



De Geotechnische Meetlat

Meet de kwaliteit van de zettingsprognose

Delft Cluster Publicatiecode:

DC2-3.12-01

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 - tel: 015-2693746

Internet: www.delftcluster.nl/slappebodem

Community of Practice: www.slappebodem.nl

Contactinformatie algemeen

Delft Cluster

Postbus 69

2600 AB DELFT

info@delftcluster.nl | www.delftcluster.nl

Inhoudsopgave

1.	Inleiding en achtergrond	4
1.1	Inleiding	4
1.2	Achtergrond van de Geotechnische meetlat	4
2.	Bestelformulier zettingsprognoses	5
3.	Geotechnische Meetlat: kwaliteit van zettingsvoorspellingen	6
3.1	Inleiding	6
3.2	Overzicht van de te behalen scores	6
3.3	Benodigde score bij afwegen en ontwerpen	7
3.4	Achtergrond van het stroomschema en de puntenscore	8
3.4.1	A: Algemeen	8
3.4.2	H: Historie	9
3.4.3	G: Grondonderzoek	15
3.4.4	P: Parameters	22
3.4.5	A: Algemeen (vervolg van 3.4.1)	25
3.5	Stroomschema's van de Geotechnische Meetlat	28
	Bijlage 1: Begrippenlijst	33
	Bijlage 2: Bestelformulier Zettingsprognoses voor opnieuw ophogen van wegen op slappe bodem	45
	Bijlage 3: Afweeggrafiek wegconstructies op slappe bodem	47

1. Inleiding en achtergrond

1.1 Inleiding

Bij de keuze voor de methode van onderhoud van wegen op slappe bodem speelt de zettingsprognose een belangrijke rol. Tegelijkertijd is het opstellen van een nauwkeurige zettingsprognose niet eenvoudig: kleine afwijkingen in invoerparameters of modellering kunnen voor een grote afwijking in de voorspelde zetting zorgen.

De Geotechnische Meetlat geeft beheerders van voorzieningen op slappe bodem een instrument om te kunnen bepalen welke inspanningen nodig zijn om een bepaalde nauwkeurigheid van de zettingsprognose te behalen. Tevens is het instrument een hulpmiddel voor geotechnisch adviseurs en kan het gebruikt worden ter verantwoording van de opgestelde zettingsprognose.

De Geotechnische Meetlat is specifiek bedoeld voor het maken van een goed onderbouwde keuze tussen ophogen met zand ("traditionele ophoging") en ophogen met lichte materialen. In hoofdstuk 3.3 is beschreven hoe de methode gebruikt kan worden om de nauwkeurigheid van zettingsprognoses te bepalen als niet afgewogen hoeft te worden.

1.2 Achtergrond van de Geotechnische meetlat

De in dit rapport beschreven methodiek is oorspronkelijk beschreven in Delft Cluster rapport "Duurzame OnderhoudsSystematiek (DOS) voor voorzieningen op slappe bodem – onderdeel zettingsprognoses" (Delft Cluster, 2003). De daar beschreven methodiek is voor vier cases gevalideerd. Deze validatie is beschreven in het bijbehorende rapport "Validatie Geotechnische Meetlat" (Delft Cluster, 2005). Op basis van de validatie is de oorspronkelijke systematiek aangepast tot de in dit rapport beschreven systematiek. De aangepaste methodiek wordt uitgelegd in hoofdstuk 3.

In de publicatie "Betrouwbaarheid van zettingsprognoses" (CROW, 2005) is een checklist opgenomen waarin de stappen staan die doorlopen dienen te worden bij het opstellen van een zettingsprognose. Deze checklist is als uitgangspunt gebruikt voor de eerste versie van de hier beschreven methodiek en vervolgens aangepast en uitgebreid, zodat deze specifiek toepasbaar is voor opnieuw ophogen van voorzieningen op slappe bodem. Ook is aangesloten op CUR publicatie "Bepaling geotechnische parameters" (CUR, 2003) voor het deel dat over het bepalen van grondparametersets gaat.

2. Bestelformulier zettingsprognoses

De Geotechnische Meetlat is in eerste instantie niet ontwikkeld voor geotechnisch adviseurs maar voor opdrachtgevers, dat wil zeggen medewerkers van civieltechnische afdelingen van gemeenten. Tijdens de ontwikkeling van de methodiek (zoals deze is beschreven in hoofdstuk 3) bleek echter dat de problematiek dermate complex is, dat de gebruiker redelijk deskundig dient te zijn om de methodiek effectief te kunnen gebruiken. Bovendien is de methodiek met name bruikbaar voor een evaluatie van een reeds uitgevoerde prognose.

Op basis van de beschreven methodiek is een 'bestelformulier' opgesteld dat enerzijds opdrachtgevers helpt om de relevante informatie aan te leveren voor het opstellen van de zettingsprognose en anderzijds de geotechnisch adviseur stimuleert om de prognose volgens de methodiek van de Geotechnische Meetlat uit te voeren.

Als een opdrachtgever aan een geotechnisch adviseur vraagt om een zettingsprognose te leveren voor de rehabilitatie van een weg (eventueel met onderliggende infrastructuur) dan kan met het bestelformulier in bijlage 2 veel belangrijke informatie worden aangeleverd. Het formulier dient als een geheugensteun en voorkomt het vergeten van belangrijke uitgangspunten, historische informatie en andere zaken die een groot stempel kunnen drukken op de kwaliteit van de zettingsprognose in relatie tot het doel van het project.

Bovendien wordt door het gebruik van het bestelformulier duidelijk welke gegevens beschikbaar zijn. Als blijkt dat slechts zeer weinig gegevens beschikbaar zijn, dan weet de opdrachtgever van tevoren dat voor een goed advies relatief veel extra gegevens moeten worden verkregen door middel van (bijvoorbeeld) grondonderzoek en laboratoriumproeven.

3. Geotechnische Meetlat: kwaliteit van zettingsvoorspellingen

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de methodiek van de Geotechnische Meetlat behandeld. De basis voor de methodiek is het stroomschema in paragraaf 3.5. Als in het vervolg van de tekst 'het stroomschema' wordt genoemd dan wordt verwezen naar die paragraaf.

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 3.4.

De hier besproken methodiek is een aangepaste versie van de reeds bestaande methodiek (zoals beschreven in Delft Cluster, 2003). De methodiek is aangepast op basis van de validatie uitgevoerd in rapport "Validatie Geotechnische Meetlat".

3.2 Overzicht van de te behalen scores

Bij het doorlopen van het hoofdschema (A, zie paragraaf 3.5) kunnen punten worden verdiend in de volgende onderdelen:

onderdeel	naam onderdeel	maximum te behalen punten
2	Historische informatie	30
3	Bepalen grondopbouw	30
4	Opstellen geotechnisch ontwerp	20
5	Gevoeligheidsanalyse	20
7	Uitvoering inclusief monitoring	(20)
	Totaal	100

Tabel 3.1: 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.

Hoe deze puntenscore is opgebouwd, is beschreven in hoofdstuk 3.4.

De behaalde score hangt samen met de kwaliteit van de zettingsvoorspelling. Een grove indeling in kwaliteitsklassen is hieronder te vinden:

Score	Waardering kwaliteit zettingsvoorspelling
0 – 25	Slecht
25 – 50	Matig
50 – 75	Redelijk
75 – 90	Goed
90 – 100	Uitstekend

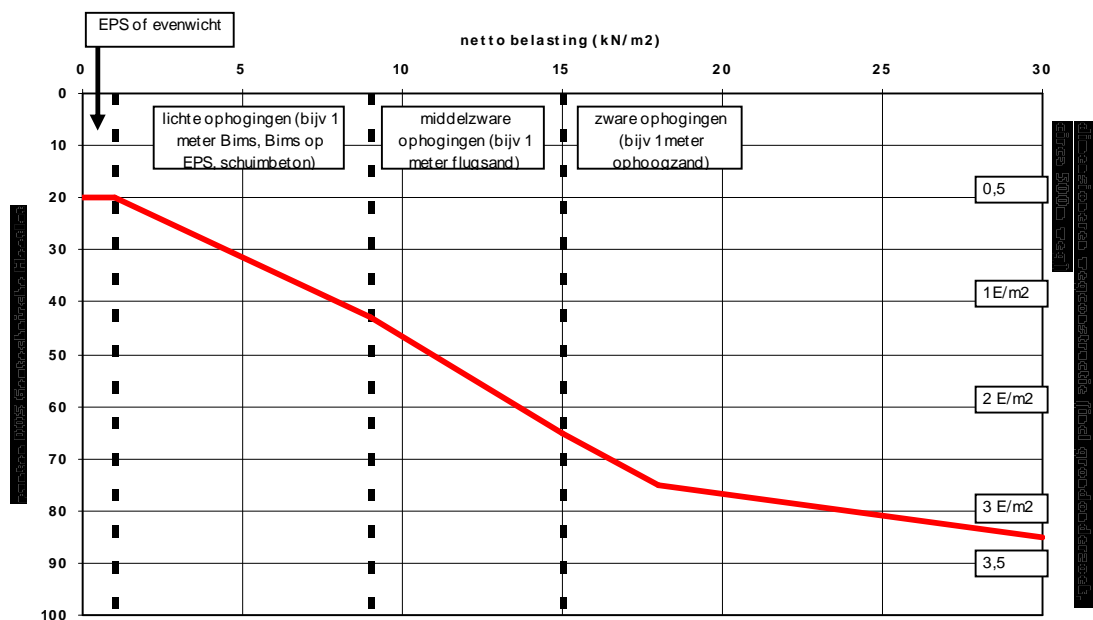
Tabel 3.2: Grove waardering zettingsprognoses op basis van puntentelling, voor 'zware' ophogingen op slappe bodem. Zie voor een meer gedetailleerd overzicht paragraaf 3.3.

3.3 Benodigde score bij afwegen en ontwerpen

Uit de uitgewerkte validatiecases blijkt, dat voor een goede afweging tussen ophogen met zand en andere constructies minimaal een score van 75 punten nodig is.

De minimaal benodigde score voor het opstellen van een Definitief Ontwerp (dus voor een specifieke constructiemethode en zonder afweging) is op basis van de uitgewerkte cases minder goed af te leiden. Desondanks wordt hier een eerste aanzet gegeven tot een richtlijn voor de te behalen score.

Afweeggrafiek wegconstructies op slappe bodem
ophogingen 0.5 tot 1.5 meter op zeer slappe bodem



Figuur 3.1: 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 ophogingstechniek (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). Voor een grotere versie zie Bijlage 3.

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 ophoogmaterialen). 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.

Dit wijkt aanzienlijk af van de praktijk bij gemeentelijke projecten op slappe bodem: omdat bijvoorbeeld een EPS constructie duurder in aanleg is wordt er vaak relatief meer inspanning in het geotechnisch (voor)onderzoek gestoken dan bij een goedkopere constructie met traditionele materialen. In dit rapport gaan we er echter van uit dat een aanzienlijk deel (zo niet het grootste deel) van de kosten in de beheerfase ontstaan, bijvoorbeeld door kapitaalsvernietiging als gevolg van een kortere levenscyclus.

Als voor beide typen constructies dezelfde (strengere) eisen ten aanzien van zettingen worden aangehouden, dan zijn veel gegevens en inspanningen nodig om het toekomstige zettingsgedrag van een 'traditionele' ophoging nauwkeurig te bepalen dan het toekomstige zettingsgedrag van een evenwichtsconstructie. Met andere woorden: in de huidige praktijk wordt vaak onvoldoende inspanning gestoken in het geotechnisch onderzoek als er een traditionele, zware constructie op slappe bodem wordt aangebracht.

3.4 Achtergrond van het stroomschema en de puntenscore

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 (A1) of (H17).

