	Samendrukkingsparameters (Cp', Cs' en OCR)	Doorlatendheid (m <sup>2</sup> /s)
-2	-2.5	Soft Clay	13.6	9, 47.7, 1.0	1.72*10 <sup>-7</sup>
-2.5	-5	Peat	10.1	5, 34.8, 1.0	4.50*10 <sup>-7</sup>
-5	-9	Soft Clay	13.6	9, 47.7, 1.0	1.72*10 <sup>-7</sup>
-9	-11	Medium Clay	13.6	9, 47.7, 1.0	1.72*10 <sup>-7</sup>

Tabel 3.9: Grondeigenschappen volgens de samendrukkingsproeven uit case 1.

Het verschil in berekende zetting is nu fors: de zetting na tien jaar (oftwel de huidige situatie) wordt nu berekend op 1.74 m met een restzetting van 9 cm. Het mag duidelijk zijn dat er in werkelijkheid geen 1.74 meter zetting is opgetreden. Wat deze gevoeligheidsanalyse aantoont, is dat een nauwkeurige bepaling van de samendrukkingsparameters belangrijk is. Voor de

restzetting zijn met name de aan kruip gerelateerde samendrukkings eigenschappen van belang. Toevalligerwijs wordt met de laboratoriumwaarden voor de samendrukkingsparameters de restzettingseis ook niet overschreden. (Overigens is het restzettingsgedrag ook nog afhankelijk van de hoeveelheid aangebrachte belasting is de som, de waterspanningen en de gebruikte volumegewichten)

### **3.8 Aandachtspunten uit case 2**

De belangrijkste conclusies staan weergegeven in de tekstkaders ("Tussenconclusie"). Daarnaast zijn de conclusies uit case 1 ook hier van toepassing.

In het bijzonder blijkt uit deze case dat de keuze van het zettingsmodel en de bepaling van de zettingsparameters een grote invloed heeft op de nauwkeurigheid van de zettingprognose.

## 4. Case 3: Schilderswijk Stolwijk

### 4.1 Inleiding

De Schilderswijk in Stolwijk (gemeente Vlist) is circa 1960 bouwrijp gemaakt (volgens [1] in 1955, volgens [2] "eind jaren '50, begin jaren '60"). Bij de aanleg is ongeveer 1 m zand aangebracht, waarna elke 15 jaar een onderhouds ophegging is uitgevoerd ([2]). De dan toegepaste ophooghoeveelheden zijn niet bekend, evenals het exacte tijdstip van onderhoud.

Het hier beschouwde advies is opgesteld voor een onderhoudsophoging, waarbij tevens het sterk verzakte riool opnieuw wordt gelegd. Het advies van de geotechnisch adviseur is indicatief, er is nog geen duidelijk programma van eisen meegegeven.

Belangrijk bij het lezen van deze casebeschrijving is het verschil tussen het Voorontwerp en het Definitief Ontwerp en tussen het geotechnisch advies en het milieutechnisch advies:

- Het geotechnisch advies is opgesteld voor een Voorontwerp, waarbij aanbevelingen zijn gedaan voor aanvullend onderzoek om voldoende gegevens voor een Definitief Ontwerp te hebben
- Later is het milieutechnisch advies uitgebracht
- Het Definitief Ontwerp is uiteindelijk opgesteld op basis van het ongewijzigde geotechnisch advies.

In de beschrijving van de case is het geotechnisch advies dus behandeld als was het opgesteld voor het Definitief Ontwerp, dit wijkt af van de werkelijkheid.

### 4.2 Werkwijze en randvoorwaarden

#### 4.2.1 Beschrijving van de gehanteerde werkwijze

De volgende werkwijze is aangehouden om tot de zettingsprognosen te komen:

- Er is verkennend grondonderzoek uitgevoerd (13 sonderingen met kleefmeting) waarmee de bestaande ondergrondssituatie, de actuele maaiveldhoogten en de grondwatersituatie in kaart is gebracht.
- De te verwachten zettingen bij de onderhoudsophoging zijn berekend, waarbij de volumegewichten en samendrukkingsparameters van de grondlagen zijn geschat.
- De te verwachten restzetting als gevolg van de huidige ophoging is geschat.
- Er zijn aanbevelingen gedaan voor een aanscherping van de prognose voor een Definitief Ontwerp.

#### 4.2.2 Broninformatie gebruikt in het oorspronkelijke advies

In het geotechnisch advies is uitgegaan van de zelf uitgevoerde sonderingen en waarnemingen (maaiveld- en grondwaterstandsmetingen, gebieds schouwing). Er is niet expliciet gebruik gemaakt van overige documenten.

#### 4.2.3 Historische informatie

De gebruikte historische informatie, met name het gegeven dat er sinds aanleg ongeveer eens in de vijftien jaar een onderhoudsophoging heeft plaatsgevonden, is vermoedelijk gebaseerd op

mondelinge informatie van de gemeente Vlist. Later beschikbaar gekomen gegevens over slootdempingen (door milieuonderzoek) zijn logischerwijs niet in het geotechnisch advies gebruikt (deze gegevens waren toen nog niet beschikbaar). De aanwezige antropogene lagen (ophoogmaterialen) zijn indicatief bepaald op basis van de sonderingen.

### 4.3 Terreinverkenning

In 1999 zijn 13 sonderingen uitgevoerd met kleefmeting voor het geotechnisch advies. Tevens is het maaiveld ingemeten, de grondwaterstand en het nabij de sondering gelegen dorpelpeil [2]. In 2001 zijn korte boringen ten behoeve van milieu onderzoek uitgevoerd [1]. De gegevens daarvan zijn niet meer in een nieuwe geotechnische analyse meegenomen (er heeft geen herziening van het geotechnisch advies plaatsgevonden).

### 4.4 DOS-systematiek “Kwaliteit Zettingsprognose”

De opgestelde zettingsprognose is geanalyseerd volgens de DOS-systematiek in bijlage 1.

#### 4.4.1 1: definiëren project

Het geotechnisch advies is duidelijk aftastend en indicatief: er wordt uitgegaan van een range van rehabilitatiepeilen, er wordt geen expliciete restzettingseis gehanteerd. De riolering zal worden herlegd, dit wordt genoemd. Voor de overige kabels en leidingen wordt de suggestie meegegeven dat een speciale leidingen zone kan worden ingericht als voor toepassen van licht materiaal wordt gekozen. Er is dus niet echt sprake van duidelijk gestelde (geotechnische) randvoorwaarden.

#### 4.4.2 2: Historisch vervormingsgedrag

*(2.1) t/m (2.6): Is de bestaande weg differentieel gezakt?*

De bestaande weg is differentieel gezakt. Dit is in het geotechnisch advies onderkend en vastgesteld, niet alleen uit de verschillende maaiveldhoogten ter plaatse van de sonderingen, maar ook visueel is dit waargenomen. Het geotechnisch advies concludeert met het advies om elke 20 meter een korte boring tot aan het oude maaiveld te maken, om zo de aanwezige ophoging in detail vast te stellen. Voor zover bekend is aan dit advies geen gevolg gegeven. De in 2001 uitgevoerde boringen voor het milieutechnisch advies verschaffen deels de informatie die was beoogd met de boringen per 20 meter, deze informatie is echter niet toegepast in een herzien geotechnisch advies.

*(2.7) t/m (2.11): Tijd-zettingsverloop bij bestaande weg conform prognoses?*

Er is geen eerdere zettingsprognose bekend. Er wordt gesteld dat de huidige restzetting ongeveer 5 tot 10 mm per jaar is. Deze constatering is niet onderbouwd met maaiveldmetingen in de tijd, maar waarschijnlijk afgeleid uit het aanlegpeil, de verwachte eindzetting en de huidige maaiveldhoogte. Omdat de tussentijdse ophooghoeveelheden en ophoogmomenten niet bekend zijn, zit hier waarschijnlijk een grote onnauwkeurigheid in.

*(2.12) t/m (2.20): vorige ophoging(en), cunet(ten), aanlegpeilen, onderhoudswerkzaamheden en overige uitgangspunten bekend?*

De vorige ophogingen waren alleen zeer indicatief bekend (ongeveer elke 15 jaar een ingreep: grootte ingreep niet bekend). Het advies om de aangebrachte dikte met veel korte boringen vast te stellen is niet ten uitvoer gebracht.

#### **4.4.3 3: Kennisleemten**

De kennisleemten dienen voort te vloeien uit het historisch grondgedrag en worden geformuleerd in doelen voor stap 4. Op basis van het voorgaande zouden de doelen voor de terreinverkenning moeten zijn:

Het kunnen opstellen van een zettingsmodel zodanig, dat hiermee de bestaande situatie kon worden teruggerekend (zetting en zettingsnelheid) en de nieuwe ophoging kon worden geschematiseerd.

- 1) Bepaling aantal en diepteligging relevante grondlagen en ophoogmaterialen en de heterogeniteit hierin.
- 2) Eigenschappen van die lagen en de heterogeniteit erin:
  - a) Volumegewicht **vochtig en verzadigd**
  - b) Stijfheidseigenschappen: Koppejan- of isotachenparameters, grensspanning, zwelconstante
  - c) Horizontale en verticale doorlatendheid
- 3) De ligging van het freatisch vlak ten opzichte van het polderpeil (mate van opbolling)
- 4) De waterspanning in het eerste watervoerende pakket.

#### **4.4.4 4: Invullen kennisleemten door terreinonderzoek**

*1) Bepaling aantal en diepteligging relevante grondlagen en ophoogmaterialen en de heterogeniteit hierin*

Er zijn 13 sonderingen met meting van kleef uitgevoerd. Het aantal sonderingen wordt niet onderbouwd, maar lijkt goed gekozen voor VO (Voorontwerp) doeleinden. De variatie in laagdikte is (voor VO doeleinden) goed vastgesteld met deze sonderingen. Volgens het geotechnisch advies geeft dit echter een onvoldoende scherp beeld voor een Definitief Ontwerp mee op te stellen. Het advies om de laagdikten van het antropogeen pakket in detail vast te stellen is niet opgevolgd.

*2) Eigenschappen van die lagen en de heterogeniteit erin*

Volumegegewichten van zowel grondlagen als ophoogmaterialen zijn niet bepaald. Ook bij het advies om extra korte boringen uit te voeren wordt niet aangegeven dat hierbij ook volumegegewichten dienen te worden bepaald. De volumegegewichten in het geotechnisch advies zijn geschat op basis van NEN6740 tabel 1 en ervaring.

Samendrukkingsparameters zijn niet met samendrukkingsproeven bepaald. Er wordt ook niet geadviseerd om dit bij nadere uitwerking tot Definitief Ontwerp alsnog te doen. De samendrukkingsparameters zijn geschat op basis van NEN6740 tabel 1 en ervaring.

*3) De ligging van het freatisch vlak ten opzichte van het polderpeil (mate van opbolling)*

De freatische grondwaterstand is indicatief bepaald ter plaatse van de sonderingen (tijdens het voorboren). In het geotechnisch advies wordt het plaatsen van 5 stuks peilbuizen (waarschijnlijk freatische) geadviseerd om dit nader vast te stellen.

*3) De waterspanning in het eerste watervoerend pakket*

De waterspanning in het eerste watervoerend pakket is niet vastgesteld en/of gebruikt in de berekeningen.

*(4.2) Uitvoeren grondonderzoek*

De sonderingen zijn uitgevoerd conform de geldende landelijke richtlijnen. De hoogtemetingen zijn in NAP en komen consistent over. Het grondonderzoek is niet gefaseerd uitgevoerd.

*(4.3) Interpretatie grondonderzoek*

De interpretatie van het grondonderzoek is, voor zover te achterhalen, uitgevoerd volgens de vigerende normen.

*(4.4) Geohydrologie*

Per sondeerlocatie is een indicatieve grondwaterstand vermeld. Er is geen rekening gehouden met waterspanningen in het eerste watervoerend pakket. Het verloop van de waterspanningen in de diepte is hydrostatisch verondersteld.

*(4.5) Grondopbouw*

Per sondering is een grondopbouw bepaald. Er is geen aaneengesloten geotechnisch profiel gemaakt.

*(4.6) Afleiden benodigde parameters*

De parameters die nodig zijn voor het opstellen van een zettingsprognose (zie 4.4.3) zijn bepaald op basis van standaard correlaties voor sonderingen en tabel 1 uit NEN 6740. Ook is ervaring gebruikt.

#### **4.4.5 5: Opstellen geotechnisch ontwerp**

Op basis van de grondopbouw uit de sonderingen en geschatte parameters is een simulatie van de in het verleden aangebrachte ophoging uitgevoerd. De zo berekende zetting is vergeleken met de opgetreden zetting. De berekende zetting was kleiner dan de opgetreden zetting. Dit wordt in het geotechnisch advies geweten aan mogelijke (tijdelijke) grondwaterdalingen.

De mogelijkheid dat de gebruikte parameters misschien niet correct zijn (samen met de aanbeveling om boringen en samendrukkingsproeven uit te voeren) en /of de mogelijkheid dat in de berekening de toegepaste ophoogdiktes in de tijd en de volumegewichten daarvan niet correct zijn wordt niet genoemd. De gebruikte parameters voor de veenlagen zijn mogelijk te gunstig en de slootdempingen hebben mogelijk een nadelige invloed op de terreinzakking hebben gehad.

#### **4.4.6 6: Gevoeligheidsanalyse**

Er is geen gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

## 4.5 Behaalde score

Op basis van de in de vorige paragraaf besproken werkwijze kan de score bepaald worden volgens de DOS systematiek. Hier worden de stappen in het stroomschema en de behaalde score opgesomd.

Het geotechnisch advies is oorspronkelijk opgesteld voor een Voorontwerp, niet voor het Definitief Ontwerp waarvoor het uiteindelijk is gebruikt. Er zijn ook adviezen gegeven over het uit te voeren vervolgonderzoek. In de score hieronder is ook aangegeven wat de score zou zijn geweest, als het geadviseerde aanvullende onderzoek uitgevoerd zou zijn. De werkelijk score is gemarkeerd met 'VO', de potentiële score met 'DO'

**2.4:** De weg is differentieel gezakt. Dit is waargenomen in het veld en in de sonderingen. Tevens is geadviseerd om korte boringen uit te voeren om (o.a.) differentiële zetting beter in beeld te brengen.

**score VO: 4, DO: 8**

**2.10:** Er zijn geen prognoses beschikbaar. Met sonderingen is in VO-fase de zettingsgevoeligheid indicatief bepaald. Er wordt niet geadviseerd om voor de DO-fase te boren en samendrukkingsproeven uit te voeren. De zettingsprognose zal dus een beperkte betrouwbaarheid hebben.

**score VO: 2, DO: 2**

**2.16:** Historische ophogingen zijn zeer vaag bekend. Dit is gesignaleerd: in het geotechnisch advies wordt geadviseerd om voor de DO-fase zeer gedetailleerd door middel van korte boringen vast te stellen hoeveel er is opgehoogd. **score VO: 4, DO: 8**

**2.20:** De grensspanning is niet bepaald. Ook wordt niet geadviseerd deze voor de DO-fase alsnog vast te stellen.

**score VO: 0, DO: 0**

**3.2:** Uit het geotechnisch advies blijkt dat het de bedoeling was het grondonderzoek gefaseerd uit te voeren: sonderen in VO-fase en (veel) korte boringen voor de DO-fase. Er wordt geen melding gemaakt van geotechnische boringen (beschreven en met volumegewichtsbepalingen) en samendrukkingsproeven.

**score VO: 0, DO: 8**

**3.3.1:** De grondopbouw is per sondering bepaald. Er is geen expliciete relatie gelegd tussen de onderlinge sonderingen.

**score VO: 7, DO: 8**

**3.3.2:** De freatische grondwaterstand is in de VO-fase indicatief bepaald ter plaatse van de sonderingen. De stijghoogte in het eerste watervoerend pakket is niet bepaald. Voor de DO-fase worden peilbuizen geadviseerd voor het (betrouwbaarder) vaststellen van de freatische grondwaterstand.

**score VO: 3, DO: 4**

**3.3.3.9:** De grondparameters zijn bepaald aan de hand van correlaties, NEN6740 tabel 1 en ervaring.

**score VO: 4, DO: 6**

**4:** Het gebruikte zettingsmodel is gebaseerd op de formule van Terzaghi-Buisman (Koppejan, met als theoretische eindzetting op 10000 dagen, waarbij de verhouding tussen primair en seculair 60:40 is). Niet bekend is of dit een 1D of 2D model is. Waarschijnlijk gaat het om een 1D benadering. Onderwater zakken van alle grondlagen (niet alleen de ophoging, maar ook bestaande lagen) is in rekening gebracht.

**score VO: 15, DO: 15**

**5:** er is geen gevoeligheidsanalyse uitgevoerd in de VO-fase. Niet bekend is of dit voor de DO-fase wel zou zijn uitgevoerd. Gezien het grote aantal geplande korte boringen lag dit wellicht wel in de bedoeling.

**score VO: 0, DO:10**

In totaal is de score voor het VO onderzoek 39 punten ('matig') en voor het (niet uitgevoerde) DO onderzoek 69 punten ('redelijk goed').