Bij het doorlopen van het stroomschema kan het voorkomen dat bij een onderdeel niet het maximum aantal punten wordt gescoord, terwijl de benodigde kennis of informatie later in het project wel beschikbaar komt (bijvoorbeeld door aanvullend grondonderzoek). Het is dan uiteraard toegestaan om het stroomschema met de nieuwe informatie opnieuw te doorlopen zodat de juiste puntenscore verkregen wordt.

Bijvoorbeeld: Aanvankelijk is de dikte en de aard van de bestaande wegfundering niet goed bekend, zodat bij onderdeel H13 geen punten worden verdiend. Later wordt echter grondonderzoek uitgevoerd waarbij deze witte vlek in de kennis wordt ingevuld. Het stroomschema mag dan een tweede maal worden doorlopen, waardoor bij H14 10 punten worden verdiend (in plaats van geen punten bij H13).

3.4.1 A: Algemeen

(A1) Definiëren project

De randvoorwaarden en uitgangspunten moeten duidelijk worden omschreven, zodat hierover geen misverstanden kunnen ontstaan. Te denken valt aan:

- de gewenste aanleghoogte
- de droogleggingseis, de minimale hoogteligging
- de maximale restzetting na aanleg of na oplevering
- de (maximale) afmetingen van de gewenste constructie, zowel in de diepte als op het maaiveld
- dient een verwachtingswaarde of een bovengrenswaarde van de zettingen berekend te worden?
- aard en soort van de toe te passen materialen in de ophoging
- eisen aan de vervormingen ter plaatse van kolken, kantopsluitingen en andere plaatselijke elementen of constructies.

Voor een praktische geheugensteun wordt verwezen naar het bestelformulier in hoofdstuk 2.

De overige onderdelen in het hoofd stroomschema A worden behandeld in paragraaf 3.4.5. Omwille van het vasthouden aan de chronologische volgorde waarin de gebruiker zich door de stroomschema's beweegt wordt nu eerst ingegaan op sub stroomschema H.

3.4.2 H: Historie

De actuele staat van de bestaande weg vergeleken met de situatie bij aanleg geeft waardevolle informatie over de grond juist onder de wegconstructie. Deze informatie kan worden ingezet om de nauwkeurigheid van de zettingsprognose te vergroten bij een relatief beperkte hoeveelheid grondonderzoek.

Na het doorlopen van detailstroomschema (*H*) is bekend welke informatie verkregen kan worden en welke kennisleemtes er nog zijn. Uit de kennisleemtes volgen weer de doelen voor het grondonderzoek.

Het detailstroomschema (*H*) is opgedeeld in drie delen, namelijk punt (*H1*) t/m (*H6*), punt (*H7*) t/m (*H11*) en (*H12*) t/m (*H20*). 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.

(H1) t/m (H6): Is bestaande weg differentiëel gezakt?

Als de bestaande weg differentiële zettingen (verschilzettingen) vertoont en dit is niet gewenst na opnieuw ophogen, dan moet de aard van de differentiële zettingen worden gebruikt in het nieuwe ontwerp. Het al dan niet optreden van differentiële zettingen wordt met name bepaald door de horizontale variatie van de grondeigenschappen (horizontale heterogeniteit). Verschilzettingen tonen zich via kuilen in het wegdek, glooiing van het wegdek of ernstige spoorvorming. Of meer in het algemeen: hoogteverschillen in het huidige wegdek waarbij de aanleg destijds 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 worden gecamoufleerd. Als er duidelijk verschillende gebieden kunnen worden onderscheiden, dan is het aan te raden om elk gebied als een apart zettingsprobleem te beschouwen en er ook afzonderlijke zettingsprognoses voor op te stellen.

(H4) Als er verschilzettingen te zien zijn in de huidige weg dan dient het grondonderzoek of historisch onderzoek zodanig te worden ingericht, dat de oorzaken hiervoor worden gevonden. Dit kan bijvoorbeeld een verschil in bodemopbouw zijn, maar ook het gebruik van verschillende ophoogmaterialen of een verschillende belastingsgeschiedenis.

(H5) Als er geen verschilzettingen in de huidige weg te zien zijn dan zal de grondopbouw in combinatie met de aangebrachte belasting in horizontale richting doorgaans weinig variëren. De grondopbouw kan dan met een gering aantal sonderingen en/of boringen worden bepaald. Let op: als aannemelijk is, dat bij de vorige aanleg rekening is gehouden met de heterogeniteit van de ondergrond, bijvoorbeeld door verschil in aangebrachte (voor)belasting, dan geldt het bovenstaande niet. Ga in dit geval verder bij (H6).

(H6) Indien de uitgangspunten van destijds goed bekend zijn en de weg nu geen verschilzetting vertoont omdat hiervoor is gecompenseerd bij de vorige ophoging dan kan worden geconcludeerd dat deze uitgangspunten juist waren. Deze uitgangspunten kunnen worden overgenomen en grondonderzoek kan worden gericht op het invullen van eventueel aanwezige 'witte plekken' in verband met de nieuwe ophoging. Indien de uitgangspunten van destijds niet meer bekend zijn, dan zal grondonderzoek en/of historisch onderzoek opnieuw moeten worden uitgevoerd om deze te bepalen, zoals bij (H4).

De te behalen scores in de Geotechnische Meetlat zijn:

onderdeel	naam onderdeel	behaalde punten
H1	differentiële zetting onbekend	0
H4	differentiële zetting	3
H5	geen differentiële zetting	8
H6	geen differentiële zetting door rekening houden met heterogeniteit, uitgangspunten goed bekend	6

Tabel 3.3: Te behalen scores in subschema H. De scores tussen haakjes zijn de maximaal te behalen scores als de kennisleemte wordt opgelost.

(H7) t/m (H11): zettingsverloop in de tijd komt overeen met prognoses?

Indien het zettingsverloop in de tijd bij de bestaande weg overeenkomt met de voorspellingen die bij de vorige ophoging zijn gedaan, dan kan hieruit worden afgeleid dat de toenmalige schematisatie van de situatie, voor wat betreft de parameters die de mate en snelheid van zetting beïnvloeden, voldoet. Hierbij kan een afwijking van 15% van de voorspelling worden geaccepteerd.

Om te weten of het zettingsverloop overeenkomt met de prognoses zijn ten minste twee metingen van de opgetreden zetting nodig, bijvoorbeeld meting van de huidige hoogteligging en op een tussenliggend moment. Ook als er géén oude prognose beschikbaar is, is meten van de hoogteligging zeer nuttig: met twee opeenvolgende metingen (minimaal 6 maanden interval) kan de actuele zettingssnelheid worden bepaald. Dit geeft tevens een indicatie van de restzetting als gevolg van de vorige ophoging (lineair extrapoleren van de huidige zettingssnelheid is een veilige inschatting).

(H9) Als het tijd-zettingsverloop sinds de vorige ophoging conform de prognose is opgetreden en de voor het nieuwe ontwerp relevante uitgangspunten (bijvoorbeeld het polderpeil of de waterspanning in watervoerende pakketten) niet belangrijk zijn gewijzigd, dan kan deze informatie goed gebruikt worden voor de zettingsvoorspelling voor de nieuwe ophoging. Aanvullend (grond)onderzoek is mogelijk nodig bij verbreding of verandering van het tracé.

(H11) Als het tijd-zettingsverloop sinds de vorige ophoging conform de prognose is opgetreden maar enkele voor het nieuwe ontwerp relevante uitgangspunten (bijvoorbeeld het polderpeil of de waterspanning in watervoerende pakketten) zijn wel belangrijk gewijzigd, dan dienen deze gewijzigde uitgangspunten onderzocht en/of bepaald te worden (bijvoorbeeld met grondonderzoek). De niet-gewijzigde uitgangspunten (grondopbouw, grondeigenschappen, etc) kunnen worden overgenomen uit de vorige prognose. Hierdoor is een beperkt (grond)onderzoek voldoende.

(H10) Als het tijd-zettingsverloop sinds de vorige ophoging niet goed overeenkomt met de destijds gemaakte prognoses, dan kunnen de in die prognoses gebruikte gegevens niet zonder meer worden gebruikt voor de nieuwe ophoging. De uitgangspunten waarvan het waarschijnlijk is dat ze in het verleden niet voldoende nauwkeurig waren bepaald dienen door (grond)onderzoek opnieuw of beter bepaald te worden. Denk hierbij ook aan het bepalen van het *volumegewicht van de aangebrachte wegfundering* en de dikte ervan, en aan *metingen van de actuele zettingssnelheid*.

NB: het is zeer verleidelijk om enkele uitgangspunten in de oude prognose te wijzigen en te zien of de aangepaste prognose beter strookt met de werkelijk opgetreden zetting en vervolgens die uitgangspunten als 'waar' te bestempelen. Door het grote aantal vrijheidsgraden is dit echter zeer riskant en af te raden.

De te behalen scores in de Geotechnische Meetlat zijn:

onderdeel	Naam onderdeel	behaalde punten
H9	tijd-zettingsverloop volgens prognoses, uitgangspunten ongewijzigd	18
H10	tijd-zettingsverloop niet volgens prognoses	0
H11	tijd-zettingsverloop volgens prognoses, uitgangspunten gewijzigd	14

Tabel 3.4: Te behalen scores in subschema H. De scores tussen haakjes zijn de maximaal te behalen scores als de kennisleemte wordt opgelost.

(H12) t/m (H14): geschiedenis van belasting bekend?

Als het tijd-zettingsverloop (als gevolg van de vorige ophoging) niet goed overeenkomt met de destijds gemaakte prognose, of er over de vorige ophoging geen prognose meer beschikbaar, dan dient het (grond)onderzoek te worden gericht op het in kaart brengen van de parameters en uitgangspunten die de zettingssnelheid bepalen (H10). Zeer belangrijk hierbij is kennis van de belastingsgeschiedenis: is de opgetreden zetting bepaald door een grote belasting (en is de ondergrond dus relatief stijf) of door een kleine belasting (en is de ondergrond dus relatief slap)?

De belangrijke parameters waar het hier om gaat zijn:

- momenten en mate van ophogen en ontgraven
- gewicht van gebruikte materialen, laagdikten.
- tussentijdse onderhoudswerkzaamheden en belastingverandering hierdoor
- historisch gebruik van het terrein
- verandering van grondwaterstanden en polderpeilen in de tijd

(H13) Indien (een van) bovenstaande onderdelen niet goed bekend is, dan dient dit met behulp van (grond- of archief-) onderzoek of navraag bij betrokkenen te worden bepaald. Archiefinformatie over de aangebrachte materialen in de ophoging kan vaak worden getoetst aan de werkelijkheid door te sonderen en bij boringen het materiaal te bemonsteren.

(H14) Indien de bovenstaande onderdelen wel goed bekend zijn, dan kan deze informatie worden meegenomen in de nieuwe zettingsvoorspelling. Immers, de belastinggeschiedenis in combinatie met de opgetreden zetting geeft een indicatie voor de stijfheid van de ondergrond.

Indien de zettingsprognose wordt opgesteld voor een nieuw aan te leggen lichtgewicht ophoging, dan is met name de informatie over het volumegewicht van de funderingsmaterialen van belang om de mate van ontlasten beter te kunnen vaststellen. Bedenk hierbij dat veel lichtgewicht ophoogmaterialen in de loop der tijd water opnemen en in meer of mindere mate kunnen verbrijzelen, zodat het volumegewicht groter wordt en extra zettingen zullen worden gegenereerd indien dit tot een te grote totale belasting leidt.

Een andere manier om deze informatie te gebruiken is, om de huidige situatie terug te rekenen door vorige belastingveranderingen in de tijd te modelleren. Als de huidige situatie goed kan worden nagerekend dan geeft dit vertrouwen in het zettingsmodel en de voorspelling voor de nieuwe ophoging.

De te behalen scores in de Geotechnische Meetlat zijn:

onderdeel	naam onderdeel	behaalde punten
H13	vorige ophogingen etc niet goed bekend	0
H14	vorige ophogingen etc gedetailleerd bekend	10

Tabel 3.5: Te behalen scores in subschema H. De scores tussen haakjes zijn de maximaal te behalen scores als de kennisleemte wordt opgelost.

(H15) t/m (H17): grensspanning

De grensspanning is bij ophogen op slappe grond een zeer belangrijke parameter, of het nu gaat om een traditionele ophoging met zand of een lichtgewicht ophoging. Ook in de CROW studie "Betrouwbaarheid van zettingsprognoses" (CROW, 2005) is dit geconcludeerd.

Samendrukbare lagen reageren stijf (weinig zettingsgevoelig) als de effectieve belasting beneden de grensspanning blijft. Zodra de grensspanning wordt overschreden (doordat wordt opgehoogd bijvoorbeeld) reageren de samendrukbare lagen 'ineens' veel slapper (er treedt veel zetting op bij weinig toename van de effectieve belasting).

Een redelijk goede indicatie van de grensspanning kan worden verkregen door de effectieve gronddruk te berekenen. Hierbij wordt – op de diepte waar de grensspanning berekend wordt – het netto totale gewicht (dus gecorrigeerd voor onder water zakken) van het materiaal boven die diepte bepaald. De aanname bij deze methode is dat er geen wateroverspanningen meer aanwezig zijn in de grond (dus dat er geen zettingen meer optreden) en dat de vervormingen door kruip beperkt zijn. Over het algemeen is bij wegen waar een onderhoudsophoging nodig is, sprake van zettingen die nog gaande zijn. In zo'n geval is de grensspanning meestal lager dan de terreinspanning die men op basis van effectieve volumegewichten van de grond uitrekent.

Ook moet bij het bepalen van de grensspanning op basis van effectieve volumegewichten van de grondlagen worden gelet op de zekerheid waarmee men die volumegewichten kent. Bijvoorbeeld: indien de volumegewichten van de materialen in de bestaande constructie lichter zijn dan gedacht, wordt een hogere grensspanning uitgerekend dan er werkelijk in de grond aanwezig is. Zou men een lichtgewicht constructie baseren op deze te hoge grensspanning, dan kan de constructie alsnog fors zakken.

(H16) Als zeker is dat door het aanleggen van de nieuwe constructie een ontlasting van de ondergrond optreedt (hiervoor moeten de volumegewichten van de te verwijderen en aan te brengen materialen goed bekend zijn!) dan zal de grensspanning waarschijnlijk niet worden overschreden. In deze gevallen speelt de grensspanning geen rol in de analyse. Bij een hoge actuele zettingssnelheid (meer dan 1 cm/jaar) is er echter vermoedelijk nog sprake van wateroverspanning in het slappe lagen pakket. De grensspanningen moeten in dat geval toch worden bepaald, ook al levert de nieuwe constructie een lagere effectieve belasting op dan de huidige.

(H17) Als niet wordt ontlast, dan is de grensspanning een belangrijke parameter. Indien uit (H9) of (H11) of uit laboratorium proeven bekend is dat de grensspanning in voldoende nauwkeurige mate is bepaald, dan hoeft geen aanvullend onderzoek te worden gedaan.

(H18) Als niet wordt ontlast, dan is de grensspanning een belangrijke parameter. Indien deze nog niet (goed) bekend is, dan dient deze te worden bepaald. Hiervoor zijn samendrukkingsproeven nodig.

Onderdeel	naam onderdeel	behaalde punten
H16	grensspanning niet relevant	4
H17	grensspanning is relevant en bekend	4
H18	grensspanning is relevant maar onbekend en dient te worden bepaald	0

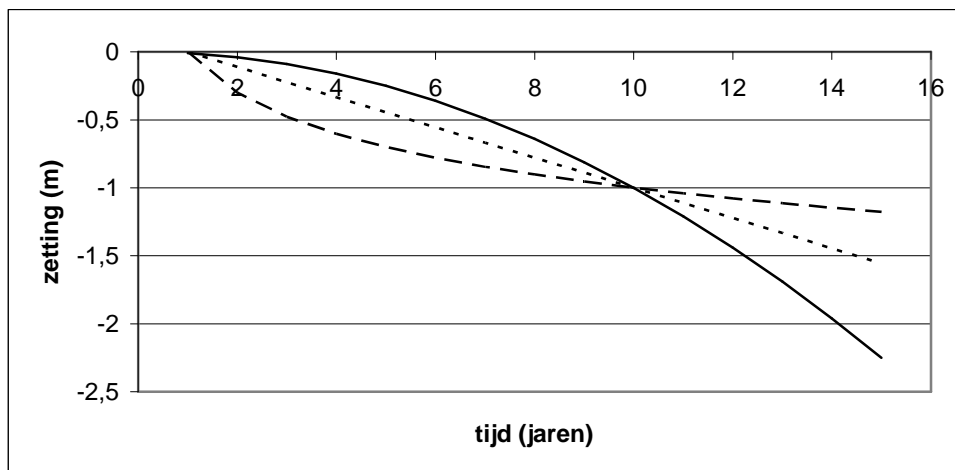
(H19) t/m (H21) restzetting als gevolg van de vorige ophoging(en)

Bij rehabilitatie van verzakte infrastructuur is de restzetting van vorige ophoging(en) een belangrijk gegeven – dit kan in de praktijk tientallen centimeters bedragen gedurende de levensduur van de nieuwe constructie. Bij de voorspelling van het tijd-zettingverloop als gevolg van de nieuwe ophoging 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. Hiervoor zijn verschillende mogelijkheden:

- de huidige situatie wordt nagerekend en de daaruit volgende huidige zettingssnelheid wordt vergeleken met de gemeten zettingssnelheid
- de huidige situatie wordt nagerekend en de daaruit volgende huidige zettingssnelheid wordt als ‘waar’ aangenomen
- de gemeten zettingssnelheid wordt op log-tijdschaal lineair geëxtrapoleerd
- er wordt een schatting gemaakt, bijvoorbeeld op basis van ervaring

Het meten van de huidige restzetting en het daaruit voorspellen van de toekomstige zettingen en zettingssnelheid kan het beste worden uitgevoerd door op enkele plaatsen een aantal maal de hoogteligging te meten. Het 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 (dus punt markeren met een spijker of iets dergelijks). De voorspelling van de restzetting van bestaande voorzieningen kan goed worden gedaan met de methode Asaoka, die is beschreven in Delft Cluster rapport DC1-412-10, “Duurzame OnderhoudsSystematiek (DOS) voor voorzieningen op slappe bodem – onderdeel zettingsprognose” uit 2003. Deze methode is vrij nauwkeurig als de primaire zetting volledig opgetreden is. Hoe langduriger de meetperiode is hoe nauwkeuriger de methode wordt.

Voor het berekenen van de huidige restzetting en zettingssnelheid moet de huidige situatie als gevolg van (een) vorige ophoging(en) volledig kunnen worden teruggerekend. Dit houdt in dat nauwkeurig alle uitgangspunten van de zettingsberekening die voor de aanleg van de huidige weg relevant waren dienen te worden bepaald. Indien er echter maar twee ijkpunten zijn (hoogteligging bij aanleg en huidige hoogteligging) dan kunnen daar in theorie een oneindig aantal gekromde lijnen doorheen getrokken worden (zie [Figuur 3.2](#)). 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 samendrukkingseigenschappen van de grond)



Figuur 3.2: Er zijn veel verschillende manieren om door twee bekende punten een lijn te tekenen. Het 'ijken' van een zettingsmodel op een aanleghoogte en actuele hoogte is dan ook zeer riskant.

Per situatie moet worden bepaald welke methode voldoende nauwkeurig is. In het algemeen verdient het meten van de zettingssnelheid de voorkeur, omdat hiermee tevens de nauwkeurigheid van het zettingsmodel is te valideren.

Onderdeel	naam onderdeel	behaalde punten
H19	Huidige zettingssnelheid gemeten	8
H20	Huidige zettingssnelheid niet gemeten	0

3.4.3 G: Grondonderzoek

Door het doorlopen van punt H van het stroomschema kan alle reeds beschikbare kennis over de bestaande situatie worden ingezet voor de zettingsvoorspelling voor de ophoging. Uit het doorlopen van dit punt blijkt óók, aan welke kennis het nog ontbreekt.

Het gaat dan met name om het geotechnische ondergrondmodel. Dit is bepalend voor het te verwachten zettingsgedrag. Onder geotechnisch ondergrondmodel wordt verstaan de grondlagen, de (verdeling van de) eigenschappen van die lagen en de waterspanningen in die lagen. De mate waarin deze eigenschappen bepaald dienen te worden zal bij elk project anders zijn, afhankelijk van het Programma van Eisen en de gewenste nauwkeurigheid. Door de doelen van het grondonderzoek voor het project concreet te maken kan de juiste hoeveelheid grondonderzoek beter worden gekozen.

De volgende ondergrondinformatie speelt een essentiële rol bij een zettingsvoorspelling:

aspect:	Type informatie:	geotechnische parameters:
1	de vervormingseigenschappen van de ondergrond	<ul style="list-style-type: none"> • samendrukkingsparameters (afhankelijk van het zettingsmodel bijv. C_p, C_s of a,b,c) • grensspanning p_g, • (zwelconstante A)
2	het volumegewicht van de ondergrond en de funderingsmaterialen	<ul style="list-style-type: none"> • Vochtig en nat volumegewicht
3	de doorlatendheid van de ondergrond en de funderingsmaterialen	<ul style="list-style-type: none"> • horizontale en verticale doorlatendheid • bulk doorlatendheid
4	de waterspanningen in de ondergrond en de funderingsmaterialen	<ul style="list-style-type: none"> • waterspanningen in het freatisch vlak • waterspanningen in alle relevante watervoerende pakketten
5	de (3D) heterogeniteit in de eigenschappen 1 t/m 4 hierboven	<ul style="list-style-type: none"> • Relevante ruimtelijke structuren of zones waarin deze parameters zijn verdeeld

Tabel 3.6: Geotechnische parameters per geotechnisch ontwerpaspect

(G1.1) Inventarisatie en prioritering van de witte vlekken

Het doorlopen van punt H van het stroomschema kan worden vertaald in een inventarisatie en prioritering van de witte vlekken die hieruit volgen. Hoe dit gedaan kan worden is samengevat in de onderstaande tabel:

a.g.v. bereiken onderdeel in stroomschema	doel in terreinonderzoek	prioriteit
H4	Heterogeniteit horizontaal	hoog
H5	Heterogeniteit horizontaal	laag
H6	Heterogeniteit horizontaal	laag – middel
	Afhankelijk van uitgangspunten	laag – hoog
H9	Zelfde punten als bij H10	laag
H10	Heterogeniteit vertikaal	hoog
	Vervormingseigenschappen	hoog
	Waterspanningen bepalen	hoog
	Volumegewichten bepalen	hoog
H11	Veranderde uitgangspunten bepalen	hoog
H13	Alle onbekende aspecten	hoog
H17	Grensspanning bepalen	hoog

Tabel 3.7: Doelen voor het terreinonderzoek op basis van het doorlopen van punt H in het stroomschema.

Waar het doel heterogeniteit, oftewel de ruimtelijke variatie in eigenschappen is, gaat het om de variatie in eigenschappen van de in [Tabel 3.6](#) genoemde punten 1 tot en met 5.

(G1.2) Gebruik van bestaande literatuur, kaarten en oriënterend grondonderzoek

Aan de hand van de relevante geotechnische parameters en de prioritering van de doelen van het grondonderzoek dient onderzocht te worden in hoeverre de doelen van het grondonderzoek al kunnen worden gehaald door het gebruiken van bestaande informatie.