## 4.6 Overwegingen bij case 3

Het geotechnisch advies is puur op sonderingen gebaseerd. Dit houdt onder andere in dat:

- de grensspanning niet is bepaald;
- volumegewichten niet zijn bepaald;
- de mate van restzetting onzeker is.

In latere fasen zijn (veel!) korte boringen voor milieudoelinden uitgevoerd, waaruit een gevarieerder beeld van de ondergrond blijkt dan het oorspronkelijke geotechnisch advies schetst. Vooral in de toplaag varieert de dikte van de ophoogzandlaag vrij sterk.

Het volumegewicht is in geen enkel geval bepaald door middel van proeven of veldmetingen. Als het huidig aanwezige materiaal lichter is dan in de berekeningen wordt aangenomen kan dit problemen opleveren. Indien men in het verleden onverhoopt Flugsand of een ander lichter materiaal heeft toegepast (er wordt nu met de volumegewichten van (zwaar) ophoogzand gerekend) dan geeft de evenwichtsberekening een te gunstig beeld. Na ophoging kan de constructie een belasting opleveren die net boven de grensspanning uitkomt met grote zettingen als gevolg.

Het Definitief Ontwerp gaat volledig uit van het oorspronkelijke geotechnisch advies, ook al is er in de tussentijd meer informatie ter beschikking gekomen (namelijk de milieuboringen). De informatie uit de milieuboringen is zeer waardevol: hierin staat namelijk waar de voormalige sloten lopen in het gebied en hoe ze destijds zijn gedempt.

Uit de boringen ter plaatse van de voormalige sloot in de huidige Mesdagstraat blijkt dat er bovenop de toegepaste 'houtvezelbalen' een zandlaag van 3 m (!) dik aanwezig is. Deze zandlaag is 'gemist' door sondering DKM8 in het geotechnisch advies.

Een betere onderzoeksvolgorde zou zijn geweest:

1. historisch onderzoek (voormalige sloten + methode van dempen)
2. milieuboringen (o.a. ter verificatie van punt 1)
3. sonderingen
4. geotechnische boringen (volumegewichten en samendrukkingseigenschappen)



De evenwichtsconstructie in het Definitief Ontwerp gaat uit van geringe restzettingen in de huidige situatie, deze inschatting komt uit het geotechnisch advies en is gebaseerd op sonderingen en ervaring. In combinatie met de onzekerheid in de volumegewichten van het huidige ophoogpakket levert dit een grote onzekerheid op voor de investering in een (dure) lichtgewicht constructie en daarmee een groot (financieel) risico.

#### 4.7 Generieke aandachtspunten uit case 3

- historisch onderzoek is van belang en als je de gegevens hebt moet je er ook wat mee doen! (dus ook als daarmee een eerder advies mogelijk moet worden herzien).
- nieuwe (milieu)gegevens moeten ook door andere vakgebieden (geotechniek) worden geanalyseerd en (indien nodig) moet het verwachtingspatroon worden bijgesteld: beschikbare gegevens ten volle benutten dus. Ergens in de proces-loop opnemen: "Zijn er nieuwe (ondergrond-) gegevens beschikbaar gekomen?"
- probeer milieuonderzoek meerwaarde te geven voor geotechniek: voer per boring een aantal volumegewichtsbepalingen uit. Milieuboringen bestrijken vaak de zone in de ondergrond die ook voor de zettingshistorie en –toekomst van belang is (de antropogene toplaag).

#### 4.8 Beschikbare brongegevens

De volgende gegevens waren beschikbaar bij de analyse van de case in dit hoofdstuk:

- [1] ARCADIS Heidemij Advies "Milieukundig Bodemonderzoek Slootdempingen, Gemeente Vlist" 110403/WA1/362/000591/003. 22 mei 2001
- [2] Fugro Ingenieursbureau b.v. Regio West "Grondmechanisch onderzoek in de Schildersbuurt te Stolwijk" opdrachtnummer x-8437. 27 april 2000
- [3] ARCADIS "Afweging vier ophoogvarianten Kunstschilderswijk te Stolwijk" 110403/WA1/426/000591/001. augustus 2001
- [4] ARCADIS "Aanvullend grondonderzoek Kunstschilderwijk te Stolwijk" 110403/WA1/0X2/000591/002. 13 februari 2001
- [5] Lexmond milieu-adviezen b.v. "Milieukundig bodemonderzoek, Locatie Kunstschilderwijk te Stolwijk" 99.20028/RR. maart 2000
- [6] Inpijn-Blokpoel Arkel Milieu "Verkennd NVN bodemonderzoek, Woningen aan de Bilderdijkweg te Stolwijk" MA-1339. 17 augustus 1998



## 5. Case 4: Waarder Reeuwijk

### 5.1 Inleiding

De wijk Waarder Noord, gemeente Reeuwijk is vermoedelijk in de jaren '70 bouwrijp gemaakt. Dit is echter afgeleid uit aanvullende informatie die voor deze evaluatie door gemeente Reeuwijk is aangeleverd. De aanlegdatum wordt in geen van de stukken genoemd (ook niet indicatief).

In het geotechnisch advies staat niets over de historie, geen indicatie van opgetreden zetting, aanlegmoment etc. Navraag bij de gemeente leert dat tussen 0,10 en 0,65 m zetting is opgetreden.

Bij de nu geplande onderhoudsophoging wordt tevens het riool opnieuw gelegd.

### 5.2 Werkwijze en randvoorwaarden

#### 5.2.1 Beschrijving van de gehanteerde werkwijze

De volgende werkwijze is aangehouden om tot de zettingsprognosen te komen:

- Er is verkennend grondonderzoek uitgevoerd (3 sonderingen met kleefmeting, 2 handboringen) waarmee de bestaande ondergrondsituatie, de actuele maaiveldhoogten en de grondwatersituatie in kaart is gebracht.
- De te verwachten zettingen bij de rioolsleuf zijn berekend, waarbij de volumegewichten en samendrukkingsparameters van de grondlagen zijn geschat.
- De te verwachten restzetting van de wegverharding is geschat.

#### 5.2.2 Broninformatie gebruikt in het oorspronkelijke advies

In het geotechnisch advies is uitgegaan van de door zelf uitgevoerde sonderingen, boringen en waarnemingen (maaiveld- en grondwaterstandsmetingen). Er is geen gebruik gemaakt van overige documenten.

#### 5.2.3 Historische informatie

Er is geen historische informatie gebruikt. De aanwezige antropogene lagen (ophoogmaterialen) zijn indicatief bepaald op basis van de sonderingen en handboringen.

De gebruikte methode en parameters worden genoemd, maar erg summier (de berekening is niet goed traceerbaar).

Per sondering en boring is de maaiveldhoogte gemeten ten opzichte van NAP. Tevens is bij de handboringen de grondwaterstand genoteerd. Op basis van de uit de sonderingen herleide grondopbouw zijn volumegewichten en samendrukkingsparameters geschat, de gekozen waarden komen zijn wat kort door de bocht: klei en veen wordt dezelfde samendrukbaarheid aan toegekend. De dikte van de veenlagen varieert nogal, hiervan wordt geen melding gemaakt.

De bepaling van de restzetting is afwezig. Er wordt gesteld dat bij gewichtsneutraal ophogen (of

ophogen waarbij de effectieve belasting afneemt) verwaarloosbare zettingen zullen optreden. Deze constatering is niet onderbouwd. In deze aanname zit een grote onnauwkeurigheid.

### 5.3 Terreinverkenning

Er zijn 3 sonderingen uitgevoerd met kleefmeting. Tevens is het maaiveld ingemeten en de grondwaterstand is bepaald ter plaatse van de korte boringen.

### 5.4 DOS systematiek “Kwaliteit zettingsprognose”

#### 5.4.1 1: Definiëren project

Het geotechnisch advies is gericht op het maken van een evenwichtsophoging, waarbij de riolering zal worden herlegd. Er wordt geen restzettingseis genoemd in het advies (navraag bij de gemeente leert dat de restzettingseis 10 cm in 30 jaar was). Er is dus niet echt sprake van duidelijk gestelde (geotechnische) randvoorwaarden.

#### 5.4.2 2: Historisch vervormingsgedrag

*(2.1) t/m (2.6): Is de bestaande weg differentieel gezakt?*

De bestaande weg heeft grote verschilzakkingen ondergaan. Inmiddels is er zo'n 10 cm zetting (op klei) tot 65 cm zetting (elders en na eerdere ophogingen) opgetreden, waardoor sommige bewoners trappetjes naar hun voordeur hebben moeten maken. Dit is in het geotechnisch advies niet onderkend. Ook wordt geen aanvullend onderzoek geadviseerd, ondanks dat 3 sonderingen erg weinig is en ook nog eens een behoorlijk verschillende zettingsgevoeligheid blijkt uit de sonderingen.

*(2.7) t/m (2.11): Tijd-zettingsverloop bij bestaande weg conform prognoses?*

Er is geen eerdere zettingsprognose bekend.

*(2.12) t/m (2.20): vorige ophoging(en), cunet(ten), aanlegpeilen, onderhoudswerkzaamheden en overige uitgangspunten bekend?*

Hierover is geen informatie opgenomen, noch is er advies uitgebracht voor aanvullend onderzoek naar deze informatie.

#### 5.4.3 3: Kennisleemten

De kennisleemten dienen voort te vloeien uit het historisch grondgedrag en worden geformuleerd in doelen voor stap 4. Op basis van het voorgaande zouden de doelen voor de terreinverkenning moeten zijn:

Het kunnen opstellen van een zettingsmodel zodanig, dat hiermee de restzetting als gevolg van de huidige situatie kon worden teruggerekend en een evenwichtsconstructie kon worden gedimensioneerd.

- 1) Bepaling aantal en diepteligging relevante grondlagen en ophoogmaterialen en de heterogeniteit hierin.
- 2) Eigenschappen van die lagen en de heterogeniteit erin:
  - a) Volumegewicht **vochtig en verzadigd** en ofwel b) of c):

- b) Ofwel: Stijfheidseigenschappen: Koppejan- of isotachenparameters, grensspanning, zwelconstante, horizontale en verticale doorlatendheid
  - c) Ofwel: Meten van de huidige restzettingssnelheid en bepalen van de grensspanning.
- 3) De ligging van het freatisch vlak ten opzichte van het polderpeil (mate van opbolling)

#### **5.4.4 4: Invullen kennisleemten door terreinonderzoek**

##### *1) Bepaling aantal en diepteligging relevante grondlagen en ophoogmaterialen en de heterogeniteit hierin*

Er zijn 3 sonderingen met meting van kleef uitgevoerd en 2 handboringen. Het aantal sonderingen wordt niet onderbouwd en mag als zeer beperkt worden beschouwd voor een gehele wijk. De aanvullende korte boringen die zijn uitgevoerd geven blijk van inzicht in het belang van de bepaling van de dikte van het antropogeen pakket.

De variatie in veenlaagdikte is niet goed vastgesteld met de sonderingen. Er is een duidelijk verschil te zien in hoeveelheid veen, er wordt echter niet aanbevolen om extra onderzoek uit te voeren. De variatie in dikte van het antropogeen pakket is redelijk goed vastgesteld door middel van de korte boringen.

##### *2) Eigenschappen van die lagen en de heterogeniteit erin*

Volumegegewichten van zowel grondlagen als ophoogmaterialen zijn niet bepaald. De volumegegewichten in het geotechnisch advies zijn geschat op basis van NEN6740 tabel 1 en ervaring. Samendrukkingsparameters zijn niet bepaald. De samendrukkingsparameters zijn geschat op basis van NEN6740 tabel 1 en ervaring. In het geval van de samendrukkingsparameters is de keuze overigens twijfelachtig: klei en veen worden even samendrukkingsgevoelig verondersteld.

##### *3) De ligging van het freatisch vlak ten opzichte van het polderpeil (mate van opbolling)*

De freatische grondwaterstand is bepaald ter plaatse van de boringen.

##### *3) De waterspanning in het eerste watervoerend pakket*

De waterspanning in het eerste watervoerend pakket is niet vastgesteld en niet gebruikt in de berekeningen.

##### *(4.2) Uitvoeren grondonderzoek*

De sonderingen en boringen zijn uitgevoerd conform de vigerende richtlijnen.

##### *(4.3) Interpretatie grondonderzoek*

De identificatie van de kleilaag in de sonderingen is niet heel consistent, in een aantal gevallen is er sprake van veen terwijl er klei in de schematisatie staat (en andersom) verder is de interpretatie wel uitgevoerd zoals gebruikelijk voor interpretatie van sonderingen.

##### *(4.4) Geohydrologie*

Per boorlocatie is de grondwaterstand vermeld. Er is geen rekening gehouden met waterspanningen in het eerste watervoerend pakket. Het verloop van de waterspanningen in de diepte is hydrostatisch verondersteld.

#### *(4.5) Grondopbouw*

Per sondering is een grondopbouw bepaald. Er is geen aaneengesloten geotechnisch profiel gemaakt. Er is uitgegaan van een 'worst case' banadering

#### *(4.6) Afleiden benodigde parameters*

De parameters die nodig zijn voor het opstellen van een zettingsprognose (zie 4.4.3) zijn bepaald op basis van standaard correlaties voor sonderingen en tabel 1 uit NEN 6740. Ook is ervaring gebruikt.

### **5.4.5 5: Opstellen geotechnisch ontwerp**

Op basis van de grondopbouw uit de sonderingen en geschatte parameters is voor de aanvulling van de rioolsleuf een verwachte zetting bepaald. Het is niet duidelijk of daarbij spanningsspreiding (volgens bijv. de formule van Boussinesq) is meegenomen. Dit zou wel op zijn plaats zijn bij een sleuf. Voor de gewone ophoging (dus niet bij de sleuf) is uitgegaan van ophogen waarbij de netto belasting op de ondergrond gelijk blijft. Er is daarbij aangenomen dat de zetting dan verwaarloosbaar is. Er is geen schatting gemaakt van achtergrondzetting en dergelijke.

### **5.4.6 6: Gevoeligheidsanalyse**

Er is geen gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

## **5.5 Behaalde score**

Op basis van de in de vorige paragraaf besproken werkwijze kan de score bepaald worden volgens de DOS systematiek. Hier worden de stappen in het stroomschema en de behaalde score opgesomd.

**2.4:** De weg is differentieel gezakt. Dit is in het geotechnisch advies niet onderkend.  
**score: 0**

**2.10:** Er zijn geen zettingsprognoses voor de huidige situatie genoemd in het geotechnisch advies.  
**score: 0**

**2.16:** Historische ophogingen zijn niet bekend. Wel zijn korte boringen uitgevoerd om vast te stellen hoeveel antropogeen materiaal er in totaal is aangebracht.  
**score: 4**

**2.20:** De grensspanning is niet bepaald.  
**score: 0**

**3.2:** Het grondonderzoek is niet gefaseerd uitgevoerd, er wordt ook geen aanvullend onderzoek geadviseerd.  
**score: 0**

**3.3.2:** De freatische grondwaterstand is indicatief bepaald ter plaatse van de korte boringen. De stijghoogte in het eerste watervoerend pakket is niet bepaald.  
**score: 3**

**3.3.1:** De grondopbouw is per sondering bepaald. Er is geen expliciete relatie gelegd tussen de onderlinge sonderingen.

**score: 4**

**3.3.3.9:** De grondparameters zijn bepaald aan de hand van correlaties, NEN6740 tabel 1 en ervaring.

**score: 4**

**4:** Het gebruikte zettingsmodel is gebaseerd op de formule van Terzaghi. Niet bekend is of dit een 1D of 2D model is en of spanningsspreiding wordt meegenomen. Waarschijnlijk gaat het om een 1D benadering. Het is niet bekend of onderwater zakken van grondlagen in rekening is gebracht.

**score: 10**

**5:** Er is geen gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

**score: 0**

In totaal is de score 27 punten. Deze lage score komt overeen met de expert judgment van de auteurs; gezien de complexe bodemgesteldheid is de gepleegde inspanning om te komen tot een zettingsprognose zeer beperkt geweest.

## 5.6 Overwegingen bij case 4

Het geotechnisch advies is puur op sonderingen gebaseerd. Dit houdt onder andere in dat:

- De grensspanning niet is bepaald;
- Volumegewichten niet zijn bepaald;
- De mate van restzetting in de bestaande situatie volkomen onzeker is.

Het volumegewicht is in geen enkel geval bepaald door middel van (veld)proeven.

Dit levert een probleem op als het huidig aanwezige antropogene materiaal lichter is dan in de berekeningen wordt aangenomen. Indien men in het verleden onverhoopt Flugsand of een ander lichter materiaal heeft toegepast (er wordt nu van zwaar ophoogzand uitgegaan) dan geeft de evenwichtsberekening een te gunstig beeld: na ophoging kan de constructie een belasting opleveren die net boven de grensspanning uitkomt met grote zettingen tot gevolg.