Hierbij kan gedacht worden aan:

- de stijghoogtekaart van TNO-NITG
- de Geologische Kaart van Nederland van TNO-NITG
- de informatie van eerdere projecten op en nabij de locatie van rehabilitatie (grondonderzoek, monitoring data).
- een bezoek aan de te reconstrueren voorziening om te zoeken naar sporen van verschildzettingen en andere zaken die duiden op heterogeniteit in de ondergrond
- het opsporen van heterogeniteit met een geofysische grondonderzoeksmethode, zoals grondradar.
- korte boringen uit milieutechnisch onderzoek. Deze boringen kunnen ook voor het geotechnisch advies zeer waardevol zijn. Vaak worden deze sporen in de praktijk echter gescheiden.

Hoewel deze informatie zeer nuttig kan zijn en goedkoop is, dient men wel kritisch te zijn op de toepasbaarheid van deze gegevens voor de specifieke locatie en de nieuwe situatie. Dit geldt in het bijzonder voor algemene informatie zoals de Stijghoogtekaart en de Geologische Kaart van Nederland.

(G1.3) Bepaling van het type en aantal 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 in termen van kosten, toepasbaarheid 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 is beschreven in de publicatie "Betrouwbaarheid van zettingsprognoses" (CROW, 2005). Hier is geconcludeerd dat bij rehabilitatie van wegen op slappe bodem, met een relatief geringe ophoging (minder dan een meter), alle parameters belangrijk zijn, maar dat de nauwkeurigheid het meest wordt bepaald door de samendrukkingsconstante voor de kruipvervorming (C_s) en door de grensspanning.

In onderstaande tabel worden als voorbeeld enkele laboratorium- en veldproeven genoemd waarmee de in (G1) genoemde geotechnische parameters bepaald kunnen worden, naar CUR (2004). Dit is geenszins een uitputtende lijst. Tevens wordt er geen uitspraak gedaan over de nauwkeurigheid die met deze methoden behaald wordt.

geotechnische parameters	type labonderzoek	type in situ onderzoek
Samendrukkingseigenschappen ($C_p, C_s / a, b, c / \text{etc}$)	<ul style="list-style-type: none"> • Oedometer • (K0)-CRS 	<ul style="list-style-type: none"> • Zettingsplaat * • Zettingsslang *
Grensspanning p_g	<ul style="list-style-type: none"> • Oedometer • (K0)-CRS 	<ul style="list-style-type: none"> • Zettingsplaat * • Zettingsslang *
Zwelconstante A	<ul style="list-style-type: none"> • Oedometer 	<ul style="list-style-type: none"> • Zettingsplaat * • Zettingsslang *
Volumegewichten γ_d, γ_n	<ul style="list-style-type: none"> • NEN methode • Pyknometerproef • Steekring 	<ul style="list-style-type: none"> • Nucleaire dichtheid
Doorlatendheid k_h, k_v	<ul style="list-style-type: none"> • Falling head test • Constant head test • Oedometer • (K0)-CRS 	<ul style="list-style-type: none"> • Falling head test • Constant head test • Dissipatietest met piezosondering
Waterspanning σ_w		<ul style="list-style-type: none"> • Peilbuizen • Waterspanningsmeters
Bodemopbouw		<ul style="list-style-type: none"> • sonderingen min. klasse 2 • camerasondering • boringen, bij voorkeur met continu gestoken monsters • geofysische methoden

Tabel 3.8: Kwalitatieve bepaling type grondonderzoek

* Met een zettingsplaat (zakbaak) of zettingsslang worden geen geotechnische parameters bepaald, wel kunnen (bij een uitgebreide meetreeks) met een geotechnisch model parameters worden gefit aan de gemeten zetting

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 belangrijke wijzigingen in het ondergrondmodel oplevert. Dit hangt daarom niet alleen af van de aantallen, de soort en de locatie van de parameterbepalingen, maar ook van degene die het grondonderzoek interpreteert; een ervaren geoloog heeft wellicht minder gegevens nodig dan een geotechnicus om met name de heterogeniteit in het ondergrondmodel met een zelfde nauwkeurigheid te bepalen.

In een recent CUR project "Van niks naar grondparametermatrix" is desalniettemin aangegeven wat de a priori minimale hoeveelheid grondonderzoek is (CUR, 2003). Dit is echter niet toegespitst op het probleem van grondonderzoek ten behoeve van rehabilitatie van voorzieningen op slappe bodem. In de tabel hieronder is voor deze toepassingen een inschatting gemaakt die deels overeenkomt met de rapportage van het CUR project, maar een kleiner aantal sonderingen en boringen adviseert:

type onderzoek	Hoeveelheid
Sonderingen	hart-op-hart 50 m
Boringen	hart-op-hart 100 m
Ongeroerde monsters cohesief (met name klei en veen)	1/m/laag
Ongeroerde monsters niet-cohesief (met name zand)	1/laag
Peilbuizen in zowel freatisch pakket als relevante watervoerende lagen	hart-op-hart 250 m
Classificatieparameters (zoals volumegewicht)	1/m/boring *
Samendrukkings parameters	3 proeven per cohesieve laag per boring

Tabel 3.9: Kwantitatieve bepaling type grondonderzoek, naar CUR “Van niks naar grondparametermatrix”

** het bepalen van het volumegewichten is niet kostbaar (zeker niet ten opzichte van de kosten van een boring), het is daarom verstandig om veel meer volumegewichtsbepalingen te laten uitvoeren: hiermee wordt ook het inzicht in de variatie van de eigenschappen per laag aanmerkelijk vergroot*

Een hoeveelheid grondonderzoek zoals beschreven in de vorige tabel leidt niet automatisch tot een bepaald nauwkeurigheidsniveau voor de zettingsvoorspelling. 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 het volgende aangehouden worden:

- Als alleen sonderingen gebruikt worden dan 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 kan of moet worden;
- Indien geofysische methoden worden 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 elektromagnetische 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 zijn slechts indicatief. 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 sondeerafstand 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.

Ook bij boringen die gemaakt worden voor andere doeleinden, zoals milieuboringen, kunnen volumegewichten worden bepaald. Hierbij moet dan wel extra aandacht worden besteed aan het zo min mogelijk verstoren van de grondmonsters. Dit is vaak een eenvoudige en relatief goedkope manier om aan betrouwbare informatie te komen. Speciale aandacht verdienen de volumegewichten van de reeds aanwezige funderingsmaterialen. Zeer vaak blijken volumegewichten niet goed overeen te komen met de theoretische volumegewichten, bijvoorbeeld door wateropname van het materiaal.

Onderdeel waterspanningen

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

(G2) Uitvoering van het grondonderzoek

Het uitvoeren van het grondonderzoek dient te geschieden volgens de vigerende leidraden en (NEN) normen, met ervaren medewerkers en goed onderhouden en geijkte apparatuur. Als van de vigerende normen en leidraden wordt afgeweken dan dient expliciet aangegeven te worden waarom dit is gedaan. De locatie van het onderzoek dient met een nauwkeurigheid van minimaal 1 m 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 worden in de planning van een latere fase. Dit is met name nuttig voor het onderzoeken van de horizontale heterogeniteit en het optimaal combineren van geofysische metingen en/of sonderingen en/of boringen.

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.

Onderdeel	naam onderdeel	behaalde punten
G2	gefaseerd uitvoeren grondonderzoek	+8

(G3) Interpretatie van het grondonderzoek

Interpretatie van het onderzoek moet leiden tot een voldoende nauwkeurig beeld van de geohydrologische situatie, van de bodemopbouw en van de benodigde parameters voor de zettingvoorspelling. Deze vertegenwoordigen punten (G3.1), (G3.2) en (G3.3) uit het stroomschema.

(G3.1) Bepalen bodemopbouw inclusief aangebrachte materialen

Het bepalen van de drie-dimensionale bodemopbouw is in de meeste gevallen gebaseerd op puntbepalingen, namelijk sonderingen en boringen. De grondopbouw kan geïnterpreteerd worden op basis van alleen deze puntinformatie. 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. Bij complexere situaties of situaties waarbij de interpretaties zijn gebaseerd op een zeer beperkte hoeveelheid grondonderzoek zal de expertise van een geoloog noodzakelijk zijn.

Indien de grondopbouw is aangenomen of bepaald op slechts niet-lokale informatie, zoals een geologische kaart van Nederland, dan worden geen punten verdiend. Is beperkt lokaal onderzoek gedaan (minder dan 1 sondering of boring per 100 strekkende meters) dan worden 2.5 punten toegekend. Indien meer lokaal grondonderzoek is gedaan dan worden 10 punten toegekend. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat degene die de grondopbouw bepaalt voldoende geologische kennis bezit.

Kennis over de aard (met name de volumegewichten) en laagdiktes van de aangebrachte (funderings)materialen is van groot belang voor een nauwkeurige voorspelling van de zettingen. Als deze kennis met lokaal onderzoek zoals (hand)boringen of geofysisch onderzoek wordt ingewonnen, dan kunnen hiermee 10 punten worden verdiend. Ook als er gedetailleerde (besteks)tekeningen aanwezig zijn en lokaal onderzoek wordt gebruikt om te bevestigen dat deze tekeningen ook kloppen, kunnen tien punten worden verdiend.

Onderdeel	keuze	behaalde punten
G3.1	Grondopbouw bepaald op basis van voldoende lokaal grondonderzoek	+5
G3.1	Grondopbouw bepaald op basis van beperkt lokaal onderzoek	+2.5
G3.1	Grondopbouw bepaald op basis van enkel gebiedskennis of geologische kaart	+0
G3.1	Dikte en volumegewichten aangebrachte materialen bepaald op basis van lokaal onderzoek	+10

(G3.2) 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 onaanneemelijk 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.

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.

Onderdeel	naam onderdeel	behaalde punten
G3.2	Bepalen waterspanningen in freatisch pakket en relevante watervoerende pakketten	+5

(G3.3) Afleiden benodigde parameters

Voor de in (G1) bepaalde relevante geotechnische parameters zal voor elke in (G3.1) bepaalde relevante laag de parameters 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 (P) doorlopen te worden.

3.4.4 P: Parameters

In stroomschema G is de hoeveelheid grondonderzoek bepaald en uitgevoerd en zijn de bodemopbouw en de geohydrologische situatie hieruit afgeleid. In dit stroomschema, P, wordt met name ingegaan op de wijze van afleiden van de voor de zettingsvoorspelling belangrijke parameters uit de beschikbare informatie. De verschillende manieren van afleiden leveren per parameter een verschillende bijdrage aan de totale onnauwkeurigheid van de zettingsvoorspelling.

(P1) Geotechnische parameter

Voor iedere te bepalen geotechnische parameter begint het stroomschema hier.

(P2) Is er grondonderzoek beschikbaar?

De keuze voor het type parameterbepaling hangt af van het al dan niet beschikbaar zijn van bruikbaar grondonderzoek. Doorgaans zullen metingen nauwkeuriger zijn dan correlaties en degelijke. Hierbij moet dan wel de meetnauwkeurigheid in beschouwing genomen worden. Voor samendrukkingsparameters zijn bijvoorbeeld minimaal zo'n drie metingen per grondlaag nodig om een betrouwbaar beeld te krijgen.

(P3) 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 parameter betreft die beter in het veld 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.

(P5) Bepaling volgens het (representatief) gemiddelde

Mits goed uitgevoerd zal een bepaling volgens het representatief gemiddelde, zoals beschreven in NEN6740 (1991a), de meest nauwkeurige parameters opleveren. Het representatief gemiddelde wordt berekend door het rekenkundig gemiddelde te vermenigvuldigen met een factor tussen 0 en 1. Indien de parameters bepaald dienen te worden volgens het representatief 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.