## 5.7 Gebruikte brongegevens

De volgende gegevens zijn gebruikt bij de analyse in dit hoofdstuk:

- [1] Grontmij Advies & Techniek bv, Verkeer & Infrastructuur "Revitalisatie Waarder-Noord; Haalbaarheidsonderzoek naar een zettingsvrije aanleg van een rioleringsconstructie en verhardingsadvies". 9 mei 2003
- [2] Grontmij Advies & Techniek bv "Revitalisatie Waarder Noord, Bestek nr gr 22/30/02, Projectnr 121741. 27 augustus 2003

## 6. Evaluatie

### 6.1 Conclusies uit de behandelde cases

Uit de cases komt duidelijk naar voren dat blijkbaar vaak al de opdracht wordt meegegeven om een lichtgewicht constructie toe te passen. Er wordt niet gevraagd om een afweging te maken tussen lichtgewicht ophogingen en ophogen met zand. Voor een juiste onderbouwing van de kosten is dit echter wel noodzakelijk. Voor een eerlijke afweging zijn echter meer gegevens over de ondergrond en ophoogmaterialen nodig. Deze extra gegevens kunnen echter ook worden gebruikt om ontwerpen (voor lichtgewicht constructies) te optimaliseren.

Voor het goed adviseren van een ophoging met licht materiaal is het betrouwbaar vaststellen van de samenstelling en de dikte van de antropogene laag essentieel, dit is in alle cases naar voren gekomen.

Tevens bleek in alle vier de cases dat hier bij een min of meer regulier terreinonderzoek te weinig aandacht aan wordt besteed. Het is daarom terecht dat in de systematiek een hoge score wordt toegekend aan het historisch onderzoek (mits het wat oplevert natuurlijk!). Naar aanleiding van de evaluatie cases zou de score hiervoor zelfs nog wat nader kunnen worden toegespitst op het verkrijgen van informatie omtrent het gewicht en de dikte van de bovenste (ophoog-)lagen.

Voor een goede afweging tussen ophogen met zand of ophogen met licht materiaal is in veel gevallen het vaststellen van de grensspanning voor de meest samendrukbare lagen van groot belang. Ook leveren boringen (mits goed uitgevoerd en in een laboratorium beschreven) veel nuttige informatie op over het volumegewicht van de verschillende lagen.

Het blijkt vaak vrij goed mogelijk te zijn om volumegewicht van grondlagen te correleren aan samendrukkingseigenschappen op basis van lokaal onderzoek (hoe groter het gebied, hoe slechter de correlatie zal zijn!). Door bij een aantal opeenvolgende projecten boringen en samendrukkingsproeven uit te voeren, kan al vrij snel een soort 'ervarings database' voor het gebied worden gebouwd. Op die manier kan al na een paar projecten (naast de samendrukkingsproeven) gebruik worden gemaakt van correlaties tussen volumegewicht en samendrukkingsgevoeligheid.

De 4 cases scoren zeer verschillend, waarbij de behaalde score goed aansluit bij de 'gevoelsmatige' kwaliteit. Zo is de aanpak van case 3 in principe overtuigend; als de geadviseerde extra onderzoeken en inspanningen ook daadwerkelijk zouden zijn uitgevoerd, zou een redelijk goede score zijn behaald (echter nog net onvoldoende voor een goede (financiële) onderbouwing van de keuze voor een lichtgewicht constructie ten opzichte van een traditionele ophoging met zand

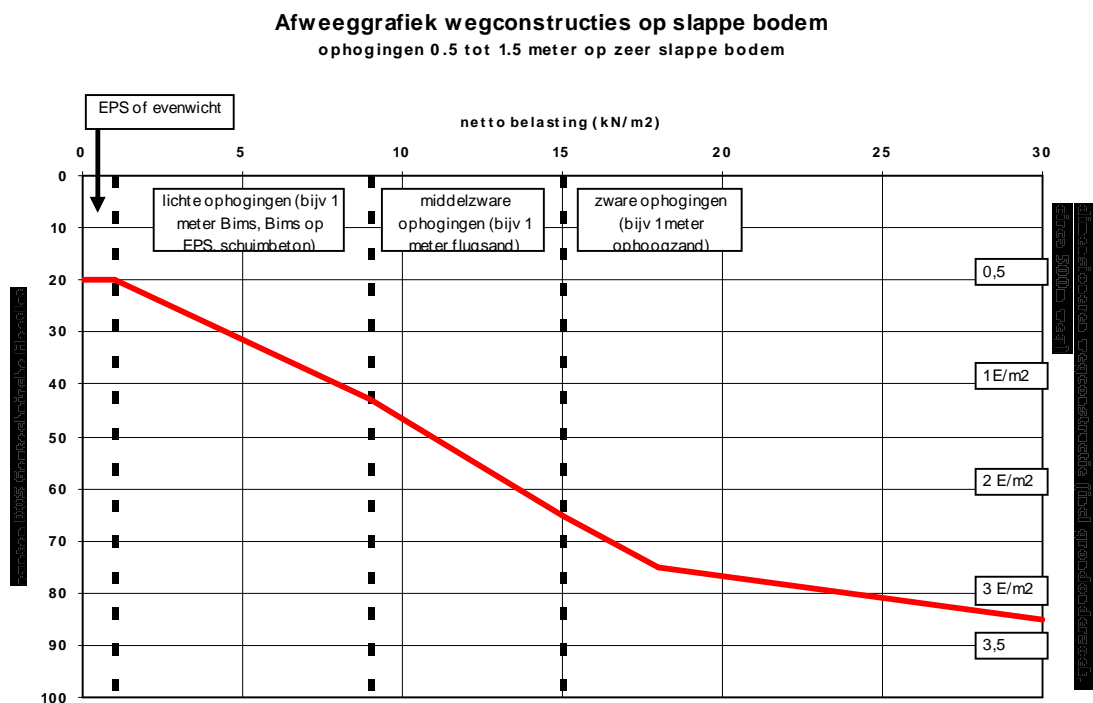
Cases 2 en 4 zijn duidelijk niet echt gericht op het maken van een goede afweging. Er is voor die projecten vooral gekozen voor het dimensioneren van de lichtgewicht constructie. Vooral bij case 4 (en in mindere mate ook bij case 3) is het maar de vraag, op basis van de beschouwde rapportages, of de keuze voor lichtgewicht materiaal wel terecht is. Hierbij zijn niet geotechnische factoren, zoals overlast op de omgeving en mogelijk eerder vervangen van ondergrondse infrastructuur niet meegewogen.



## 6.2 Benodigde score bij afwegen en ontwerpen

In de oorspronkelijke versie van de DOS-systematiek "Kwaliteit zettingsprognose" is gesteld dat voor een goede afweging tussen ophogen met zand en andere constructies minimaal een score van 75 punten nodig is. Op basis van de vier behandelde cases is er geen aanleiding om dit aan te passen.

De minimaal benodigde score voor het opstellen van een Definitief Ontwerp is op basis van deze vier cases minder goed af te leiden. Desondanks is, op basis van expert judgment van de auteurs voor wat betreft de minimaal benodigde inspanning en de scoresystematiek, een eerste aanzet gegeven tot een richtlijn voor de te behalen score. Deze aanzet is samengevat in de onderstaande figuur:



*Figuur 6.1: Afweeggrafiek wegconstructies op slappe bodem. De rode lijn geeft de minimale hoeveelheid te behalen punten aan om met voldoende nauwkeurigheid een zettingsprognose op te stellen voor de betreffende ophogtechniek (linker verticale as). Ook geeft de rode lijn een indicatie van de te verwachten kosten voor het dimensioneren en geotechnisch adviseren van een dergelijke wegconstructie (rechter verticale as).*

De rode lijn in de grafiek geeft het minimum te behalen aantal punten aan. Dus voor een definitief ontwerp voor een ophoging in EPS is een relatief kleine inspanning nodig (minimaal 20 punten, bijvoorbeeld voor het vaststellen van de volumegewichten van de reeds aanwezige ophogmaterialen). Voor een zware ophoging op slappe bodem is echter een vrij forse inspanning nodig van zo'n 75 punten of meer om een goed ontwerp te maken. Hierbij wordt voor 'goed ontwerp' impliciet uitgegaan van een gangbaar programma van eisen voor een weg in binnenstedelijk gebied.

### **6.3 Aanbeveling voor toegankelijkheid systematiek**

Het beoordelen van adviezen met behulp van de systematiek en het volgen van de systematiek bij het uitvoeren van adviezen vraagt op dit moment een zeer goed begrip van de materie en de systematiek. Het ligt in de ambitie van de auteurs om de volgende versie van de systematiek (gebaseerd op de ervaringen opgedaan bij het uitwerken van deze cases) toegankelijker te maken. Daarnaast zou een ontsluiting van de systematiek en de benodigde kennis via een gebruikersvriendelijk softwareprogramma voor niet-geotechnici tot de mogelijkheid behoren. Dit valt echter (vooralsnog) buiten de doelstelling van dit onderzoek.



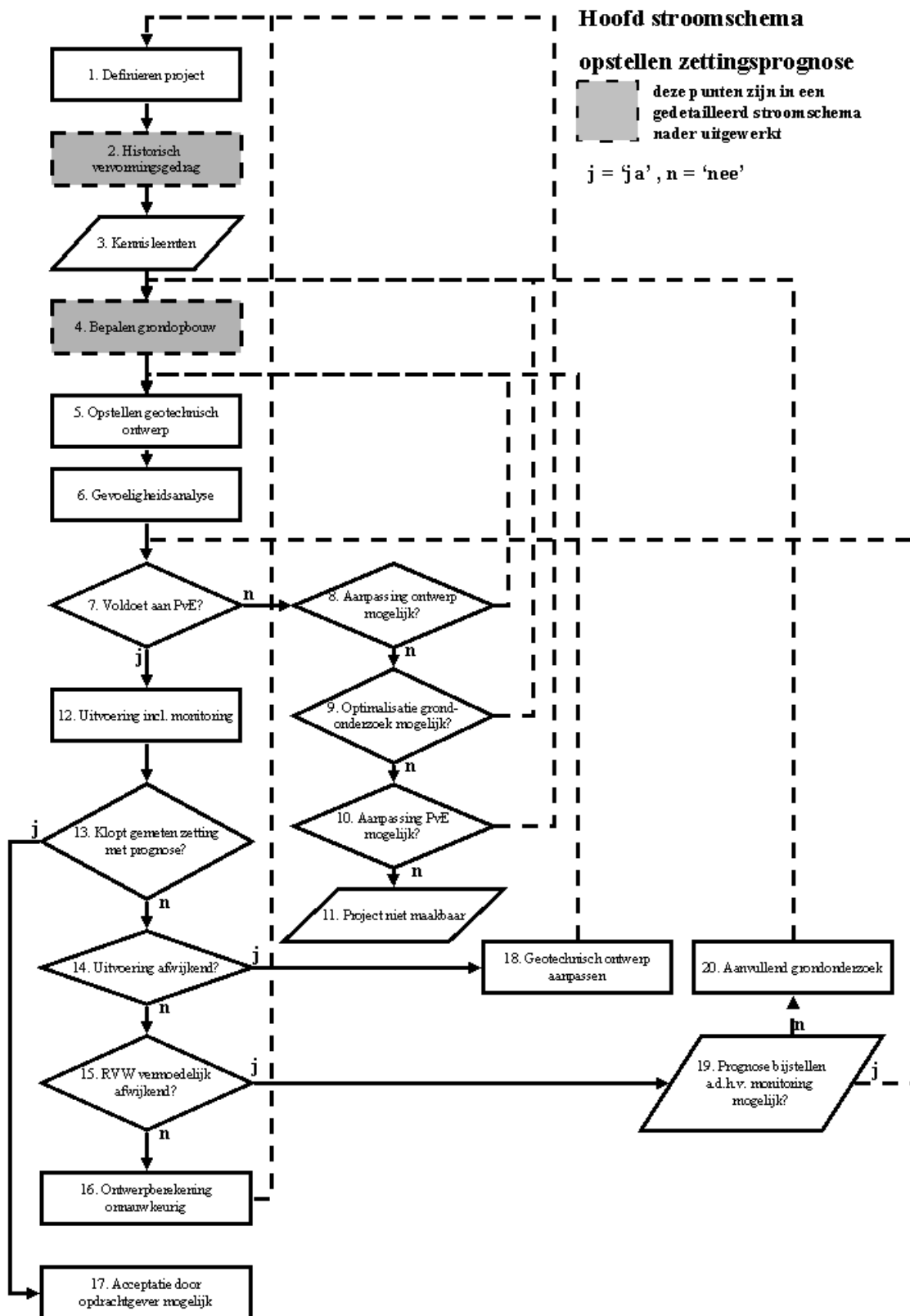
# Bijlage 1: Oude DOS-scoremethodiek

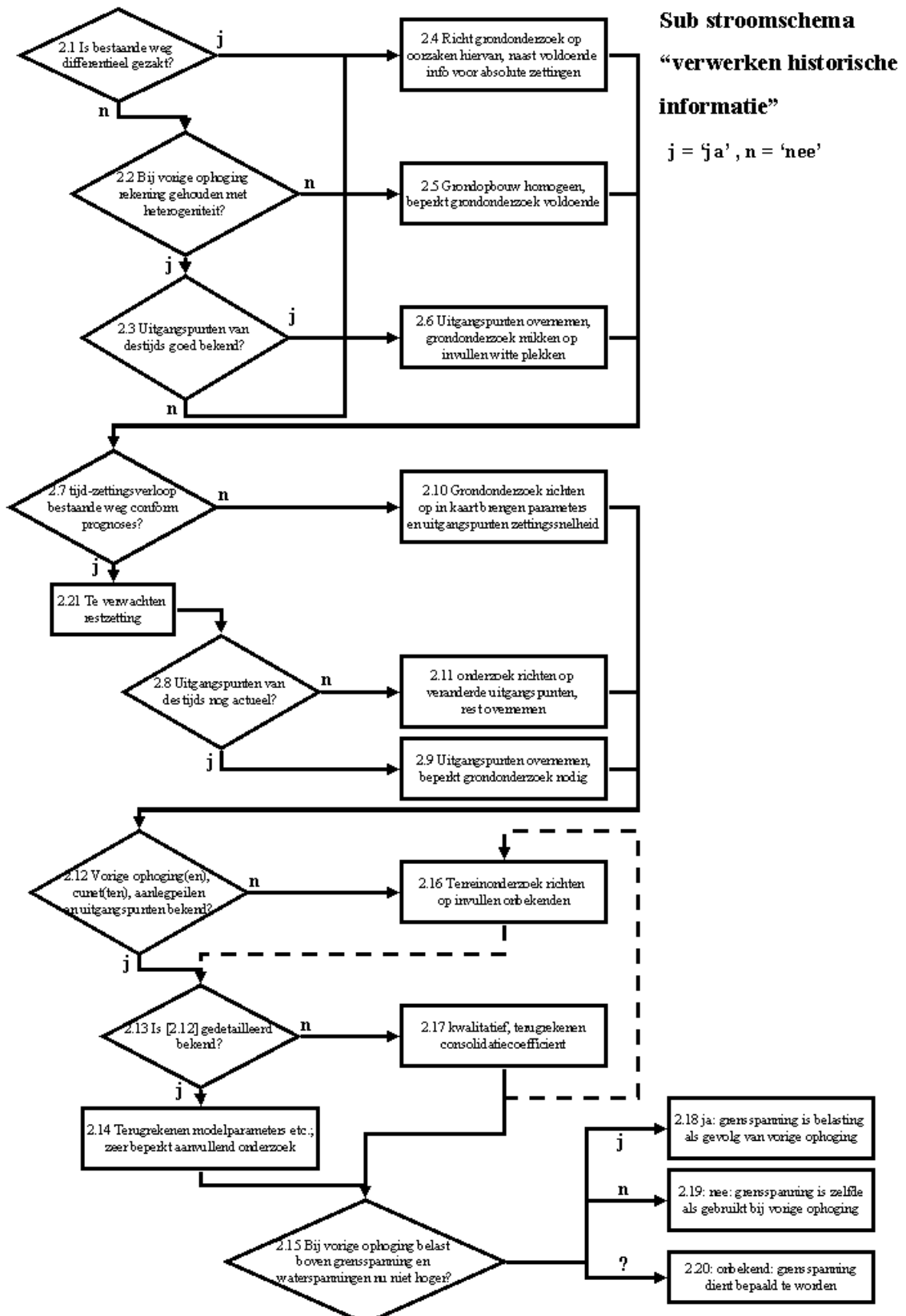
De cases in dit rapport zijn gebruikt ter validatie van de scoremethodiek zoals beschreven in Delft Cluster rapport DC1-412-10. Naar aanleiding van deze validatieslag is de methodiek aangepast, zoals gerapporteerd in het rapport "Geotechnische Meetlat". Om de leesbaarheid van dit validatierapport te bevorderen is de 'oude' systematiek uit rapport DC1-412-10 hieronder opgenomen.

## 1.1 Stroomschema Zettingsprognoses bij rehabilitatie

Zoals reeds vastgesteld in de inleiding van dit hoofdstuk is binnen het onderzoek 'Gevoeligheidsanalyse zettingsprognose' van het CROW (CROW, 2003) een stroomschema opgesteld waarin de stappen staan die doorlopen dienen te worden bij het opstellen van een zettingsprognose. Dit stroomschema is als uitgangspunt gebruikt maar aangepast en uitgebreid, zodat het ook voor rehabilitatiesituaties voor voorzieningen op slappe bodem gebruikt kan worden. Ook is aangesloten op lopend CUR onderzoek 'Van niks naar grondparametermatrix' (CUR, 2003) voor het deel dat over het bepalen van grondparametersets gaat, onderdeel 4 in het stroomschema. Door aan te sluiten op deze beide (op het moment van schrijven nog lopende) onderzoeken is optimaal gebruik gemaakt van de state-of-the-art kennis in de sector.


Als in het vervolg van de tekst 'het stroomschema' wordt genoemd dan wordt verwezen naar het in dit onderzoek ontwikkelde stroomschema. In de praktijk kan het voorkomen dat sommige sporen in het stroomschema simultaan belopen worden of dat de volgorde van sommige stappen omgekeerd wordt. Getracht is echter om een zo volledig mogelijk beeld te geven van de (volgorde van de) stappen die nodig zijn om een nauwkeurige zettingsvoorspelling te maken. De afzonderlijke stappen in het stroomschema zijn nader uitgewerkt in paragraaf 1.2.



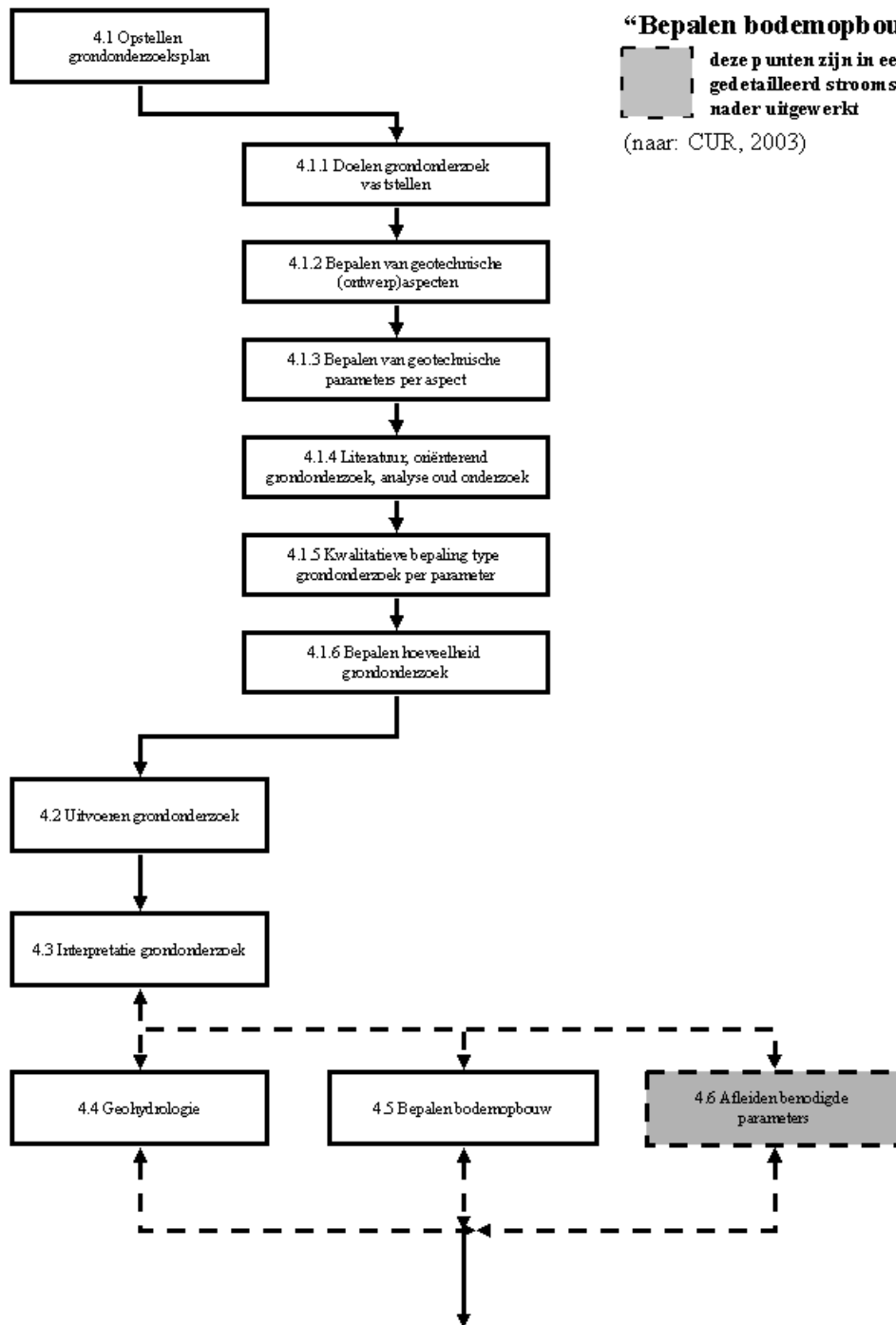


### Sub stroomschema

#### “Bepalen bodemopbouw”

 deze punten zijn in een gedetailleerd stroomschema nader uitgewerkt

(naar: CUR, 2003)



### Sub stroomschema

### “Afliden benodigde parameters”

j = 'ja', n = 'nee'  
(naar: CUR, 2003)





## 1.2 Uitwerking van het stroomschema

Navolgend zijn de stappen uit het stroomschema, waar nodig geacht, verder uitgewerkt en verduidelijkt. De stappen in het stroomschema zijn genummerd, hiernaar is in de uitwerking verwezen door de nummers *schuingedrukt* weer te geven, zoals (1) of (2.17).

### (1) Definiëren project

Hieronder valt in ieder geval de definitie van het Programma van Eisen, waaronder:

- de gewenste aanleghoogte
- de droogleggingseis, het interventieniveau
- de geometrie van de gewenste constructie

Dit stroomschema is voor afzonderlijke projecten te gebruiken en binnen het keuzemodel dat binnen dit DOS project wordt ontwikkeld. In het laatste geval is het project op te vatten als een van de mogelijke rehabilitatiemethoden. De hier genoemde informatie moet de randvoorwaarden bevatten voor het maken van de afweging welke rehabilitatiemethode binnen een gestelde tijdsspanne de meest duurzame oplossing is.

### (2) Historisch vervormingsgedrag

Bij het maken van een zettingsprognose voor rehabilitatie spelen een aantal lastige problemen, zoals een vaak slecht bekende belastinggeschiedenis. Toch heeft het feit dat er al een weg ligt ook een belangrijk voordeel; uit de status van de bestaande weg vergeleken met de situatie bij aanleg kan waardevolle informatie worden verkregen over de grond juist onder de weg. Hiermee wordt de ervaringskennis van de bestaande weg expliciet gemaakt en op een optimale manier ingezet om de nauwkeurigheid van de zettingsprognose te vergroten bij een zo klein mogelijke inspanning. Welke informatie verkregen kan worden en welke kennisleemtes er nog zijn vloeit voort uit het detailstroomschema van punt (2) van het stroomschema. Daarmee vloeit ook de inhoud van punt (3) uit het stroomschema voort uit punt (2).

Het doorlopen van stroomschema 2 kan worden vertaald naar de doelen van punt (3) *Kennisleemten*. Hoe dit gedaan kan worden is samengevat in de onderstaande tabel:

a.g.v. bereiken onderdeel	doel in grondonderzoek	prioriteit van doel binnen grond-onderzoek
2.4	heterogeniteit horizontaal	hoog
2.5	heterogeniteit horizontaal	laag
2.6	heterogeniteit horizontaal	laag – middel
	afhankelijk van uitgangspunten	laag – hoog
2.9	punten van 2.10	laag
2.10	heterogeniteit vertikaal	hoog
	vervormingsparameters	hoog
	waterspanningen	hoog
	volumegewichten	hoog
2.11	veranderde uitgangspunten	hoog
2.16	onbekende onderdelen	hoog
2.17	(indien onnauwkeurige berekening niet acceptabel) onbekende en slecht bekende onderdelen	middel – hoog
2.20	$p_g$ en/of waterspanningen bepalen	hoog

Tabel 1: Doelen voor het grondonderzoek op basis van het doorlopen van detailstroomschema 2.

Het detailstroomschema van punt 2 is opgedeeld in drie delen, namelijk punt (2.1) t/m (2.6), punt (2.7) t/m (2.11), (2.12) t/m (2.20). In deze drie delen wordt steeds vanuit een aparte vraag over het historische vervormingsgedrag de aanwezige kennis gemobiliseerd. Deze drie delen worden hieronder elk nader uitgewerkt.

*(2.1) t/m (2.6): Is bestaande weg differentiëel gezakt?*

Het al dan niet optreden van differentiële zettingen is een goede graadmeter voor de heterogeniteit van de ondergrond, dat wil zeggen de horizontale en verticale verdeling van grondeigenschappen. Bij differentiële zettingen moet worden gedacht aan kuilen in het wegdek, glooiing van het wegdek, in het algemeen hoogteverschillen waarbij de aanleg op gelijke hoogte was. Om dit te kunnen beoordelen is het belangrijk de onderhoudsgeschiedenis van de weg te kennen sinds de aanleg. Immers, door regelmatig onderhoud kan de ernst van de differentiële zettingen versluierd worden.

Als de weg niet differentiëel is gezakt dan zal de grondopbouw doorgaans homogeen zijn. De schematisatie van de ondergrond die bij de vorige aanleg is gebruikt voldoet. Dit is echter niet het geval als aannemelijk is, dat bij de vorige aanleg rekening is gehouden met de heterogeniteit van de ondergrond, bijvoorbeeld door verschil in aangebrachte (voor)belasting. Indien de uitgangspunten van destijds goed bekend zijn en de weg vertoont nu geen differentiële zetting dan kan worden geconcludeerd dat deze uitgangspunten juist waren. Deze kunnen worden overgenomen en grondonderzoek kan worden gericht op het invullen van eventueel aanwezige 'witte plekken'.

*(2.7) t/m (2.11): tijd-zettingsverloop bij bestaande weg conform prognoses?*

Indien het tijd-zettingsverloop bij de bestaande weg conform de prognoses van destijds is, dan

kan hieruit worden afgeleid dat de toenmalige schematisatie van de ondergrond, voor wat betreft de parameters die de mate en snelheid van zetting beïnvloeden, voldoet. Hierbij kan een afwijking van 20% van de prognose worden geaccepteerd. Deze schematisatie kan worden overgenomen en grondonderzoek kan worden gericht op het invullen van eventueel aanwezige 'witte plekken'. Wel moet worden gecontroleerd of de uitgangspunten van destijds nog actueel zijn, zoals de grondwaterstand, waterspanningen in relevante watervoerende pakketten, etc. Als dit niet het geval is dan kan het grondonderzoek worden gericht op het bepalen van deze gewijzigde uitgangspunten.

*(2.12) t/m (2.20): vorige ophoging(en), cunet(ten), aanlegpeilen, onderhoudswerkzaamheden en overige uitgangspunten bekend?*

Indien (een van) bovenstaande onderdelen niet bekend zijn, dan dient dit met behulp van terreinonderzoek onderzocht te worden. Dit is nodig om een nauwkeurige zettingsprognose te kunnen opstellen. Als deze informatie slechts bij benadering bekend is, dan kan dit wellicht toch voldoende zijn om op een voldoende nauwkeurige wijze een zettingsprognose te maken, bijvoorbeeld door een  $c_v$ -waarde terug te rekenen.

Indien de hiervoor genoemde onderdelen gedetailleerd bekend zijn, dan is dit zeer bevordelijk voor het opstellen van een gedetailleerde zettingsprognose. Ook kunnen dan verschillende modelparameters teruggerekend worden door vergelijking van de aanlegsituatie met de opgetreden zetting. Ook kan dan worden bepaald of bij de vorige ophoging is belast tot boven de grensspanning. Als de waterspanningen intussen niet zijn verhoogd dan betekent dit dat de grensspanning voor de rehabilitatie gelijk is aan de belasting als gevolg van de vorige ophogingen. Is niet belast tot boven de grensspanning, dan is de grensspanning voor de rehabilitatie dezelfde als die gold voor de vorige aanleg. Als niet bekend is of in het verleden is belast tot boven de grensspanning, of de waterspanningen ongewijzigd zijn of als de grensspanning niet eerder was bepaald, dan dient de desbetreffende onzekerheid gereduceerd te worden. Dit kan bijvoorbeeld door de grensspanning in het laboratorium te bepalen met een oedometerproef, of de waterspanningen in het veld opnieuw te meten.

*(2.21) Restzetting*

Indien de prognose van de zetting als gevolg van de toekomstige rehabilitatie niet expliciet de vorige ophoging(en) meeneemt dan is de restzetting als gevolg van de vorige ophoging(en) een belangrijk gegeven. Bij het geprognosticeerde tijd-zettingverloop moet dan nog de restzetting als gevolg van de vorige ophoging(en) worden opgeteld (waarbij dan wordt uitgegaan van het superpositiebeginsel) of deze moet op een andere wijze worden verwerkt in de uiteindelijke prognose.

*(3) Kennisleemten*

De relevante kennisleemten dienen te worden vertaald naar de doelen voor het grondonderzoek. Bij een goede analyse van (het gedrag van) de bestaande weg zullen deze doelen voortvloeien uit punt 2 van het stroomschema, "Historische informatie".

*(4) Bepalen grondopbouw*

De grondopbouw is bepalend voor het te verwachten tijd-zettingsgedrag. Onder grondopbouw

wordt verstaan de laagsuccessies, de (verdeling van de) eigenschappen van die lagen en de waterspanningen in die lagen. De mate waarom de grondopbouw bepaald dient te worden zal bij elk project anders zijn, afhankelijk van het Programma van Eisen. Door de doelen van het grondonderzoek voor het project expliciet te maken kan de juiste hoeveelheid grondonderzoek gekozen worden om de gewenste nauwkeurigheid te verkrijgen. De structuur en delen van de uitwerking van het detailstroomschema van punt 4 zijn overgenomen van CUR (2003), die op het moment van schrijven nog de conceptstatus heeft. Hierna worden de onderdelen uit dit stroomschema nader toegelicht.

#### *(4.1.1) Doelen grondonderzoek vaststellen*

In het algemeen is het doel: "Het in kaart brengen van de reactie van de ondergrond op een verandering in het belastingniveau zodanig, dat aan de nauwkeurigheidseisen van de zettingsberekening wordt voldaan." Meer specifiek vloeien de doelen voort uit de Kennisleemten in punt (3) van het stroomschema. De doelen van het grondonderzoek vloeien voort uit de (ontbrekende) kennis over relevante parameters en/of de vereiste kennis over (een van de) parameters voor een tijd-zettingsprognose van de gewenste nauwkeurigheid.

#### *(4.1.2) Bepalen geotechnische ontwerpaspecten*

Het oorspronkelijke stroomschema van de CUR (CUR, 2003) is generiek opgezet. Aangezien hier alleen de tijd-zettingsprognose wordt onderzocht zijn de mogelijke geotechnische ontwerpaspecten, waarbij grondonderzoek van nut is, op voorhand bekend. Dit zijn:

- vervormingseigenschappen van de ondergrond
- volumegewicht van de ondergrond
- doorlatendheid van de ondergrond
- waterspanningen in de ondergrond
- de (3D) heterogeniteit in de eigenschappen 1 t/m 4

Op basis van punt (4.1.1) kunnen één of meerdere ontwerpaspecten, en wellicht zelfs allemaal, al bepaald zijn.

#### *(4.1.3) Bepalen van geotechnische parameters per aspect*

Aan ieder ontwerpaspect zijn een aantal geotechnische parameters verbonden. Deze zijn weergegeven in onderstaande tabel. De nummering van de ontwerpaspecten is conform (4.1.2).

<b>aspect:</b>	<b>geotechnische parameters:</b>
1	samendrukkingsparameters (bijv. $C_p$ , $C_s$ of $a, b, c$ ), grensspanning $p_g$ , (zweelconstante $A$ )
2	droog en nat volumegewicht
3	horizontale en verticale doorlatendheid
4	waterspanningen in het freatisch vlak en in alle relevante watervoerende pakketten
5	Relevante ruimtelijke structuren waarin deze parameters zijn verdeeld

Tabel 2: Geotechnische parameters per geotechnisch ontwerpaspect

*(4.1.4) Literatuur, oriënterend grondonderzoek*

Nu de relevante geotechnische parameters bekend zijn dient onderzocht te worden in hoeverre de doelen van het grondonderzoek al worden behaald door bestaande informatie. Hierbij kan gedacht worden aan algemene, minder gedetailleerde informatie zoals de TNO isohypsenkaart of de geologische kaart van Nederland. Maar bij rehabilitatie van voorzieningen op slappe bodem is juist ook de informatie (grondonderzoek, monitoring gegevens) van eerdere projecten op en nabij de locatie van rehabilitatie van belang. Een vorm van oriënterend grondonderzoek is een bezoek aan de te reconstrueren voorziening om sporen van heterogeniteit (op het gebied van zettingen) te zoeken. Een andere vorm van oriënterend grondonderzoek kan zijn om met een kostenefficiënte geofysische grondonderzoeksmethode, zoals grondradar, heterogeniteit op te sporen.