In eerder Delft Cluster onderzoek (Delft Cluster, 2003) is aangetoond dat circa 8 à 10 proeven per parameter beschikbaar moeten zijn om de representatieve waarde niet teveel te hoeven reduceren voor de onzekerheid als gevolg van te weinig proeven. Dat wil zeggen: de vermenigvuldigingsfactor is dan ongeveer 0.85. In de praktijk wordt dit echter zelfden uitgevoerd uit financiële overwegingen. Voor binnenstedelijke wegen op slappe bodem wordt daarom aanbevolen om met het rekenkundig gemiddelde te werken op basis van minimaal drie metingen met beperkte spreiding in de resultaten. Let wel dat hierbij dan wordt afgeweken van de NEN norm!

(P6) 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 stroomschema H ("Historische informatie").

(P7) "Standaard" correlaties beschikbaar?

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

(P8) Gebruik "standaard" correlaties

Voor de parameters in een zettingsprognose zijn maar weinig standaardcorrelaties beschikbaar. In de tabel hieronder zijn enkele van deze correlaties opgenomen. Het is belangrijk te beseffen dat de werkelijke waarden aanzienlijk af kunnen wijken.

Als voorbeeld de waarden in tabel 1 uit NEN6740. Hierin zijn de lage representatieve waarden van de gemiddelden opgenomen, oftewel "zeer ongunstige aannamen". In veel gevallen wijken deze waarden sterk af van de werkelijke (gemiddelde) waarden. Echter, bij een project in Boskoop zijn met laboratoriumproeven gemiddelde (!) waarden gevonden die ongunstiger zijn dan de waarden in NEN6740 tabel 1.

geotechnische parameter	correlatiemethode
C_p, C_s	via grondsoort of q_c en NEN6740 tabel 1
C_{α}, C_c	Atterbergse grenzen
γ_d, γ_n	via grondsoort of q_c en NEN6740 tabel 1

Tabel 3.10: Enkele "standaard" correlaties voor zettingsparameters

(P9) Op basis van literatuur, "engineering judgement" of niet-standaard correlaties

Het gebruik van de "standaard" correlaties in P7 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.

Een – niet uitputtend – overzicht van niet-standaard correlaties en indicatieve waarden is gegeven in [Tabel 3.11](#).

geotechnische parameter	indicatie of correlatie
Zwelconstante A	zwell is 1/5 à 1/10 van de samendrukking
Grensspanning p_g	bij normaal geconsolideerde gronden is p_g de terreinspanning + 5 à 10 kPa (Let echter op: voor veel rehabilitatie situaties is er nog sprake van voortgaande consolidatie en is er dus geen sprake van een grensspanning die hoger ligt dan de terreinspanning)
Volumegewichten γ_d, γ_n	indicatieve waarde, bijv. CUR (2003) paragraaf 6.2.5
Waterspanning σ_w	(gemeente)archieven en de TNO isohypsenkaart
Doorlatendheid k_h, k_v	indicatieve waarden
Heterogeniteit	via de Geologische Kaart van Nederland en de Stijghoogtekaarten van TNO-NITG.

Tabel 3.11: Enkele niet-standaard correlaties en indicatieve waarden voor zettingsparameters

(P10) Geotechnische parametersets per grondlaag

Door voor elke geïdentificeerde grondlaag voor elke relevante parameter op een van de manieren van (P5), (P6), (P8) of (P9) 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 bij te houden 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 met representatieve gemiddelde waarden die doorgaans gunstiger zijn dan de waarden uit tabellen. 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.

Score voor parameters Per laag met deze tabel de score bepalen. De eindscore is de gemiddelde score over alle lagen.	(Representatief)) gemiddelde	Vergelijking met praktijkgedrag	“Standaard correlaties”	Engineering Judgement
Volumegewichten	+7	+3	+1.5	+0
Samendrukkingsparameters inclusief profiel grensspanningen	+7	+4.5	+1.5	+0
Doorlatendheden	+3	+3	+1.5	+0

Tabel 3.12: scores P10 voor parameterbepaling

3.4.5 A: Algemeen (vervolg van 3.4.1)

(A4): 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 zettingvoorspelling 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).

Bij het opstellen van het geotechnisch ontwerp dient alle informatie, waarvoor tot nu toe een score is toegekend, expliciet te worden gebruikt. Indien dit niet gebeurt dan dienen de eerder verdiende punten op die onderdelen geannuleerd te worden. Als bijvoorbeeld samendrukkingsparameters voor het isotachenmodel zijn bepaald in punt 3 van het stroomschema maar een eenvoudig Terzaghi-model wordt gebruikt, dan dienen de punten verdiend voor de isotachenparameters te vervallen.

Gebruikt rekenmodel	punten
1D of 2D Formule van Terzaghi of gelijkwaardig, geen kruipcomponent	0
1D of 2D Formule van Terzaghi of gelijkwaardig, eenvoudige kruipcomponent	3
1D Koppejan, NEN-Bjerrum of isotachenmodel	3
2D NEN of Angelsaksische methode, geen correctie voor onder water zakken	5
2D NEN of Angelsaksische methode, correctie voor onder water zakken	7
2D Koppejan- of isotachenmodel, geen correctie voor onder water zakken	10
2D Koppejan- of isotachenmodel, correctie voor onder water zakken	13

Tabel 3.13: Te behalen score bij gebruik van verschillende modellen. Het gebruik van de 1D modellen wordt voor voorzieningen op slappe grond sterk afgeraden.

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.

onderdeel	naam onderdeel	behaalde punten
A4	Expliciet meenemen restzetting vorige ophoging	+7

(A5) Gevoeligheidsanalyse

Het in één schematisatie voldoen aan het PvE is niet een 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 (lokaal) 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, het gebruik van een beter rekenmodel of het toepassen van een andere manier van ophogen.

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 een gevoeligheidsanalyse voor 1 van de 4 parameters is de score 5 punten).

(A6) 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 teleurstelling in deze fase van het project.

Indien het ontwerp voldoet aan het PvE, dan kan worden overgegaan op de uitvoering van het project. Door gedurende en na de uitvoering de optredende zettingen te monitoren kunnen eventuele afwijkingen tussen model en werkelijkheid nog worden ondervangen en gecorrigeerd.

Indien het ontwerp niet voldoet aan het PvE, dan kan een aantal dingen worden gedaan om dit te corrigeren:

- het ontwerp kan worden aangepast
- er kan aanvullend grondonderzoek worden gedaan, zodat de waarden van parameters minder conservatief hoeven te worden geschat en alsnog kan worden aangetoond dat het ontwerp voldoet aan het PvE
- het PvE kan worden versoepeld

Als dit allemaal niets oplevert, dan kan de conclusie zijn dat het project niet maakbaar is.