*(4.1.5) Kwalitatieve bepaling van het type grondonderzoek per parameter*

Nadat bekend is welke parameters onderzocht moeten worden met het grondonderzoek, dient bepaald te worden met welke laboratorium- of veldproef dit kan gebeuren. Elke methode heeft zijn eigen voor- en nadelen en meetnauwkeurigheid. Het type grondonderzoek moet dus zowel met de projectplanning en de budgetplanning als met de gewenste nauwkeurigheid van de prognose afgestemd worden. Het effect van het nauwkeuriger of onnauwkeuriger bepalen van één van de parameters in een zettingsvoorspelling op de nauwkeurigheid van de voorspelling zelf wordt op dit moment onderzocht in een CROW onderzoek (CROW, 2003).

In onderstaande tabel worden als voorbeeld enkele laboratorium- en veldproeven genoemd waarmee de in (4.1.3) genoemde geotechnische parameters bepaald kunnen worden. Dit is geenszins een uitputtende lijst en er wordt tevens geen uitspraak gedaan over de nauwkeurigheid die met deze methoden behaald wordt.

geotechnische parameters	type labonderzoek	type in situ onderzoek
$C_p, C_s / a, b, c / \text{etc}$	oedometer, (K0)-CRS	zettingsplaat, zettingsslang
$P_g$	oedometer, (K0)-CRS	zettingsplaat, zettingsslang
A	oedometer	zettingsplaat, zettingsslang
$\gamma_d, \gamma_n$	NEN methode, pyknometerproef, steekring	nucleaire dichtheid
$k_h, k_v$	falling en constant head test, oedometer, (K0)-CRS	falling en constant head test, dissipatietest met piezosondering
$\sigma_w$		peilbuizen en waterspanningsmeters
bodemopbouw		sonderingen min. klasse 2, camerasondering, boringen, bij voorkeur met continu gestoken monsters, geofysische methoden

Tabel 3: Kwalitatieve bepaling type grondonderzoek, naar CUR (2003)

#### (4.1.6) Bepalen aantallen grondonderzoek

Er bestaan nog geen formules waarmee de hoeveelheid benodigd grondonderzoek kan worden bepaald. In het algemeen kan worden gesteld dat voldoende grondonderzoek is gedaan als het toevoegen van extra informatie geen significante wijzigingen in het ondergrondmodel oplevert. Dit hangt derhalve niet alleen af van de aantallen, de soort en de locatie van van de parameterbepalingen, maar ook van degene die het grondonderzoek interpreteert; een ervaring geoloog heeft wellicht minder gegevens nodig dan een geotechnicus om het ondergrondmodel met een zelfde nauwkeurigheid te bepalen.

In een CUR onderzoek (CUR, 2003) is desalniettemin aangegeven wat de à priori minimale hoeveelheid grondonderzoek is. Samengevat en toegespitst op het probleem van grondonderzoek ten behoeve van rehabilitatie van voorzieningen op slappe bodem komt dit neer op het volgende:

type onderzoek	hoeveelheid	opmerkingen
sonderingen	hart-op-hart 25 m	Dit getal is niet bedoeld voor lijninfrastructuurprojecten. In de definitieve versie van het bronrapport wordt een grotere afstand van ca. 100 meter verwacht. Voor voorzieningen in stedelijk gebied zal dit getal dan hiertussenin liggen.
boringen	hart-op-hart 50 m	Voor boringen geldt een zelfde redenering als voor sonderingen
ongeroerde monsters cohesief	1/m/laag	
ongeroerde monsters niet-cohesief	1/laag	
peilbuizen	hart-op-hart 250 m	in zowel freatisch pakket en relevante watervoerende lagen
classificatieparameters (zoals volumegewicht)	1/m/boring	
samendrukkingsparameters	3 proeven per cohesieve laag per boring	

Tabel 4: Kwantitatieve bepaling type grondonderzoek, naar CUR (2003)

Zoals gezegd leidt een hoeveelheid grondonderzoek zoals beschreven in de vorige tabel niet automatisch tot een bepaald nauwkeurighedsniveau voor de zettingsprognose. Door lokale omstandigheden kan het nodig zijn om meer grondonderzoek te doen, of door inbreng van expertise kan met minder grondonderzoek volstaan worden. In het laatste geval moet men aan kunnen geven waarom men afwijkt van de getallen in de bovenstaande tabel.

Voor verschillende ontwerpaspecten is nog een nadere toelichting gegeven op deze paragraaf. Deze worden hieronder behandeld.

#### Onderdeel heterogeniteit

Indien de prioriteit van het in kaart brengen van de horizontale heterogeniteit hoog is, dan kan voor het grondonderzoek de volgende waarden aangehouden worden:

- Indien alleen sonderingen gebruikt worden moet de hart-op-hart afstand maximaal 50 meter zijn, tenzij vanuit de geologie aannemelijk is, bijvoorbeeld op basis van de interpretatie van de uitgevoerde sonderingen, dat een grotere of kleinere onderlinge afstand aangehouden moet of kan worden;
- Indien geofysica wordt gebruikt om de horizontale heterogeniteit vast te stellen dan kunnen puntmetingen (zoals sonderingen) beperkt worden ter validatie en ijking van het geofysisch model. Mogelijke geofysische technieken zijn o.a. grondradar, elektrische weerstandsmetingen en electromagnetische metingen;
- Boringen zijn voor het in kaart brengen van de horizontale heterogeniteit minder geschikt vanwege de relatief hoge prijs. Indien boringen worden gebruikt in combinatie met andere technieken dan geldt voor boringen hetzelfde als voor sonderingen

Deze getallen kunnen slechts een indicatie vormen. Een aanname hierbij is steeds dat de oorzaken van de heterogeniteit niet kleiner zijn dan deze afstand. Als bijvoorbeeld zandige geulen met een breedte van maximaal 10 meter verwacht worden dan zullen deze niet allemaal gevonden worden met een hart-op-hart sondeer afstand van 25 meter. Hiervoor is wellicht een geofysische meting zoals grondradar nodig.

#### Onderdeel volumegewichten

Gezien het belang van nauwkeurige kennis van de volumegewichten wordt aanbevolen om bij elke gezette boring de volumegewichten te bepalen van de te onderscheiden lagen. Tenminste dient dan eens per meter in de boring het volumegewicht bepaald worden.

#### Onderdeel waterspanningen

Indien er onzekerheid bestaat over de waterspanningen dan kunnen deze worden gemeten in situ. Voor zowel de freatische waterspanningen als waterspanningen in watervoerende pakketten geldt dat een meetafstand van hart op hart 250 meter voldoende is. Waar het vermoeden bestaat dat afwijkende grondwaterspanningen zijn, bijvoorbeeld als gevolg van onttrekkingen of aanvullingen in de nabijheid, opbolling of andere redenen, zullen extra peilbuizen moeten worden geplaatst.

#### *(4.2) Uitvoeren grondonderzoek*

Het uitvoeren van het grondonderzoek dient te geschieden volgens de vigerende normen en leidraden, met ervaren medewerkers en goed onderhouden en geijkte apparatuur. Indien van de vigerende normen en leidraden wordt afgeweken dient expliciet aangegeven te worden waarom dit is gedaan. De locatie van het onderzoek dient met een nauwkeurigheid van minimaal 50 cm bepaald te worden, de hoogtelocatie van het uitgevoerde onderzoek met een nauwkeurigheid van minimaal 5 cm. Het grondonderzoek dient bij voorkeur gefaseerd uitgevoerd te worden, waarbij de resultaten van een eerdere fase gebruikt wordt in de planning van een latere fase. Dit is met name nuttig voor het onderzoeken van de zijdelingse heterogeniteit.

#### *(4.3) Interpretatie grondonderzoek*

Indien het bovenstaande, in combinatie met de oude uitgangspunten, het historisch gedrag (de differentiële zettingen en het tijd-zettingsverloop) kan verklaren, dan houdt (4) hier op. Als dit niet zo is, dan dienen punten 3 en/of 4 uit het stroomschema, met de nieuwe informatie, opnieuw doorlopen te worden. Indien dit niet wenselijk is, of indien niet verwacht wordt dat dit tot betere inzichten leidt, dan kan besloten worden om door te gaan met het geotechnisch ontwerp met dien verstande dat oplossingen, waarbij het succes van het project afhangt van zaken die in deze fase nog onbekend zijn, niet uitgewerkt worden. Interpretatie van het onderzoek moet leiden tot een voldoende nauwkeurig beeld van de geohydrologische situatie, van de bodemopbouw en van de benodigde parameters. Deze vertegenwoordigen punten (4.4), (4.5) en (4.6) uit het stroomschema.

#### *(4.4) Geohydrologie*

De geohydrologische situatie wordt in zettingsanalyses vaak sterk vereenvoudigd geschematiseerd, zonder dat de geldigheid hiervan gevalideerd is. Voor zettingsanalyses voor rehabilitatiesituaties bij voorzieningen op slappe bodem is in ieder geval van belang te controleren hoe groot de waterspanningen zijn in het freatisch pakket en alle relevante



watervoerende zandlagen ter plaatse van de bestaande voorziening. Doorgaans betekent dit dat naast de stijghoogte in het freatisch pakket ook de stijghoogte in het Pleistocene zand bepaald moet worden. Als er andere (ook dunne) zand- of grindlagen aanwezig zijn waarvan het niet onaannemelijk is dat daar een ander grondwaterregime heerst dan moet in die zandlagen de stijghoogte bepaald worden.

Het bepalen van de geohydrologische situatie vereist vaak slechts een peilbuis aan weerszijden van het te beschouwen traject (met een typische hart-op-hart afstand van 250 meter) zodat dit met relatief weinig inspanning bepaald kan worden.

#### *(4.5) Bepalen bodemopbouw*

Het bepalen van de drie-dimensionale bodemopbouw is in de meeste gevallen gebaseerd op lijnbepalingen, namelijk sonderingen en boringen. De grondopbouw kan geïnterpreteerd worden op basis van alleen deze lijn-informatie. Indien de heterogeniteit in de ondergrond gering is dan zal de onzekerheid in de interpretatie ook gering zijn. Meestal is de grondopbouw echter niet homogeen. De onzekerheid in het grondmodel kan dan worden ingeschat door gebruik te maken van gebiedservaring of van geologische expertise. Bij eenvoudige situaties kan wellicht worden volstaan met het raadplegen van de geologische kaart van Nederland, zoals uitgegeven door TNO-NITG. Bij complexere situaties of situaties waarbij de interpretaties zijn gebaseerd op een zeer beperkte hoeveelheid grondonderzoek zal de expertise van een geoloog noodzakelijk zijn. Een andere methode is het inschatten en indien noodzakelijk reduceren van de onzekerheid in het grondmodel op basis van het grondonderzoek in combinatie met probabilistische methoden. Een mogelijke techniek om dit te doen is gegeven in Graettinger & Dowding (2001). Voor de laatste methode is in het algemeen meer grondonderzoek nodig dan bij het raadplegen van een geoloog.

#### *(4.6) Afleiden benodigde parameters*

Voor de in (4.1.3) bepaalde relevante geotechnische parameters zal voor elke in (4.5) bepaalde relevante laag de parameter afgeleid moeten worden. Dit kan op verschillende manieren, met verschillende nauwkeurigheden. Aangezien dit zal doorwerken in de nauwkeurigheid van de zettingsprognose moet in de scorelijst onderscheid gemaakt worden naar de wijze van parameterbepaling. Voor elke te bepalen parameter dient substroomschema (4.6) doorlopen te worden.

##### *(4.6.1) Geotechnische parameter*

Voor iedere te bepalen geotechnische parameter begint het stroomschema hier.

##### *(4.6.2) Grondonderzoek beschikbaar?*

De keuze voor het type parameterbepaling hangt af van het al dan niet beschikbaar zijn van bruikbaar grondonderzoek. Hoewel een bepaling volgens het karakteristiek gemiddelde of op basis van een vergelijking met grondgedrag op zichzelf nauwkeuriger is dan een bepaling met correlaties of literatuur, stelt dit wel hogere eisen aan de beschikbare gegevens. In 4.6.5 is een handreiking gegeven waarmee ingeschat kan worden of voldoende proeven gedaan zijn om een bepaling met het karakteristiek gemiddelde uit te voeren.

##### *(4.6.3) Afleiden parameter uit grondonderzoek*

Indien voldoende bruikbaar grondonderzoek beschikbaar is dan dient dit gebruikt te worden, ook als dat “meer ongunstige” waarden oplevert dan een bepaling met standaardcorrelaties.

*(4.6.4) Onafhankelijk eenduidig te bepalen waarde*

Belangrijk is de vraag of de parameter onafhankelijk eenduidig is te bepalen. Dat wil zeggen, of de parameter eenduidig ‘gemeten’ kan worden in het laboratorium of dat het een macroparameter betreft die beter in situ bepaald kan worden of door analyse van het grondgedrag van een praktijkproef. In het eerste geval kan het karakteristiek gemiddelde bepaald worden van de parameter, in het tweede geval zal dit doorgaans te kostbaar zijn. In het tweede geval worden soms ook bulk parameters van de grond bepaald, zodat de heterogeniteit van de grond minder gedetailleerd in de schematisering gebruikt kan worden.

*(4.6.5) Bepaling volgens het karakteristiek gemiddelde*

Mits goed uitgevoerd zal een bepaling volgens het karakteristiek gemiddelde (zoals beschreven in NEN6740) de meest nauwkeurige parameters opleveren. Indien de parameters bepaald dienen te worden volgens het karakteristiek gemiddelde dan is het belangrijk een inschatting te kunnen maken van het aantal proeven of metingen dat noodzakelijk is om de gewenste nauwkeurigheid te bereiken.

Uitgangspunt is hierbij de natuurlijke variatie van de eigenschappen van een bepaalde geotechnische laag. Hiervan willen we het gemiddelde bepalen. De kans dat een enkele proef exact het gemiddelde zal opleveren is nihil. Het aantal proeven dat nodig is om dit te vergroten kan geschat worden vanuit de Student-t verdeling die in NEN6740 wordt gebruikt:

$$X_{gem,t} = X_{gem,p} \pm t*s*(1/sqrt(n))$$

waarin:

t: vermenigvuldigingsfactor

s: standaardafwijking van de proevenverzameling

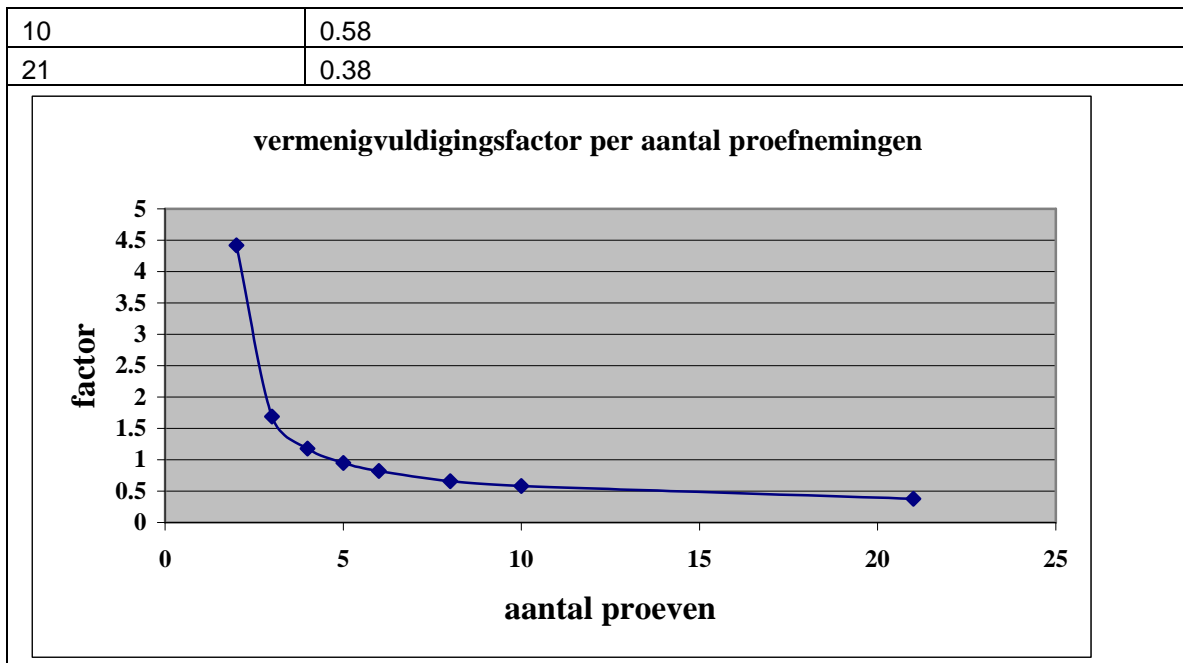
n: aantal proeven

$X_{gem,p}$ : gemiddelde waarde van de proevenverzameling

$X_{gem,t}$ : gemiddelde karakteristieke waarde

De factor t waarmee s wordt vermenigvuldigd is daarmee een maat voor de nauwkeurigheid waarmee het gemiddelde is bepaald. Als we aannemen dat de verdeling van de betreffende eigenschap normaal is, dan is deze factor afhankelijk van het aantal proefnemingen – hoe meer proefnemingen, hoe beter de schatting van het gemiddelde zal zijn.

aantal proefnemingen	vermenigvuldigingsfactor
2	4.42
3	1.69
4	1.18
5	0.95
6	0.82
8	0.66



Uitgaande van een perfect normaal verdeelde eigenschap (met onbekend gemiddelde en standaardafwijking) en een perfecte wijze van meten of beproeven kan op basis van deze figuur het aantal benodigde proeven geschat worden. Het aantal proeven – en dus de onzekerheid in het bepaalde gemiddelde – zal afhangen van de volgende zaken:

- De grootte van de berekende  $s$  uit de proeven. Als de standaardafwijking klein is dan zal ook de invloed van een volgende proef (dus een verkleining van de factor waarmee  $s$  vermenigvuldigd moet worden) geringer zijn dan bij een grote standaardafwijking. Men moet wel opletten dat voldoende proeven zijn gedaan om een redelijke inschatting van de standaardafwijking te kunnen maken.
- Enkele extreme waarden kunnen een grote invloed hebben op de berekende waarden, vooral indien maar weinig proeven gedaan zijn. Het is verleidelijk om afwijkende waarden te verwijderen uit de dataset. Bedenk echter dat bij een normaal verdeelde parameter er ook waarden in de tenen van de verdeling bemonsterd kunnen worden. Wellicht dienen er dan toch enkele proeven extra gedaan te worden om dit uit te sluiten.

*(4.6.6) Bepaling op basis van vergelijking grondgedrag / constructie en grondgedrag / proef (incl. in-situ proeven)*

De analyse van het vervormingsgedrag ten gevolge van de oude ophoging valt hier niet onder. Zie hiervoor punt (2) *Historisch vervormingsgedrag*.

*(4.6.7) “Standaard” correlaties beschikbaar?*

Indien geen bruikbaar grondonderzoek uitgevoerd is maar wel relevante “standaard” correlaties beschikbaar zijn, dan dienen deze gebruikt te worden. Deze correlaties zijn relevant als ze zijn gebaseerd op grondonderzoek in vergelijkbare geologische omstandigheden en in zekere mate gevalideerd.

*(4.6.8) Gebruik “standaard” correlaties*

Voor de voor een zettingsprognose benodigde parameters zijn maar weinig standaardcorrelaties beschikbaar. In de tabel hieronder zijn enkele van deze correlaties weergegeven. Het is belangrijk te beseffen dat in tabel 1 uit NEN6740 (NEN, 1991a) de lage representatieve waarden van de gemiddelden zijn opgenomen. De correlatie mag dan wel “standaard” zijn maar door deze correlatie te gebruiken worden deze parameters zeker te ongunstig ingeschat voor gebruik in een keuzemodel voor een *duurzame* rehabilitatiemethode, waarbij ophogingen in zand bijvoorbeeld worden vergeleken met gewichtsneutrale oplossingen.

geotechnische parameter	correlatiemethode
$C_p, C_s$	via grondsoort of $q_c$ en NEN6740 tabel 1
$C_{\alpha}, C_C$	Atterbergse grenzen
$\gamma_d, \gamma_n$	via grondsoort of $q_c$ en NEN6740 tabel 1

Tabel 5: Enkele “standaard” correlaties voor zettingsparameters

*(4.6.9) Op basis van literatuur, “engineering judgement” of niet-standaard correlaties*

Het gebruik van de “standaard” correlaties in 4.6.8 introduceert al een aanzienlijke onzekerheid in de zettingsprognose. Vaak worden echter nog andere correlaties of zelfs algemene waarden gebruikt in berekeningen bij gebrek aan grondonderzoek. Dit maakt de onzekerheid in deze parameters nog groter.

Het is echter nog niet goed onderzocht wat het effect van een verkeerde inschatting van deze parameters is op de uiteindelijke tijd-zettingsprognose. In het CROW onderzoek “Gevoeligheidsanalyse zettingsprognose” (CROW, 2003) wordt getracht hier nieuw inzicht in te verschaffen. Op het moment van schrijven van dit rapport is dit onderzoek nog in uitvoering. Zolang er nog geen onderzoek is waaruit blijkt dat een globale orde-inschatting van de waarde van een van deze parameters voldoende is voor een nauwkeurige zettingsprognose moet aangenomen worden dat een dergelijke vorm van parameterbepaling de nauwkeurigheid van de zettingsprognose sterk negatief beïnvloedt.

Een – niet uitputtend – overzicht van niet-standaard correlaties en indicatieve waarden is gegeven in [Tabel 6](#).

geotechnische parameter	indicatie of correlatie
A	zwell is 1/5 à 1/10 van de samendrukking
$p_g$	bij normaal geconsolideerde gronden is $p_g$ de terreinspanning + 5 à 10 kPa
$\gamma_d, \gamma_n$	indicatieve waarde, bijv. CUR (2003) paragraaf 6.2.5
$\sigma_w$	(gemeente)archieven en de TNO isohypsenkaart
$k_h, k_v$	indicatieve waarden
heterogeniteit	via geologische en hydrologische kaarten

Tabel 6: Enkele niet-standaard correlaties en indicatieve waarden voor zettingsparameters

#### *(4.6.10) Geotechnische parametersets per grondlaag*

Door voor elke geïdentificeerde grondlaag voor elke relevante parameter op een van de manieren van (4.6.5), (4.6.6), (4.6.8) of (4.6.9) de parameterwaarde af te leiden kan een parameterset worden opgesteld voor iedere grondlaag. Deze parametersets vormen de basis voor de zettingsberekeningen. Het is belangrijk om goed te onthouden op welke wijze de parameters in de parameterset bepaald zijn. Op die manier kan, bijvoorbeeld door de wegbeheerder, gefaseerd een nauwkeurige parameterset voor het gebied bepaald worden op basis van karakteristieke gemiddelden. Hierdoor neemt de betrouwbaarheid van de zettingsprognoses bij nieuwe projecten steeds verder toe terwijl de benodigde kosten voor het grondonderzoek bij nieuwe projecten steeds verder zullen dalen tot een minimum is bereikt.

#### *5: Opstellen geotechnisch ontwerp*

Uiteindelijk dient de informatie die in de voorgaande stappen is vergaard terug te komen in de schematisatie van het probleem. Onder het geotechnisch ontwerp valt onder andere:

- de schematisatie van het ondergrondmodel en de aan te leggen constructie
- de grondparameters in de schematisatie
- het te gebruiken rekenmodel
- de zettingsprognose
- uitvoeringsrichtlijnen

De schematisatie van het ondergrondmodel en de aan te leggen constructie en de grondparameters in de schematisatie horen te volgen uit de vorige stappen uit het stroomschema. De zettingsprognose volgt uit de zettingsberekening op basis van het rekenmodel, de grondparameters en de schematisatie van het ondergrondmodel. Aangegeven dient te worden of het een verwachtingswaarde of een onder- of bovengrenswaarde betreft. Indien het van toepassing is dienen er uitvoeringsrichtlijnen aangegeven te worden, zoals het gebruik van zettingsversnellende maatregelen of type monitoring.

De wijze waarop de historische informatie wordt meegenomen van de vorige ophoging(en) is ook een aandachtspunt. Indien de vorige ophoging(en) expliciet – in tijd – geschematiseerd worden dan is de zettingsprognose zonder meer te gebruiken voor de toetsing aan het PvE. Indien dit niet het geval is dan zal de berekende restzetting nog moeten worden verhoogd met de achtergrondzetting van de vorige ophoging(en).

#### *(6) Gevoeligheidsanalyse*

Het in één schematisatie voldoen aan het PvE is niet voldoende waarborg voor een goed ontwerp. Belangrijk is inzicht te krijgen in de mogelijke effecten van onzekerheid in onderdelen van de zettingsprognose op de uiteindelijke nauwkeurigheid van de prognose. Als uit het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse blijkt dat de kans op niet voldoen aan het PvE zeer klein is dan is de waarde van de zettingsprognose sterk vergroot. Als aan de andere kant blijkt dat een aanzienlijke kans bestaat dat niet aan het PvE voldaan wordt, dan kan expliciet met dit risico worden omgegaan door ofwel het te accepteren ofwel het te verkleinen, bijvoorbeeld door het uitvoeren van gericht extra grondonderzoek of het gebruik van een beter rekenmodel.

#### *(7) Voldoet het ontwerp aan het Programma van Eisen?*

Uiteraard dient het geotechnisch ontwerp te voldoen aan het Programma van Eisen. Hieruit blijkt het belang van compleetheid en helderheid in het formuleren van het PvE; het helder formuleren van het PvE voorkomt onenigheid in deze fase van het project.

*(8) Aanpassing ontwerp mogelijk?*

Indien niet voldaan wordt aan het PvE dan kan nagegaan worden in hoeverre het ontwerp aangepast kan worden zodanig, dat een voldoende grote kans bestaat dat wel aan het PvE voldaan zal worden. Indien dit mogelijk is dan dient dit nieuwe ontwerp onderzocht te worden in stap 5 van het stroomschema. Zo niet, dan kan wellicht op andere wijzen toch aan het PvE voldaan worden, zie stap 9 van het stroomschema.

*(9) Optimalisatie grondonderzoek mogelijk?*

Indien het niet voldoen aan het PvE wordt veroorzaakt door een geotechnisch mechanisme, bijvoorbeeld te grote zettingen, dan kan dit wellicht opgelost worden door optimalisatie van het grondonderzoek. Dit extra grondonderzoek moet dan wel leiden tot het voldoen aan het PvE, bijvoorbeeld door het opwaarderen van één of meerdere van de (reken)waarden van de parameters in de geotechnische berekening. Het is dus belangrijk vooraf na te gaan hoe groot de verandering in de parameter(s) moet zijn om aan het PvE te voldoen en wat de kansen zijn dat die beoogde toename ook wordt gerealiseerd.

*(10) Aanpassing PvE mogelijk?*

Als niet aan het PvE wordt voldaan, het ontwerp niet wezenlijk aangepast kan worden en optimalisatie van het grondonderzoek deze situatie niet zal verbeteren, dan kan overwogen worden het PvE te versoepelen. Dit zal voornamelijk een politieke keuze zijn. Indien dit niet mogelijk of wenselijk is, dan leidt dit tot punt 11 uit het stroomschema.

*(11) Project niet maakbaar*

Indien niet aan het PvE kan worden voldaan en het PvE kan niet worden aangepast, dan is het project niet maakbaar. In het afwegingsmodel betekent dit, dat deze optie niet meegenomen hoeft te worden.

*Onderdelen 1 t/m 11 spelen een rol in het keuzemodel, onderdelen 12 en verder zijn alleen relevant voor de daadwerkelijk gekozen rehabilitatiemethode.*

*(12) Uitvoering inclusief monitoring*

De uitvoering van een project verloopt zelden zoals dat in het ontwerp voorzien was. Wijzigingen in uitvoering kunnen echter een significant effect hebben op het tijd-zettingsverloop. Kennis van de uitvoering van het project is belangrijk om, bij wijzigingen in de uitvoering, nog tijdens de uitvoering te kunnen bepalen of aan het PvE voldaan wordt of om nog te optimaliseren in het ontwerp. Ook is deze kennis relevant om achteraf te kunnen controleren of de (rest)zettingsprognose al dan niet nauwkeurig was. De monitoring dient zodanig ingericht te zijn, dat deze informatie verzameld kan worden.

Een goede communicatie tussen aannemer en adviseur is dus van belang. Alle wijzigingen die

zich tijdens de uitvoering voordoen en die van belang zijn voor de zettingsprognose dienen bekend te zijn bij de adviseur die de prognose heeft opgesteld. Ook een goede kennis van de nulsituatie is hiervoor van belang.

*(13) Klopt gemeten zetting met de prognose?*

Indien de gemeten zetting significant afwijkt van de prognose dan is belangrijk te onderzoeken wat hiervan de oorzaak is. Deze analyse begint in punt 14 van het stroomschema. Wat een significante afwijking gevonden wordt dient in overleg met de opdrachtgever bepaald te worden en hoort thuis in het PvE. Een richtlijn is een afwijking van meer dan 20%. Indien de gemeten zetting minder afwijkt dan de afgesproken marge dan leidt dit tot punt 17 uit het stroomschema.

*(14) Uitvoering afwijkend van het ontwerp?*

Indien de zettingsprognose niet overeenkomt met de gemeten zettingen dan is het relevant om te onderzoeken of in de uitvoering is afgeweken van het ontwerp. Een wijziging in de uitvoering – zelfs in de fasering van ophogingen – kan een significant anders tijd-zettingsverloop tot gevolg hebben. Indien dit het geval blijkt dient ofwel de uitvoering aangepast te worden, ofwel het geotechnisch ontwerp aangepast te worden. Dit leidt tot punt 18 uit het stroomschema.

*(15) Randvoorwaarden vermoedelijk afwijkend?*

Indien de uitvoering niet afwijkend is van het ontwerp, moet onderzocht worden of de randvoorwaarden (de geotechnische parameters uit 4.1.3) anders zijn dan gedacht. Indien dit blijkt of indien er een sterk vermoeden is dat dit het geval is, leidt dit tot punt 19 uit het stroomschema.

*(16) Ontwerpberekening onnauwkeurig*

Als de randvoorwaarden juist zijn, de uitvoering niet afwijkend is van het ontwerp maar het gemeten tijd-zettingsverloop klopt niet met de prognose, dan is de ontwerpberekening onnauwkeurig. Dit kan bijvoorbeeld worden veroorzaakt door:

- gebruik van het verkeerde rekenmodel of spanningsspreadingsmodel
- onjuiste schematisering van het probleem
- onervarenheid met het gebruikte model of de gebruikte software

Indien dit geconstateerd wordt dan zit er weinig anders op dan ofwel van voren af aan te beginnen – eventueel met een andere adviseur – ofwel de onnauwkeurigheid te accepteren.

*(17) Acceptatie door opdrachtgever mogelijk*

Het project voldoet zowel in ontwerp als in uitvoering aan de randvoorwaarden. De oplevering kan, voor wat betreft de zettingen, geaccepteerd worden door de opdrachtgever.

*(18) Geotechnisch ontwerp aanpassen*

Indien uitvoering of randvoorwaarden afwijkend blijken te zijn van de ontwerpberekening dan dient het geotechnisch ontwerp aangepast te worden. Dit leidt tot punt 5 of punt 4 in het stroomschema, afhankelijk van het uit moeten voeren van grondonderzoek om de nieuwe randvoorwaarden te bepalen.

*(19) Prognose bijstellen aan de hand van monitoring mogelijk?*

Het bijstellen van de prognose aan de hand van monitoring betekent dat opnieuw gecontroleerd moet worden of wel aan het PvE voldaan wordt. Dit leidt tot punt 6 in het stroomschema. Indien het bijstellen niet mogelijk is leidt dit tot punt 20 van het stroomschema.

*(20) Aanvullend grondonderzoek nodig*

Indien de prognose niet bijgesteld kan worden op basis van grondonderzoek dan zal aanvullend grondonderzoek nodig zijn om de juiste randvoorwaarden en parameters vast te stellen. Dit leidt tot punt 4 in het stroomschema.

### **1.3 Nauwkeurigheid van zettingsprognoses: DOS-systematiek**

Bij het opstellen van zettingsprognoses zal maar zelden het stroomschema op de manier (kunnen) worden doorlopen die de grootste nauwkeurigheid oplevert. Om een goede afweging te maken tussen verschillende rehabilitatiemethoden is het echter wel belangrijk dat de nauwkeurigheid van de zettingsprognose zo nauwkeurig mogelijk is. Er is behoefte aan een manier om de nauwkeurigheid van de zettingsprognose in te kunnen schatten.

Ook het CROW herkende deze behoefte. In het onderzoek "Gevoeligheidsanalyse zettingsprognose" is een methodiek geopperd om de nauwkeurigheid in te schatten met behulp van een 'scorekaart' voor ophogingen op maagdelijk terrein en voor aanaarding (verder: CROW-systematiek). Aanvankelijk is in dit onderzoek deze systematiek uitgebreid voor rehabilitaties op zeer slappe ondergrond. Een nadeel van het bepalen van de nauwkeurigheid van de prognose met behulp van de scorekaart is echter dat geen rekening wordt gehouden met de specifieke projectbehoeften. Zo zal niet in elke situatie een zeer uitgebreid grondonderzoek met geofysische metingen nodig zijn en het is in die gevallen redelijk om met een minder uitgebreid grondonderzoek (mits degelijk gepland en uitgevoerd) toch het maximale aantal punten te scoren.

In dit onderzoek wordt een alternatief aangedragen voor de scorekaart gebaseerd op de CROW-systematiek. Dit alternatief is gebaseerd op het stroomschema dat is gepresenteerd in paragraaf 1.1. Het voordeel van deze nieuwe systematiek (verder: DOS-systematiek) is dus zoals gezegd de grotere mogelijkheden tot nuancering in de behaalde scores. Dit is ook direct het nadeel; door het grotere aantal vrijheidsgraden wordt het systeem complexer. In deze fase is een aanzet gegeven voor de te behalen scores, gevalideerd in slechts één case. Voorzichtigheid dient derhalve te worden betracht bij het gebruik van de DOS-systematiek. Voor de volledigheid dient vermeld te worden dat de genoemde CROW-systematiek voor zover bekend nog in geen enkele case is gevalideerd.