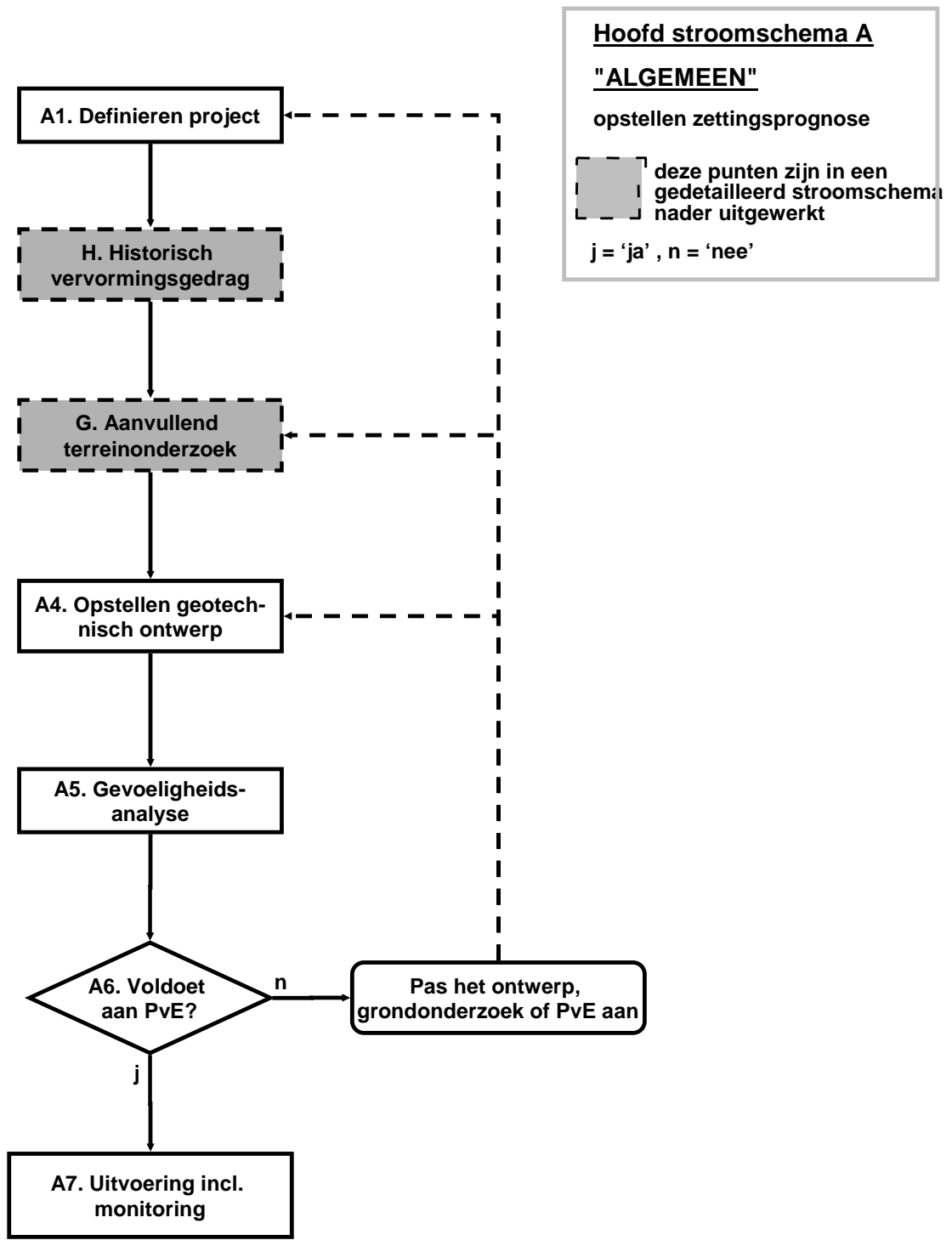
(A7) Uitvoering inclusief monitoring

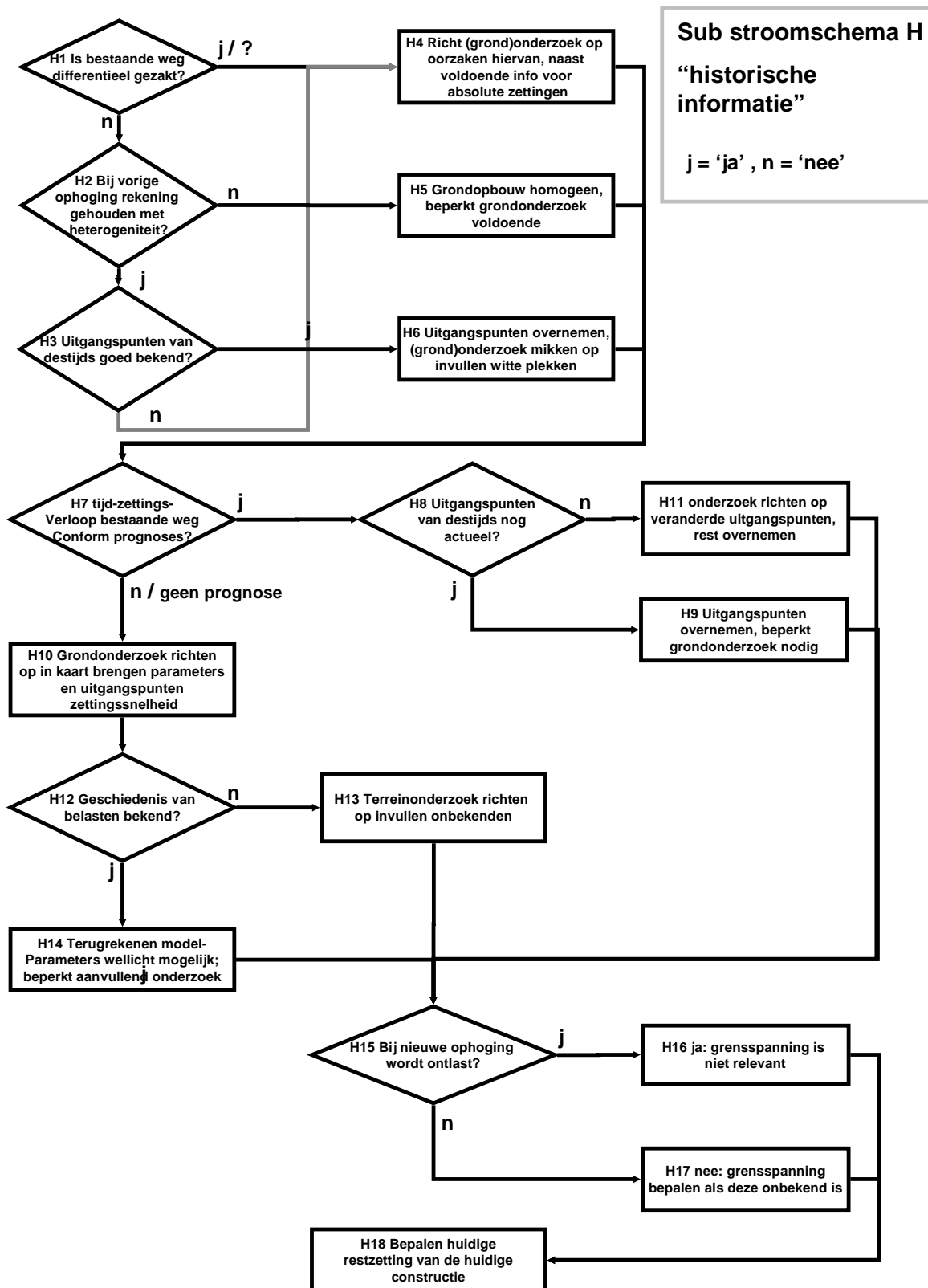
De uitvoering van een project verloopt zelden zoals in het ontwerp voorzien was. Wijzigingen in uitvoering kunnen echter een belangrijk effect hebben op het tijd-zettingsverloop. Kennis van de uitvoering van het project is belangrijk om, bij wijzigingen in de uitvoering, nog tijdens de uitvoering te 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 manier om een monitoring te organiseren en op te zetten is met behulp van de HerMes filosofie (Hölscher & Wijnants, 2003).

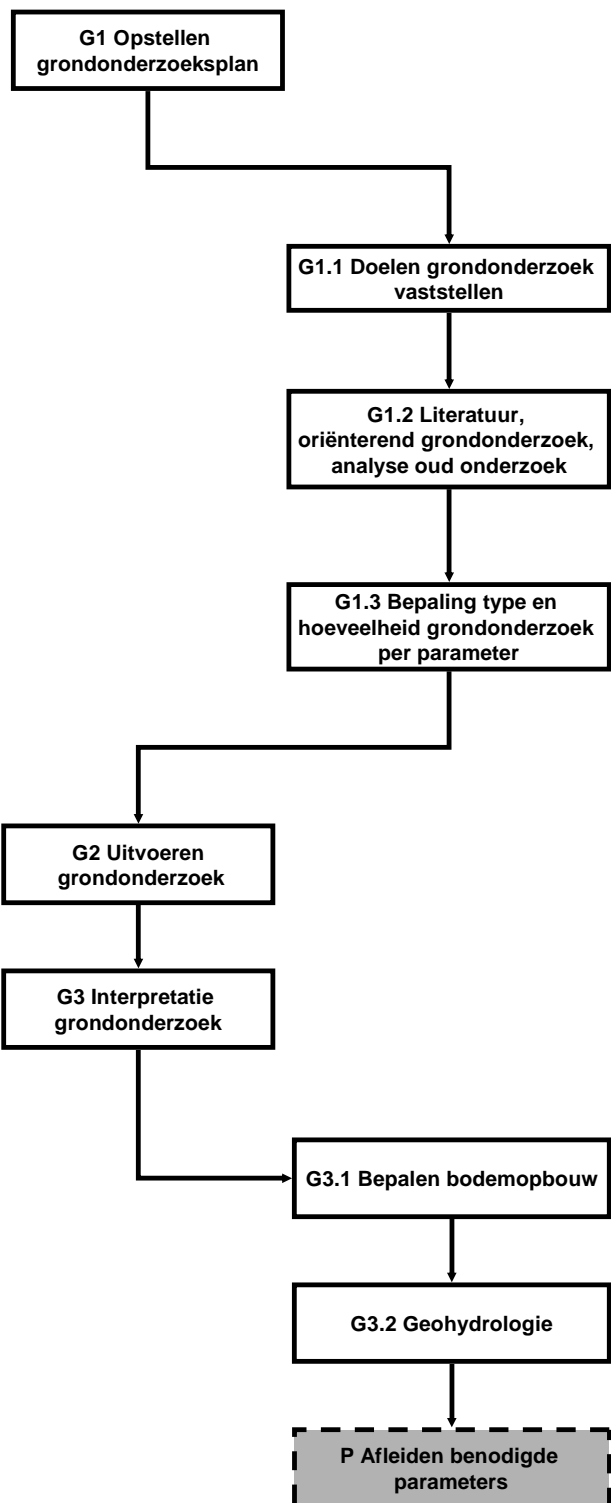
Een goede communicatie tussen aannemer en adviseur is dus van belang. Alle wijzigingen die zich tijdens de uitvoering voordoen en die van belang zijn voor de zettingsprognose dienen bekend te zijn bij de adviseur die de prognose heeft opgesteld. Ook een goede kennis van de nulsituatie is voor de evaluatie van de zettingsprognose van belang.

Indien de gemeten zetting significant afwijkt van de prognose dan is belangrijk te onderzoeken wat hiervan de oorzaak is. Wat een significante afwijking gevonden wordt dient in overleg met de opdrachtgever bepaald te worden en hoort thuis in het PvE. Een grove richtlijn is een afwijking van meer dan 20%. Indien de gemeten zetting minder afwijkt dan de afgesproken marge dan is acceptatie van de constructie door opdrachtgever mogelijk.

3.5 Stroomschema's van de Geotechnische Meetlat





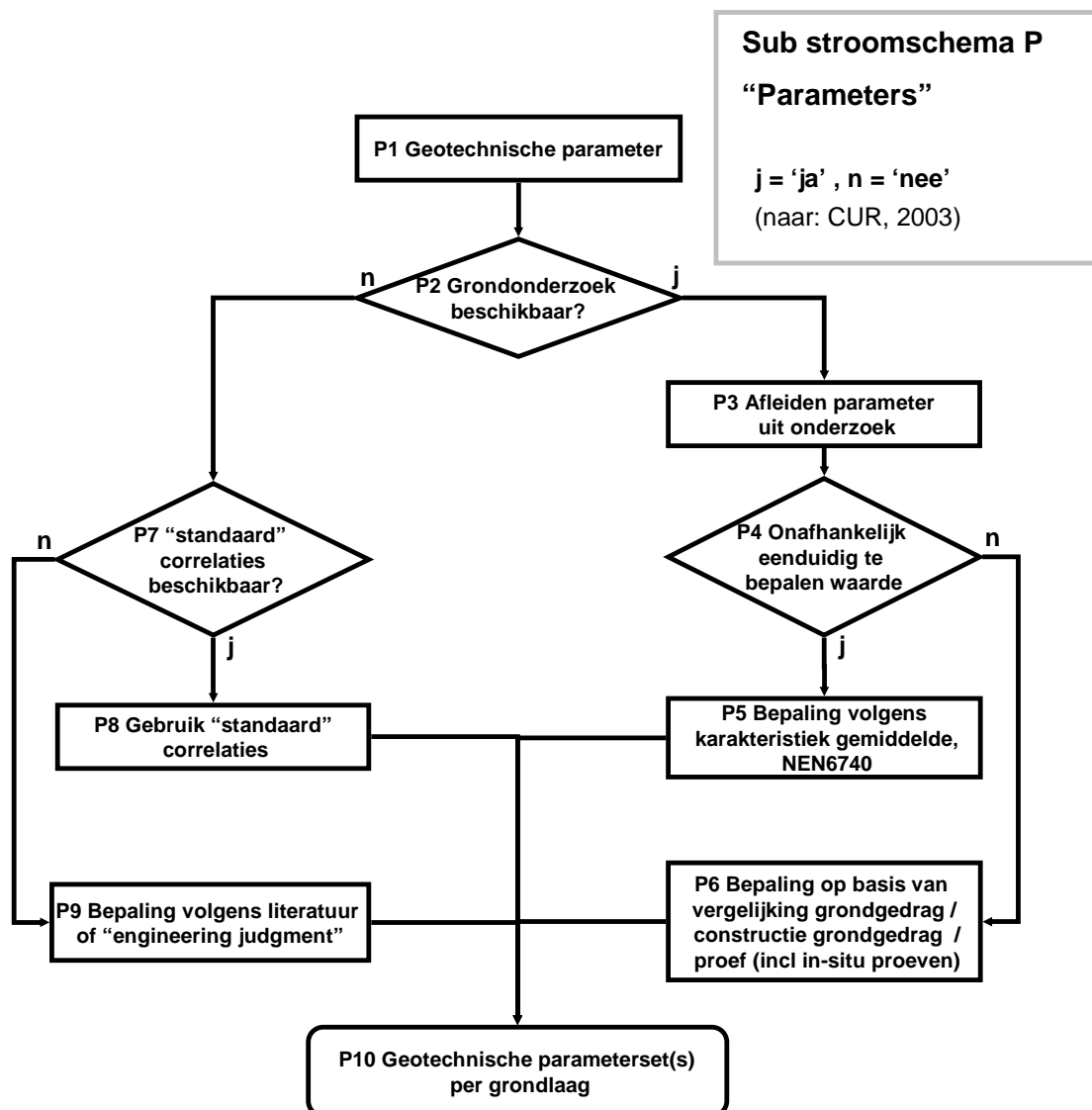


Sub stroomschema G

“Grondonderzoek”

 deze punten zijn in een gedetailleerd stroomschema nader uitgewerkt

(naar: CUR, 2004)



4. Bronnen

CROW (2005), "Betrouwbaarheid van zettingprognoses", CROW-publicatie 204, Ede, Februari 2005.

CUR (1992), "Construeren met grond - grondconstructies op en in weinig draagkrachtige en sterk samendrukbare ondergrond", CUR-publicatie 162, Gouda.

CUR (2003), "Bepaling geotechnische parameters", Gouda, CUR rapport 2003-7.

Delft Cluster (2003), "Duurzame Onderhouds Strategie voor voorzieningen op slappe bodem – onderdeel zettingsprognose", DC1-412-10, <http://www.delftcluster.nl/website/files/dc1-412-10.pdf>.

Delft Cluster (2005), "Validatie Geotechnische Meetlat",

Hölscher, P. & G.H. Wijnants (2001), "HerMes, HEt Rationele Monitoring Evaluatie Systeem", Delft Cluster rapport 01.01.07-10.

NEN (1991a), "Geotechniek TGB 1990 Basiseisen en belastingen", NEN norm 6740.

Geotechnische begrippenlijst van het Ingenieursbureau van Gemeentewerken Rotterdam (ongepubliceerd).