In de DOS-systematiek kunnen punten worden verdiend tot en met punt 8 (Uitvoering inclusief monitoring). Hierna vindt evaluatie plaats van het praktijkgedrag van de grond. In de paragrafen 1.3.1 tot en met 1.3.3 worden de te behalen scores per onderdeel genoemd en toegelicht.

#### **1.3.1 Score bij het doorlopen van het hoofdstroomschema**

Er kunnen punten worden verdiend in de volgende onderdelen:



onderdeel	naam onderdeel	maximum te behalen punten
2	Historische informatie	30
4	Bepalen grondopbouw	30
5	Opstellen geotechnisch ontwerp	20
6	Gevoeligheidsanalyse	20
12	Uitvoering inclusief monitoring	(20)
	<b>Totaal</b>	<b>100</b>

*Tabel 7: Te behalen scores in het hoofdschema. Dit zijn de maximum scores per onderdeel, ongeacht het feit of in de subschema's meer punten verdiend zijn.*

Voor onderdelen 2 en 4 is de score nader uitgewerkt in paragrafen 4.4.2 en 4.4.3. Voor onderdelen 5, 6 en 12 is dat hieronder gedaan.

*(5) Opstellen geotechnisch ontwerp*

Een uitgangspunt bij de score voor dit punt is dat de adviseur ervaren is met het rekenmodel en (eventueel) de software die is gebruikt. Bij het opstellen van het geotechnisch ontwerp dient alle informatie, waarvoor punten toebedeeld zijn, expliciet te worden gebruikt. Indien dit niet gebeurt dienen de eerder verdiende punten op die onderdelen geannuleerd te worden. Als bijvoorbeeld samendrukkingsparameters voor het isotachenmodel zijn bepaald in punt 4 van het stroomschema maar een eenvoudig Terzaghi-model wordt gebruikt, dan dienen de punten verdiend voor de isotachenparameters te vervallen.

In dit onderdeel kunnen punten worden verdiend door gebruik te maken van het juiste rekenmodel, zie Tabel 8. Het te kiezen model dient optimaal aan te sluiten bij het probleem en bij de beschikbare informatie. Voor een keuze tussen het Koppejan- en isotachenmodel dient gebruik gemaakt te worden van het afwegingsmodel in hoofdstuk 5 van Delft Cluster rapport DC1-412-10.

model	punten
formule van Terzaghi of gelijkwaardig, geen kruipcomponent	0
als boven, met eenvoudige kruipcomponent	3
NEN of Angelsaksische methode, geen correctie voor onder water zakken	5
NEN of Angelsaksische methode, correctie voor onder water zakken	7
Koppejan- of isotachenmodel, geen correctie voor onder water zakken	10
Koppejan- of isotachenmodel, correctie voor onder water zakken	13

*Tabel 8: Te behalen score bij gebruik van verschillende modellen*

Omdat het hier rehabilitatiesituaties betreft is het van belang de (nog te verwachten) zetting als gevolg van de vorige ophoging(en) expliciet mee te nemen, ofwel in de schematisatie van de zettingsberekening door verschillende belastingstappen in de tijd te modelleren ofwel door de te verwachten restzetting op te tellen bij de berekende zetting als gevolg van de nieuwe ophoging. De te behalen score is 7 punten als de restzetting expliciet wordt meegenomen, 0 punten als dit niet het geval is.

*(6) Gevoeligheidsanalyse*

De score voor de gevoeligheidsanalyse is 20 punten als de invloed van de geotechnische ontwerpparameters binnen het te verwachten bereik is bepaald. Indien slechts van enkele parameters de invloed is bepaald dan kan een score tussen 0 en 20 behaald worden (dus bij 1 van de 4 is de score 5 punten).

*(12) Uitvoering inclusief monitoring*

De uitvoering hoort niet in het keuzemodel. Voor de variant die is gekozen kan hier echter 20 punten extra verdiend worden door goede controle op de uitvoering uit te oefenen en zodanig te monitoren, dat afwijkingen tussen het voorspelde en het gemeten tijd-zettingsverloop niet alleen geconstateerd maar ook verklaard kunnen worden.

**1.3.2 Scores bij subschema (2) “Historisch vervormingsgedrag”**

De te behalen scores in het subschema van punt twee zijn weergegeven in Tabel 9. Uit de analyse van het zettingsgedrag van de bestaande voorziening kan blijken dat er kennisleemten bestaan. Hierdoor kan niet de volledige score behaald worden. Indien deze kennisleemten (bijvoorbeeld door grondonderzoek) later alsnog ingevuld worden dan kan de score aangevuld worden tot de maximumscore (de punten tussen haakjes in Tabel 9).

<b>onderdeel</b>	<b>naam onderdeel</b>	<b>behaalde punten</b>
2.27	differentiële zetting onbekend	0 (8)
2.4	differentiële zetting	3 (8)
2.5	geen differentiële zetting	8
2.6	geen differentiële zetting door rekening houden met heterogeniteit	6 (8)
2.9	tijd-zettingsverloop volgens prognoses, uitgangspunten actueel	8
2.10	tijd-zettingsverloop niet volgens prognoses	0 (8)
2.11	tijd-zettingsverloop niet volgens prognoses, uitgangspunten niet actueel	5 (8)
2.14	vorige ophogingen etc gedetailleerd bekend	10
2.16	vorige ophogingen etc niet bekend	0 (10)
2.17	vorige ophogingen etc grof bekend	3 (10)
2.18	grensspanning af te leiden	4
2.19	grensspanning af te leiden	4
2.20	grensspanning niet af te leiden	0 (4)

*Tabel 9: Te behalen scores in subschema 2. De scores tussen haakjes zijn de maximaal te behalen scores als de kennisleemte wordt opgelost.*

Een gedetailleerde uitleg van wat bedoeld wordt in ieder punt is te vinden in paragraaf 1.2.

### 1.3.3 Scores bij subschema (4) “Bepalen grondopbouw” en (4.6) “Afleiden benodigde parameters”

De maximaal te behalen scores in de subschema's van punten (4) en (4.6) zijn weergegeven in onderstaande tabel. Onder deze tabel is per onderdeel een meer gedetailleerde uitwerking gegeven.

onderdeel	naam onderdeel	behaalde punten
4.2	gefaseerd uitvoeren grondonderzoek	+8
4.4	bepalen stijghoogten in freatisch pakket en relevante watervoerende pakketten	+5
4.5	grondopbouw bepaald door geoloog op basis van lokaal grondonderzoek	+10
4.6	afleiden benodigde parameters	max +15
4.6.5	bepaling volgens karakteristiek gemiddelde	2.5/N
4.6.6	bepaling volgens vergelijking grondgedrag/constructie en grondgedrag/proef	1.5/N
4.6.8	gebruik “standaard” correlaties	0.5/N
4.6.9	Literatuur	0/N

Tabel 10: Te behalen scores in subschemas 4 en 6. Symbool N is het aantal in 4.5 onderscheiden relevante grondlagen.

#### (4.2) Uitvoeren grondonderzoek

Indien het grondonderzoek gefaseerd wordt uitgevoerd en de resultaten van een eerdere fase worden expliciet meegenomen in een latere fase, dan worden 8 punten verdiend. Indien aannemelijk gemaakt kan worden dat fasen van het onderzoek geen toegevoegde waarde heeft, dan mogen de punten zonder meer toegekend worden. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren als de heterogeniteit zeer laag is.

#### (4.4) Geohydrologie

Indien de stijghoogten in het freatisch pakket en alle relevante watervoerende lagen (inclusief dunne lagen die mogelijk als drainage kunnen fungeren in het consolidatieproces) bepaald zijn met behulp van peilbuizen en/of waterspanningsmeters, dan mogen 5 punten toegekend worden.

#### (4.5) Bepalen grondopbouw

Indien de grondopbouw is aangenomen of bepaald op slechts niet-lokale informatie, zoals een geologische kaart van Nederland, dan worden geen punten verdiend. Indien geen grondonderzoek is gedaan, maar de grondopbouw is bepaald op basis van gebiedskennis en is niet sterk heterogeen, dan worden 2 punten verdiend. Is beperkt lokaal onderzoek gedaan (minder dan 1 sondering of boring per 100 strekkende meters) en dit is niet geïnterpreteerd door

een geoloog, maar er is wel gebruik gemaakt van gebiedservaring en/of niet-lokale (geologische) informatie dan worden 5 punten toegekend. Indien meer grondonderzoek is gedaan of er is een geoloog ingeschakeld, dan worden 10 punten toegekend.

#### *(4.6) Afleiden benodigde parameters*

Voor iedere af te leiden parameter die relevant is voor het te gebruiken model in punt 5 van het stroomschema ("geotechnisch ontwerp") kunnen punten worden verdiend, afhankelijk van de manier van parameterbepaling die wordt gebruikt. Het maximaal te verdienen aantal punten is 15. De punten te verdienen per parameter zijn ook afhankelijk van het aantal relevante grondlagen; hoe meer relevante grondlagen, hoe meer parameters er zijn te bepalen. Indien geïdentificeerde relevante lagen worden samengevoegd in de zettingsberekening om de analyse eenvoudiger te maken, dan moet per laag die bij een andere wordt samengevoegd steeds  $14/N$  van het maximaal te behalen aantal punten afgehaald worden. Hierin is  $N$  het aantal relevante lagen dat in eerste instantie (dus voor samenvoegen) is geïdentificeerd.

Bijvoorbeeld: bij het gebruik van één equivalente laag waar aanvankelijk vier relevante lagen waren geïdentificeerd, kunnen dus nog maximaal 3.75 punten verdiend worden. Ook het aantal te behalen punten per parameter blijft gerelateerd aan het oorspronkelijk aantal geïdentificeerde lagen, een bepaling met het karakteristiek gemiddelde is per parameter in de ene equivalente laag daarom nog maar 0.63 punten waard.

## **1.4 Conclusies en aanbevelingen nauwkeurigheid zettingsprognosen**

In dit hoofdstuk is een instrument gepresenteerd waarmee de nauwkeurigheid van zettingsprognoses ten behoeve van voorzieningen op slappe bodem kwantitatief kan worden bepaald. Deze DOS-systematiek is locatiespecifiek, de te behalen score is afhankelijk van de (complexiteit van de) lokale ondergrond.

Voorzichtigheid dient betracht te worden bij het toepassen van deze methodiek. Er heeft pas weinig validatie plaatsgevonden. Aanbevolen wordt dan ook om meer cases, met verschillende mate van heterogeniteit van de ondergrond, uit te werken om zo de methode en de scores te ijken. Desondanks kan wel een eerste zeer grove waardering van zettingsprognoses gemaakt worden op basis van de puntentelling van de DOS-systematiek. Deze is weergegeven in onderstaande tabel.

<b>score</b>	<b>waardering</b>
0 - 25	slecht
25 - 50	slecht tot goed
75 - 100	goed

*Tabel 11: Grove waardering zettingsprognoses op basis van puntentelling DOS-systematiek*

Bij nieuw uit te voeren rehabilitatiewerkzaamheden waarbij de zettingsprognose is opgesteld aan de hand van deze DOS-systematiek, is het belangrijk de zettingen ook na oplevering te blijven meten zodat terugkoppeling naar de methode mogelijk wordt.

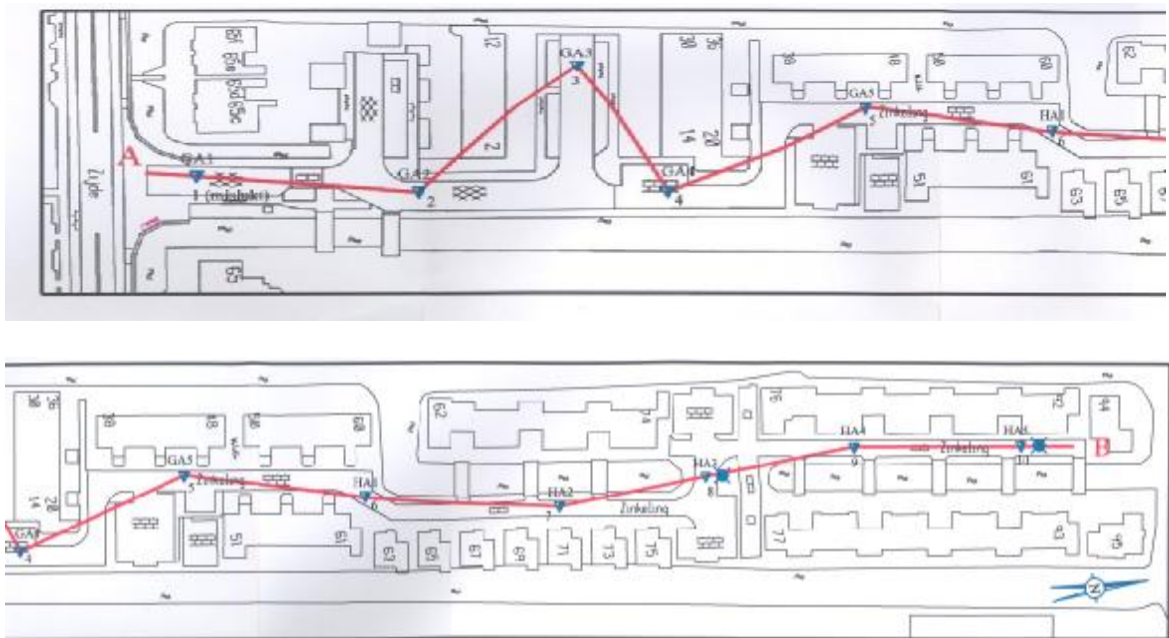
## Bijlage 2: Aanvullende gegevens Zinkeling Boskoop

De Zinkeling is een kleine woonwijk die in 1990 is aangelegd op voormalig akkerland en zwembatterrein. Nu, circa 15 jaar later, is er 40 tot 60 centimeter zetting opgetreden en dienen de wegen, trottoirs en parkeerterreinen vanwege een te geringe drooglegging opnieuw te worden opgehoogd naar het oorspronkelijke aanlegpeil.

### 2.1 Huidige situatie

De Zinkeling is feitelijk een smalle woonstraat met aan weerszijden huizen. Dwarsprofielen zijn 'grillig': de ene keer staat er nog een uitbouw/berging tussen straat en huis, de andere keer niet. Op de ene plaats zijn parkeerplaatsen of naastgelegen sloten, op de andere niet. Zie figuur 12.

Vanaf de Zijde is de verharding van de eerste 50 meter een asfaltverharding, verder zijn het betonstraatstenen. Het slootpeil is NAP -2.27. Sinds de aanleg is er geen onderhoud uitgevoerd aan de straat.

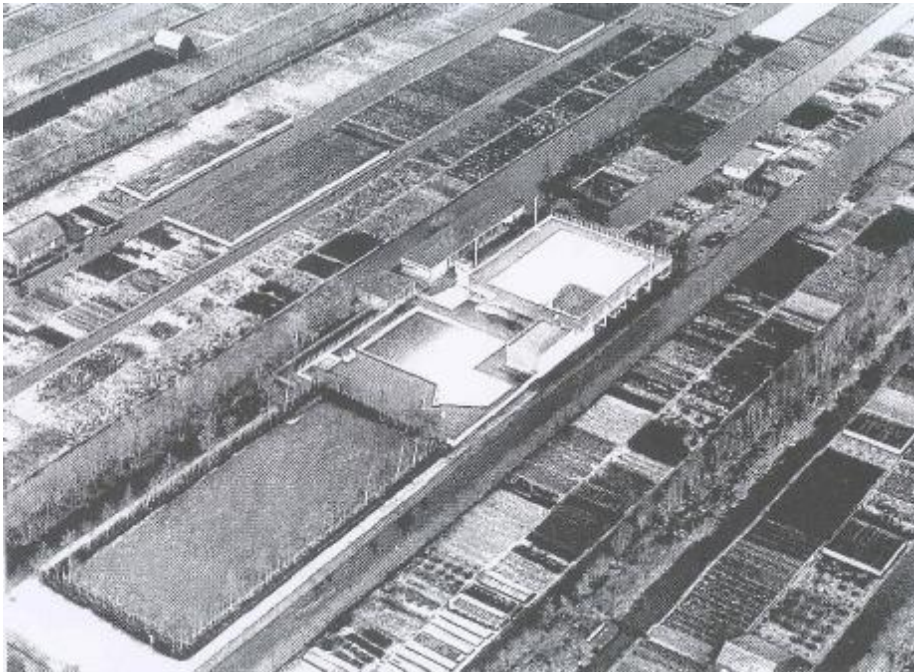


Figuur 12: De Zinkeling vanaf de Zijde tot het midden (boven) en van het midden tot de polder (onder). De driehoeken zijn de sondeerlocaties.

### 2.2 Historie van het terrein

Ongeveer in het midden van de Zinkeling heeft in het verleden een zwembad gestaan: een bak die geheel boven maaiveld op palen stond. De kans is groot dat er voor de constructie een

werkvloer van zand is aangebracht. Bovendien is er voor het zwembad, aan de kant van de Zijde, een ligweide of iets dergelijks geweest, waarvoor mogelijk (herhaalde malen?) zand is aangebracht. Dit is ontdekt op basis van een onderzoek op Internet (site van een amateurgeschiedkundige van de regio) en vervolgens via het archief van de gemeente Boskoop. Uit dat archief komt ook de luchtfoto van dat zwembad in figuur 13.