Bijlage 1: Begrippenlijst

Aanpassing	Zie Consolidatie
Asaoka-methode	Methode waarmee op basis van metingen van de hoogteligging een voorspelling van de Restzetting (Zie Zetting, rest-) kan worden gemaakt.
Achtergrondzetting	Zie Zetting, achtergrond-
Belasting	Elke oorzaak van krachten op, of vervorming van, de ondergrond
Bovenbelasting	Bovenbelasting is de belasting op een terrein ten gevolge van een ophoging, aanvulling of demping
Bovengrenswaarde	Die waarde van een parameter, waarbij een 95% zekerheid bestaat dat de werkelijke waarde lager is. (Zie ook: Ondergrenswaarde)
Bruto Ophoging	De bruto ophoging is de netto ophoging plus de benodigde overhoogte, maar exclusief eventuele extra overhoogte gedurende de wachttijd.
Camerasondering	Sondering, waarbij een camera beelden maakt van de grondlagen tijdens het wegdrukken van de conus. Met name gebruikt voor correlatie van sondeerwaarde met grondsoort en voor opsporing van bodemverontreinigingen.
Consolidatie	Het proces van uitpersen van water uit de poriën van slecht waterdoorlatende, samendrukbare grond. Dit uitpersen vindt plaats onder invloed van een belastingverhoging tengevolge waarvan zetting optreedt.
Consolidatiecoëfficiënt	Coëfficiënt die het proces van Consolidatie bepaalt: de waterdoorlatendheid van grond gedeeld door het product van de samendrukkingscoëfficiënt van het korrelskelet en het volumiek gewicht van water.
Consolidatiegraad:	Verhouding tussen de al opgetreden zetting en de eindzetting, in %.

Consolidatieperiode	Periode beschikbaar voor het consolidatie proces. Gaat in op het moment van aanbrengen van de belasting en het aanwezig zijn van het geplande drainage systeem en duurt tot het moment van definitieve inrichting of ingebruikneming.
Consolidatietijd	Zie Hydrodynamische periode
Constant Head Test	Laboratoriumproef waarbij de doorlatendheid van een grondmonster kan worden bepaald. In de proef wordt de stijghoogte constant gehouden (constant head). Gemeten wordt hoeveel water er per tijdseenheid door het monster stroomt. Hieruit is de doorlatendheid terug te rekenen.
Cunet	Ontgraving beneden het bestaande maaiveld waarin een aanvulling of ophoging van een ander materiaal wordt aangebracht.
Differentiële zettingen	Zie Verschilzettingen.
Dissipatietest	Veldmeting waarbij de geleidelijke afname van wateroverspanningen, bijvoorbeeld als gevolg van het indringen van een (piëzo-)sondeerconus, wordt vastgesteld. Dit is een indicatie voor de werkelijke doorlatendheid van de ondergrond.
Doorlatendheid	Het vermogen van grond om een vloeistof of gas door te laten.
Drainage	De afvoer van water over en door de grond en door het waterlopenstelsel. Het systeem dat deze afvoer mogelijk maakt noemt men het drainagesysteem.
Drooglegging	De afstand tussen het maaiveld / de verharding en de freatische grondwaterstand. NB: dit is <u>niet</u> gelijk aan de Ontwateringsdiepte.
Eindzetting	Zie Zetting, eind-
Elektrische weerstandsmetingen	Veldmeting waarbij de elektrische weerstand van de grond wordt bepaald. Gebruikt voor continue indicaties van de aanwezige grondopbouw of voor het opsporen van verontreinigingen of metalen voorwerpen.

Elektromagnetische metingen	Veldmeting waarbij de elektrische geleidbaarheid van de grond wordt bepaald. Gebruikt voor continue indicaties van de aanwezige grondopbouw of voor het opsporen van verontreinigingen of metalen voorwerpen.
Engineering Judgement	Het equivalent van “boerenverstand” voor ingenieurs. De kwaliteit van het advies is direct gekoppeld aan de kwaliteit van de ingenieur.
Extra Overhoogte	Zie Overhoogte, extra
Falling Head Test	Test waarbij de in-situ doorlatendheid van de ondergrond kan worden bepaald rondom het filter van een peilbuis. Na het vullen van de peilbuis wordt de daling van de stijghoogte (falling head) in de tijd gemeten. Uit het tijd-stijghoogte verloop is de doorlatendheid terug te rekenen.
Freatische grondwaterstand	De grondwaterstand die vanaf maaiveld gezien, het ondiepste wordt aangetroffen. De freatische grondwaterstand wordt sterk beïnvloed door het drainagestelsel (sloten en singels), neerslag, doorlatendheid van de bovenste grondlagen en door de plaatselijke kwel/inzijingssituatie.
Geofysische methoden	Methoden, waarbij inzicht in de ondergrond wordt verkregen zonder de ondergrond ernstig te verstoren. Zie onder andere Elektrische weerstandsmetingen, Elektromagnetische metingen, Grondradar.
Grensspanning	De spanning, waarbij het vervormingsgedrag van grond onder belasting overgaat van relatief stijf in relatief slap. Bij belastingverhoging boven de grensspanning zal de zetting relatief veel sterker toenemen.
Gronddrukcoëfficiënt	coëfficiënt die de verhouding aangeeft tussen horizontale en verticale spanning in de grond.
Grondwapening	Grondverbeteringstechniek bestaande uit het aanbrengen van elementen in de grond die trek-, druk- en schuifkrachten kunnen opnemen, zoals geotextielen, geogrids en palen.

Heterogeniteit	De mate waarin eigenschappen verschillend zijn in verschillende richtingen. Spekkoek is heterogeen in verticale richting en homogeen in horizontale richting.
Homogeen	De mate waarin eigenschappen gelijk zijn in verschillende richtingen. Het tegengestelde van Heterogeen.
Hydrodynamische periode	De tijd die nodig is, vanaf het aanbrengen van een belasting, voor de afname van de wateroverspanning tot deze vrijwel geheel is verdwenen.
Interventieniveau	Een vooraf bepaalde waarde waarna wordt ingegrepen. Bij zakking van wegen is het interventieniveau, waarna opnieuw wordt opgehoogd, vaak gekoppeld aan de drooglegging.
K ₀ -CRS proef	Nauwkeurige samendrukkingsproef. CRS staat voor "Constant Rate of Strain", ofwel constante reksnelheid.
Kansenanalyse	Zie Probabilistische analyse
Karakteristieke waarde	Waarde met een vooraf bepaalde onder- of overschrijdingskans. Meestal wordt voor deze kans 5% genomen.
Kleef	De wrijvingskracht van de grond. Deze kan bijvoorbeeld worden gemeten met een sondering waarbij de plaatselijke kleef wordt gemeten.
Korrelspanning	De spanning, die direct door de afzonderlijke grondkorrels moet worden opgenomen. Deze spanning bepaalt de mate en snelheid van de zettingen.
Kruip	Zie Seculaire zettingen
Netto Ophoging	De netto ophoging is het hoogteverschil tussen het huidige maaiveld en het gewenste maaiveld.
Normaal geconsolideerde grond	Grond waarvan de grensspanning niet hoger is dan de in situ korrelspanning.
Oedometer	Apparaat waarmee samendrukkingsproeven kunnen worden uitgevoerd.

Officieel Vastgesteld Straatpeil	Is het peil waarop de straat (of het openbare gebied) wordt aangelegd en moet worden onderhouden. Wordt ook wel het officiële straatpeil of streefpeil genoemd.
Onder water zakken	Gedurende het zettingsproces zakken geleidelijk grondlagen onder water waardoor de effectieve belasting op de ondergrond afneemt. Dit effect treedt vanaf het begin van het zettingsproces op en geldt ook voor natuurlijke reeds aanwezige grondlagen (ook deze gaan effectief gezien 'minder wegen' vanaf het moment dat ze onder de grondwaterstand komen te liggen).
Ondergrenswaarde	Die waarde van een parameter, waarbij een 95% zekerheid bestaat dat de werkelijke waarde hoger is. (Zie ook: Bovengrenswaarde)
Ongeroerd monster	Monster dat in structuur en/of spanningstoestand zo weinig door of na monsternamen is gewijzigd dat de eigenschappen van dit monster nog als representatief kunnen worden beschouwd voor de grond in situ.
Ontwateringsdiepte	De ontwateringsdiepte is gelijk aan de afstand tussen het maaiveld en het peil van het open water. (sloot of singel)
Opbarsten	Het bezwijken door omhoogkomen van de bodem van een ontgraving (bouwput) of waterpartij (singel) als gevolg van het verlies van verticale stabiliteit, veroorzaakt door de waterdruk in watervoerende lagen.
Opbolling	Als gevolg van neerslag en kwel is de drooglegging over het algemeen kleiner dan de ontwateringsdiepte, dit effect is groter naarmate de afstand tot het drainagesysteem groter is.
Ophoging	Het gedeelte van de constructie dat boven het maaiveld of het oude verhardingsoppervlak uitsteekt.
Ophogtijd	Tijdsduur vanaf het begin van ophogen tot het tijdstip waarop de ophoging in zijn geheel (inclusief eventuele extra overhoogte) aanwezig is.
Overconsolidatiegraad	De grensspanning gedeeld door de in situ verticale korrelspanning.

Overgeconsolideerde grond	Grond waarbij de in situ korrelspanning kleiner is dan de grensspanning.
Overhoogte	Extra laagdikte van het ophoogmateriaal benodigd om de optredende zettingen te compenseren en zodoende de gewenste hoogte van de constructie te bereiken.
Overhoogte, extra	Extra laagdikte van ophoogmateriaal boven de gewone overhoogte, toegepast om een bepaalde zetting sneller te bereiken. De extra overhoogte wordt na de wachttijd verwijderd.
Peilbuis	Open buis waarin een grondwaterstand of stijghoogte kan worden gemeten.
Piëzosondering	Sondering, waarbij naast de weerstand en de kleef ook de (dynamische) waterspanningen worden gemeten.
Primaire zettingen	Zie Samendrukking, primair.
Rehabilitatie	Bij wegen op slappe bodem: het opnieuw ophogen van een verzakte weg, bijvoorbeeld door aanvulling met zand of door opnieuw opbouwen van een wegfundering.
Rek	Verkorting of verlenging, relatief ten opzichte van de uitgangslengte. Bij samendrukkingsproeven wordt de rek 1-dimensionaal beschouwd (afname monsterhoogte ten opzichte van de oorspronkelijke monsterhoogte).
Reksnelheid	Snelheid waarmee de rek optreedt.
Restzetting	Zie Zetting, rest-
Samendrukking	Afname van het volume van de grond
Samendrukking, primair	Toename van de samendrukking tot aan het einde van de hydrodynamische periode bij gelijkblijvende totaalspanning (totaalspanning= korrelspanning+ waterspanning). Initieel wordt een bovenbelasting geheel gedragen door water(over)spanning. Gedurende de primaire samendrukking gaat de wateroverspanning geleidelijk over in korrelspanning. De snelheid van het proces wordt bepaald door de doorlatendheid van de ondergrond en de afstroomlengte tot een goed doorlatende zone.