*Figuur 13: Zwembad op het terrein van de Zinkeling in de gemeente Boskoop (foto Gemeente Boskoop, datum onbekend)*

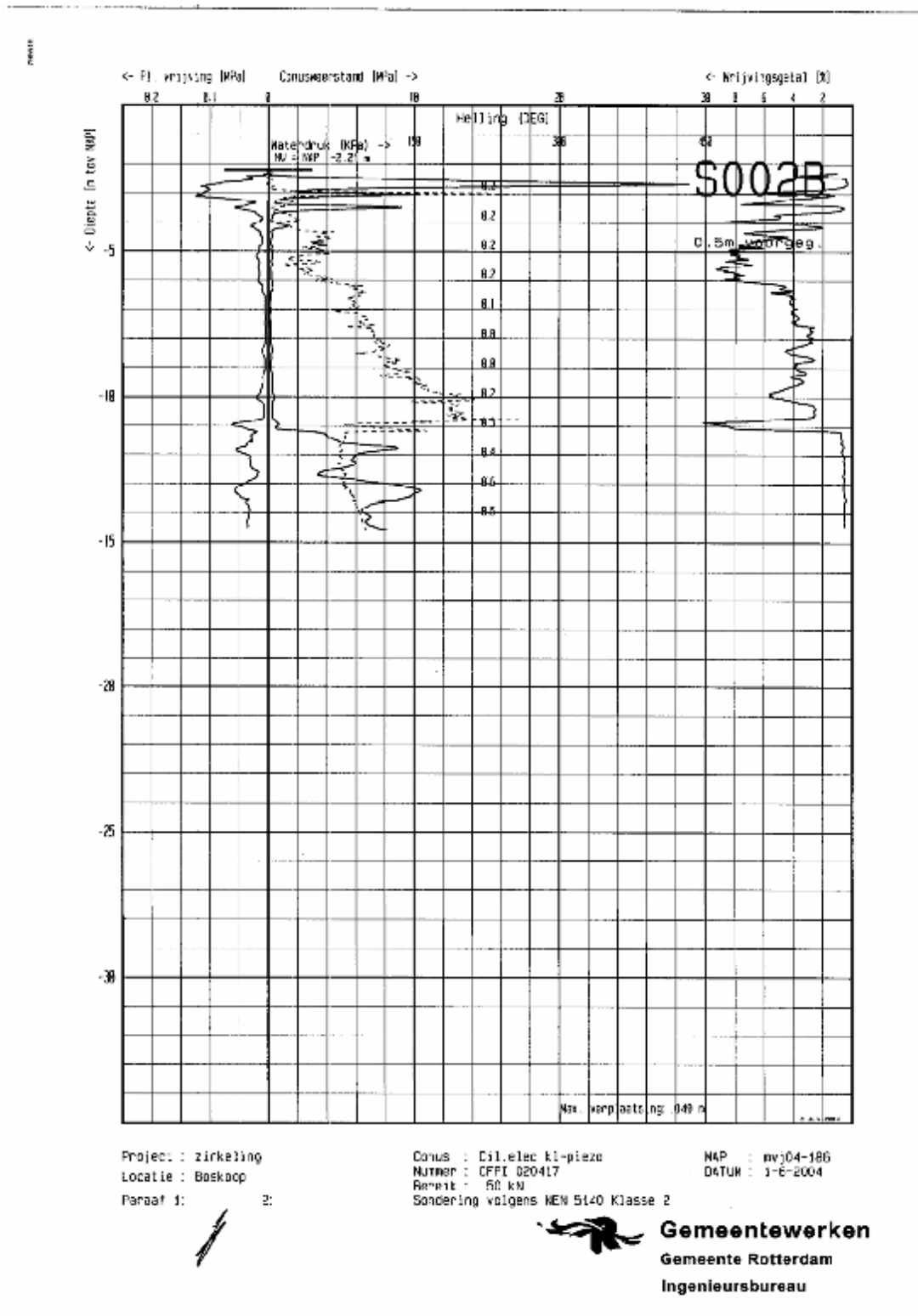
## **2.3 Resultaten grondonderzoek**

Ten behoeve van case 1 (zie hoofdstuk 2) is grondonderzoek uitgevoerd, namelijk:

- 9 sonderingen met meting van kleef en waterspanningen.
- 3 Begemann boringen, incl. geologische beschrijving en bepaling volumegewichten.
- 15 samendrukkingsproeven volgens NEN5118

### **2.3.1 Typisch sondeerresultaat**

In figuur 14 is een representatieve sondering van De Zinkeling aan de kant van de Zijde. Onder twee meter veen bevindt zich een stijvere laag, mogelijk klei.



Figuur 14: Een typische sondering gemaakt door de wegverharding van de Zinkeling toont de afwisselingen van ophoogmaterialen, veen, humeuze klei en zand.

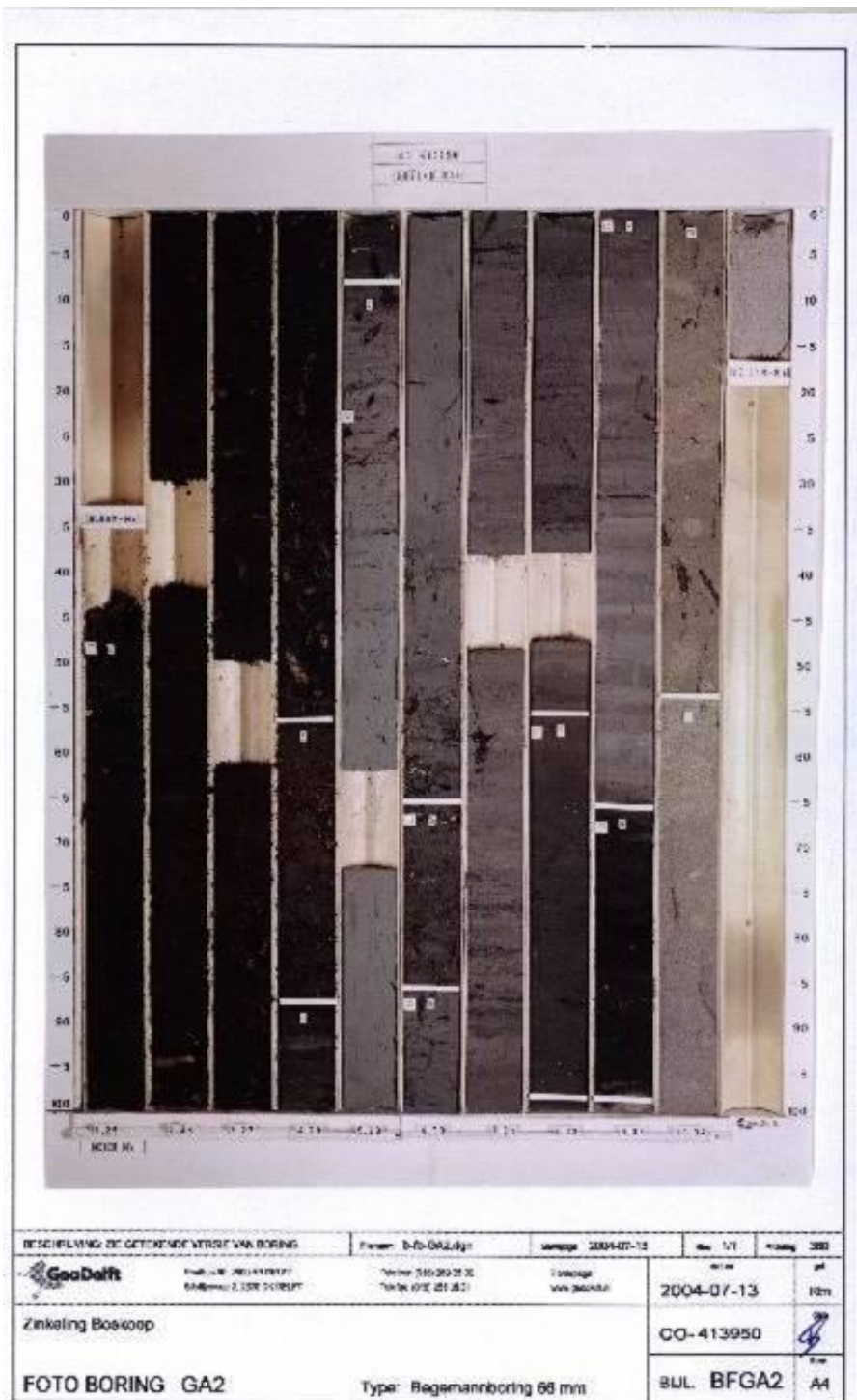
### **2.3.2 Resultaat Begemann boring**

In figuur 15 is een gefotografeerde Begemann boring te zien die in de buurt van de sondering in figuur 14 is gemaakt. De foto's bevestigen dat de 'stijvere' sondeerwaarden waarden ook daadwerkelijk door klei worden veroorzaakt (vanaf de vierde bus van links; de donkere grondsoort is veen, de lichtere klei).

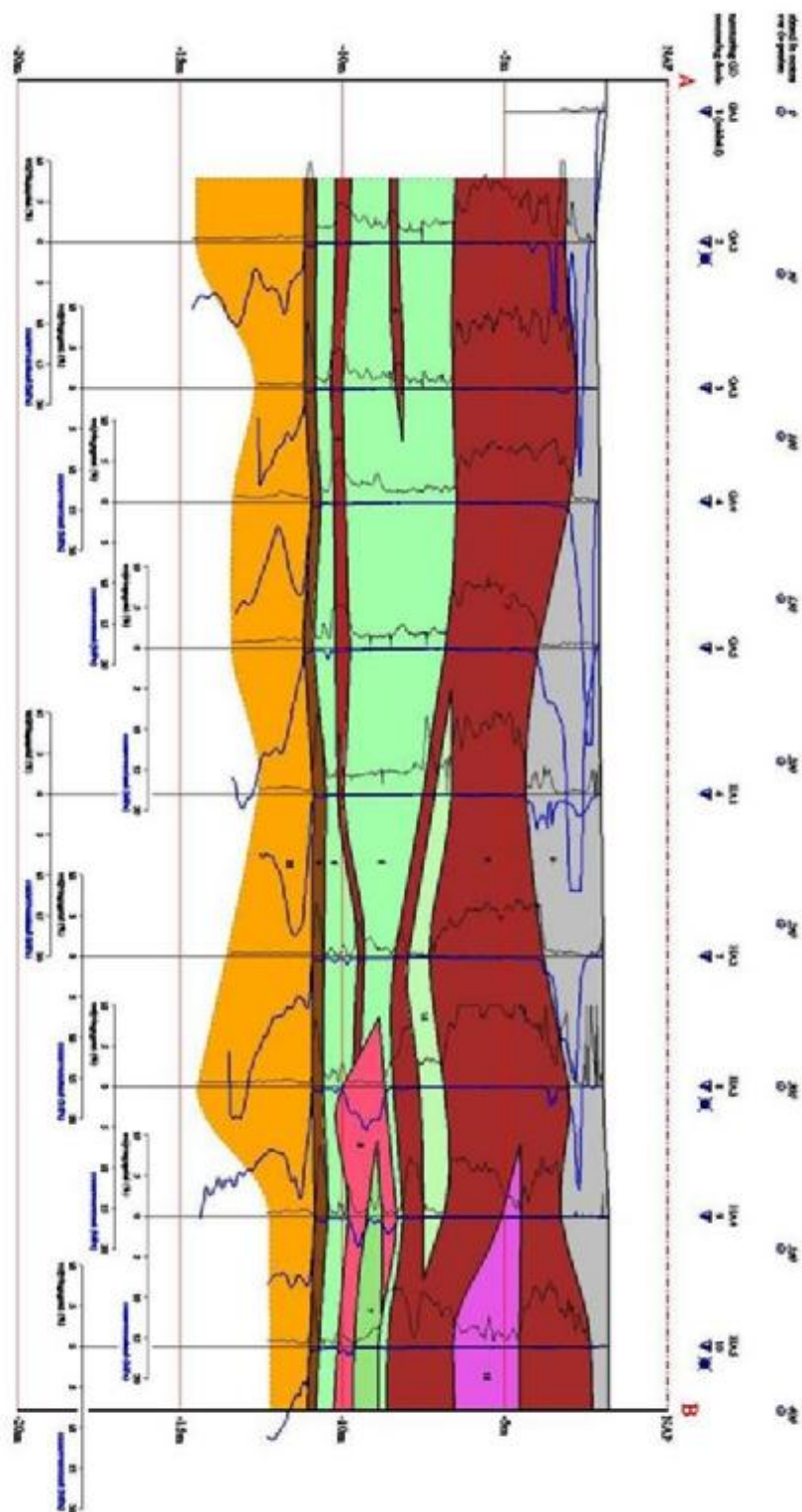
### **2.3.3 Geotechnisch langsprofiel door De Zinkeling**

Op basis van de boor- en sondeer informatie kon een geotechnisch langsprofiel worden opgesteld. Hieruit blijkt de grote variabiliteit in de ondergrond én de bestaande fundering van de weg. Zie figuur 16.





Figuur 15: Begemann boring nabij de sondering in figuur 14. Het maaiveld bevindt zich linksbovenin, vervolgens is iedere koker een meter lang. Ter plaatse van de 'gaten' zijn monsters voor de samendrukkingsproeven verzameld.



Figuur 16: Geotechnische langsdoorsnede door De Zinkeling. Grijs: funderingslagen en door de mens aangebracht materiaal. Bruin: veen. Groen en paars: klei. Rood: zand. Oranje: Pleistoceen zand.

### 2.3.4 Resultaten van de samendrukkingsproeven

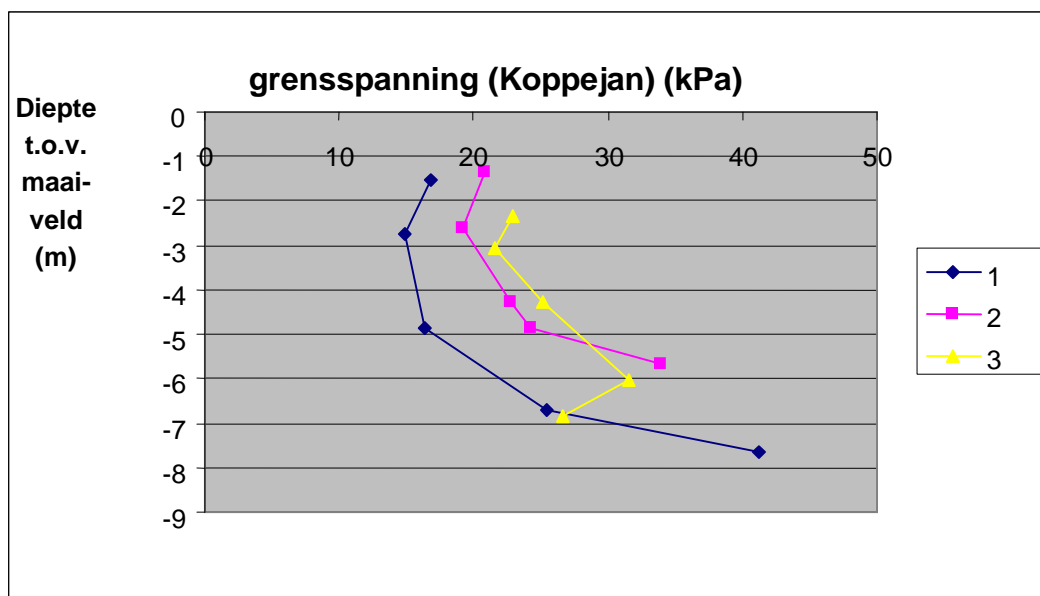
Met behulp van samendrukkingsproeven zijn de gemiddelde eigenschappen van de aanwezige grondlagen bepaald. Hieruit bleek dat met name het veen zeer slap is, zoals is te zien in de volgende tabel:

	NEN6740 tabel 1				grondonderzoek			
	Cp	Cp'	Cs	Cs'	Cp	Cp'	Cs	Cs'
<b>Veen</b>	-	7.5 of 10	-	30 of 40	29	5	170	35
<b>“Slappe klei”</b>	-	7.5	-	30	49	9	276	48

Tabel 17: Samendrukkingsparameters uit onderzoek vergeleken met die uit NEN6740 tabel 1. Lagere waarden betekent slapper gedrag.

De waarde uit de NEN tabel wordt verwacht conservatief te zijn (oftewel: “in werkelijkheid zal het veen wel minder slap zijn”). Uit onderzoek blijkt echter dat het veen zelfs 30% slapper is dan die “conservatieve aanname”.

Op basis van de samendrukkingsproeven, waarbij ook de grensspanning wordt gemeten, zijn voor de drie boringen ‘grensspanningsprofielen’ bepaald, zie Figuur 18:



Figuur 18: grensspanningsprofielen voor de drie vakken

De grensspanningsprofielen zijn te gebruiken in de zettingsvoorspellingen voor een “zware” ophoging én voor het scherper dimensioneren van een constructie met een lage netto belasting (zoals een EPS constructie).