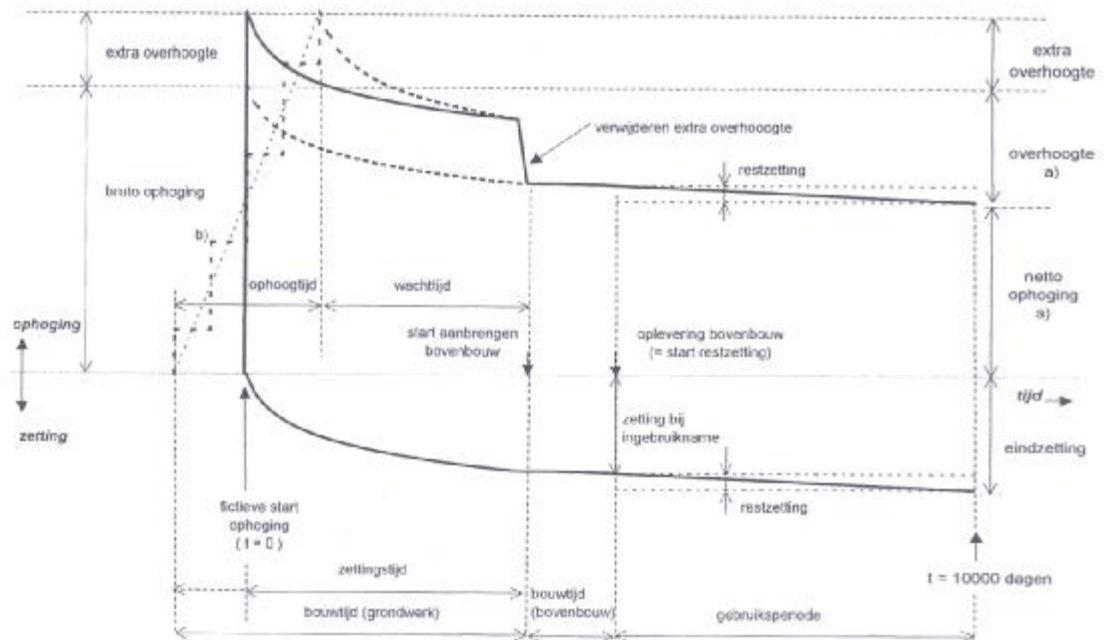
Samendrukking, seculair	Als functie van de tijd optredende zettingen bij constante korrelspanning, onafhankelijk van de primaire samendrukking.
Samendrukkingsparameters	Modelparameters die het zettingsproces omschrijven. Deze parameters worden bepaald met een samendrukkingsproef.
Seculaire zettingen	Zie Samendrukking, seculair.
Spanning	Kracht per eenheid van oppervlak, waarop de kracht werkt.
Spanning, effectieve –	Zie Spanning, korrel-
Spanning, grond-	De spanning op een bepaalde diepte, veroorzaakt door het eigengewicht van de grond en eventueel aanwezige belastingen; de grondspanning kan worden gesplitst in korrelspanning en waterspanningen. Grondspanning wordt ook wel aangeduid als totaalspanning.
Spanning, korrel-	Spanning ten gevolge van de contactkracht tussen gronddeeltjes. Korrelspanning is totaalspanning minus waterspanning.
Spanning, terrein-	In situ verticale korrelspanning in uitgangstoestand (ook wel: initiële verticale korrelspanning)
Spanning, water-	Het gedeelte van de grondspanning dat wordt veroorzaakt door de heersende waterdruk
Spanning, waterover-	De tijdelijke verhoging van de waterspanning in met water verzadigde grond door bijvoorbeeld het aanbrengen van een belasting
Stijghoogte	De drukhoogte van het grondwater vermeerderd met de hoogteligging van de opening van de peilbuis
Superpositie	Bij zettingen: het idee, dat het tijd-zettingsverloop van verschillende belastingsstappen bij elkaar mogen worden opgeteld. Dit is niet geheel correct.
Veen	Materiaal dat grotendeels bestaat uit resten van afgestorven planten

Verschilzetting	Zettingsverschil tussen twee observatiepunten. Verschilzetting wordt gerelateerd aan de onderlinge afstand tussen de observatiepunten.
Verwachtingswaarde	Uitkomst van een berekening waarbij gemiddelde waarden zijn gebruikt en er dus geen partiele veiligheidsfactoren zijn toegepast. De verwachtingswaarde heeft een 50% overschrijdingskans en een 50% onderschrijdingskans.
Volumiek gewicht	De Volumieke massa vermenigvuldigd met de zwaartekrachtsversnelling (9.81) in kN/m^3
Volumiek gewicht, droog	Het volumiek gewicht na kunstmatige droging
Volumiek gewicht, vochtig	Het volumiek gewicht bij natuurlijk vochtgehalte boven de grondwaterspiegel. Bij klei en veen geldt in west Nederland doorgaans, dat het vochtig volumegewicht door o.a. capillaire werking vrijwel gelijk is aan het nat volumiek gewicht
Volumiek gewicht, nat	Het volumiek gewicht na langdurige onderdompeling in water
Volumieke massa	Massa per eenheid volume, in kg/m^3
Voorbelasten	Algemene term voor het aanbrengen van een belasting (o.a. ophoging, overhoogte of extra overhoogte) vóór het tijdstip van definitieve aanleg of ingebruikneming. Wordt vaak verward met Extra overhoogte.
Wachttijd	Tijdsduur vanaf moment dat de ophoging in zijn geheel, inclusief de eventuele extra overhoogte, is aangebracht tot aan het einde van de bouwtijd van het grondwerk.
Waterdoorlatendheid	Verhouding tussen waterdrukverschillen (het verhang) en de doorstroomsnelheid van water door de grond.
Wateroverspanningen	Zie Spanningen, waterover-
Watervoerend pakket	Aaneengesloten zand- of grindlaag waarin transport van water optreedt (of op kan treden).

Zakbaak	Horizontale stalen plaat met verticaal opstaande stang (welke is op te lengen) voor het meten van een plaatselijke zakking. De plaat wordt meestal op maaiveld geplaatst voordat wordt opgehoogd. De verticale stang steekt boven de ophoging uit, zodat uit de hoogte van de bovenzijde van de stang de gezette ligging van de onderzijde van de ophoging kan worden herleid (de stanglengte moet goed worden gedocumenteerd incl. evt. oplengingen).
Zetting	Afname van de hoogteligging van maaiveld of de cunetbodem.
Zetting, achtergrond-	Zetting ten gevolge van inklinking in polders door polderpeilverlaging of oxidatie van veen, voortgaande zetting door vroegere ophogingen, gas- en zoutwinning en andere (geologische) processen.
Zetting, autonome-	Zie Zetting, achtergrond-
Zetting, eind-	Zetting na een arbitrair gekozen periode. Vaak wordt hiervoor 10.000 dagen ofwel circa 27 of 30 jaar aangehouden, de periode dient echter af te hangen van de levensduur van de constructie.
Zetting, rest-	Verskil tussen de eindzetting en de zetting op een bepaald moment. Een veelgekozen moment is het moment van opleveren of in gebruik nemen van een werk.
Zettingsplaat	Zie Zakbaak.
Zettings slang	Slang, aangebracht onder een ophoging, waarin (op basis van hydrostatische waterdruk) de plaatshoogte kan worden bepaald. Geeft continu beeld van de opgetreden zetting over de raai waar de zettings slang zich bevindt.
Zettingsprognose	<ol style="list-style-type: none"> 1. Uitkomst van een zettingsberekening. 2. Voorspelling van toekomstige zettingen
Zettingssnelheid	De snelheid waarmee de zetting verloopt, wordt in eerste instantie voornamelijk bepaald door de Consolidatiesnelheid en na de Hydrodynamische periode door de kruip.

Illustratie van enkele belangrijke begrippen

Onderstaande figuur geeft op grafische wijze enkele belangrijke begrippen weer. De figuur is overgenomen uit CROW publicatie "Betrouwbaarheid van zettingsprognoses" uit 2005.



Gebruikte bronnen:

Bij het opstellen van deze begrippenlijst is aangesloten bij de begrippenlijsten in de volgende publicaties:

CUR-publicatie 162, Construeren met grond - grondconstructies op en in weinig draagkrachtige en sterk samendrukbare ondergrond, CUR, Gouda.

CROW-publicatie 204, Betrouwbaarheid van zettingprognoses, CROW, Ede, Februari 2005.

Geotechnische begrippenlijst van het Ingenieursbureau van Gemeentewerken Rotterdam (ongepubliceerd).

Bijlage 2: Bestelformulier Zettingsprognoses voor opnieuw ophogen van wegen op slappe bodem

A: Eisen en uitgangspunten			
De zettingsprognose wordt gemaakt ten behoeve van het afwegen tussen:			
<input type="checkbox"/>	traditionele ophoging met "zware" materialen (zand, lava, etc)		
<input type="checkbox"/>	ophoging met lichtgewicht materialen (flugsand, EPS, Bims, etc)		
<input type="checkbox"/>	andere constructie, namelijk _____		
<input type="checkbox"/>	geen afweging, maar ontwerp gespecificeerde constructie		
De berekende zetting dient te zijn gebaseerd op:			
<input type="checkbox"/>	Gemiddelde waarden voor grondeigenschappen		
<input type="checkbox"/>	Representatieve waarden voor grondeigenschappen (NEN-norm)		
Gewenste aanleghoogte van de nieuwe ophoging: _____ m NAP (na oplevering)			
De eisen aan de ophoging na: _____ jaar			
<input type="checkbox"/>	drooglegging minimaal:		
<input type="checkbox"/>	hoogteligging minimaal:		
<input type="checkbox"/>	restzetting verharding maximaal:		
<input type="checkbox"/>	restzetting k&l na oplevering maximaal:		
<input type="checkbox"/>	Overige elementen (bijv. kolken):		
<input type="checkbox"/>	spoorvorming:		
<input type="checkbox"/>	...		
Gebruik in de ophoging niet de volgende materialen:			
<input type="checkbox"/>	Schuimbeton	<input type="checkbox"/>	EPS / PS-Hardschuim
<input type="checkbox"/>	Bims	<input type="checkbox"/>	Argex
<input type="checkbox"/>	Geogrids	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/>	_____	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/>	Zoveel mogelijk materiaal uit bestaande constructie hergebruiken		
<input type="checkbox"/>	Opmerkingen _____		
Het polderpeil is:			
<input type="checkbox"/>	Vast	:	_____ m NAP
<input type="checkbox"/>	Zomerpeil	:	_____ m NAP
<input type="checkbox"/>	Winterpeil	:	_____ m NAP

B: Historische informatie over weg en terrein:

Lever zo veel mogelijk informatie aan over het historisch gebruik van het terrein en de belastingsgeschiedenis, inclusief veranderingen in polderpeilen. Denk bijvoorbeeld aan: luchtfoto's, archiefinformatie van de gemeente of het waterschap, mondelinge opgave van medewerkers, etc.

De bestaande wegverharding:

Aanlegdatum: ___ / _____ (MM/YYYY)

- | | |
|--------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | vertoont verschilzettingen |
| <input type="checkbox"/> | vertoont ongewenste/onacceptabele* kuilen en sporen |
| <input type="checkbox"/> | is sinds aanleg _____ tot _____ cm gezakt |
| <input type="checkbox"/> | is tussentijds opgehoogd/aangevuld |
| <input type="checkbox"/> | laatste keer _____ jaar geleden, _____ cm |
| <input type="checkbox"/> | gemiddeld eens per _____ jaar |
| <input type="checkbox"/> | de bestaande wegfundering is bekend en staat op (revisie) tekening |

Bestaand grondonderzoek en geotechnisch advies:

Is er van de vorige ophoging / voor de aanleg een geotechnisch advies beschikbaar?

- | | |
|--------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> | Ja |
| <input type="checkbox"/> | Nee |

Is er grondonderzoek beschikbaar?

- | | |
|--------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | uit eerder geotechnisch ophoogadvies |
| <input type="checkbox"/> | uit milieukundig onderzoek |
| <input type="checkbox"/> | in verband met woningbouw of ander project |
| <input type="checkbox"/> | uit de DINO database van TNO |
| <input type="checkbox"/> | uit www.GeoDataBank.nl |

Is de hoogteligging tussentijds gemeten sinds de vorige ophoging?

- | | |
|--------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> | Ja |
| <input type="checkbox"/> | Nee |

Check: is het aangeleverde advies conform de vragen in deel A?

- | | |
|--------------------------|-------------------|
| <input type="checkbox"/> | Ja |
| <input type="checkbox"/> | Nee, omdat: _____ |

Check: maakt het aangeleverde advies gebruik van de informatie in deel B?

- | | |
|--------------------------|-------------------|
| <input type="checkbox"/> | Ja |
| <input type="checkbox"/> | Nee, omdat: _____ |

Bijlage 3: Afweeggrafiek wegconstructies op slappe bodem

