

# Bepalingen zettingen in het afweegmodel

## Voor voorzieningen op slappe bodem

***Delft Cluster Publicatiecode:***

DC2-3.12-05 versie 1

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

Delft Cluster CT03.10

Duurzame Onderhoudsstrategie (DOS) voor voorzieningen op slappe bodem

***Datum:***

2 oktober 2006

***Versie:***

Definitief

***Auteurs:***

Ir C. Zwanenburg (GeoDelft)

Ir C. Lehnen (GeoDelft)

# Colofon

Het voorliggende rapport is een deelrapport van het Delft Cluster project CT03.10, "Duurzame onderhoud 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
- Het Ministerie van Verkeer en Waterstaat
- 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. C. Lehnen - [c.lehnen@geodelft.nl](mailto:c.lehnen@geodelft.nl) - tel: 015-2693558

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 achtergrond</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>Methodiek bepaling zettingen in KMW model CROW</b>	<b>6</b>
2.1.	Beschrijving methodiek	6
2.2.	Conclusies en onderbouwing	7
<b>3.</b>	<b>Bepaling zettingen in het afweegmodel</b>	<b>9</b>
3.1.	Opzet uitwerking onderhoudstrategie	9
3.2.	Wegconstructie	11
3.3.	Zettingen	11
3.4.	Kabels en leidingen	13
3.5.	Zettingsmodel in het afweegmodel	15
<b>4.</b>	<b>Conclusies</b>	<b>17</b>



# 1. Inleiding en achtergrond

Eén van de belangrijke onderdelen van het Delft Clusteronderzoek 'Duurzame onderhoudsstrategie voor voorzieningen op slappe bodem' is het maken van een afweegmodel. Met het model kan de meest optimale maatregel worden bepaald voor het opnieuw ophogen van de openbare ruimte in woonwijken.

Een belangrijk onderdeel van het afweegmodel voor het afwegen van reconstructie varianten voor wegen is het vaststellen van de zettingen voor elk van de verschillende alternatieven. De nauwkeurigheid van de zettingsvoorspelling zal voor een groot deel het succes van het afwegingsmodel bepalen. Hier staat tegenover dat het model in een vroege fase van het project gebruikt gaat worden. In deze fase zijn nog weinig gegevens bekend en daarom zal het niet eenvoudig zijn een nauwkeurige voorspelling uit te voeren.

In 2005 heeft het CROW een publicatie 'Keuzemodel Wegconstructies, KMW' uitgebracht waarin de fundamenten van een keuzemodel voor wegconstructies maar ook de onderbouw wordt gepresenteerd. Binnen dit onderdeel van het Delft Clusteronderzoek is nader onderzocht of de methodiek en systematiek van het voorspellen zettingen zoals toegepast in KMW met eventuele aanpassingen overgenomen kon worden. Gedurende het onderzoek is besloten de methodiek en systematiek van het KMW model niet over te nemen.

Het voorliggende stuk is de rapportage, onderdeel C3 van het Delft Clusteronderzoek 'Duurzame onderhoudsstrategie voor voorzieningen op slappe bodem', van het uitgewerkte model voor zettingsvoorspellingen dat voor het te bouwen afweegmodel gebruikt gaat worden. In hoofdstuk 2 is onderbouwd waarom is besloten de methodiek en systematiek van het KMW model niet over te nemen en in hoofdstuk 3 is de methodiek en systematiek beschreven die toegepast gaat worden in het afweegmodel van het Delft Clusteronderzoek 'Duurzame onderhoudsstrategie voor voorzieningen op slappe bodem'.

## 2. Methodiek bepaling zettingen in KMW model CROW

### 2.1. Beschrijving methodiek

Voor het bepalen van de te verwachten zettingen is in het KMW model gebruik gemaakt van:

- 8 grondprofielen uit CROW publicatie 155
- 3 aanvullende profielen met stevige grondslag (zand en leem)

De gebruiker kiest zelf het best passende grondprofiel. Hierbij kan gebruik gemaakt worden van bodemkaarten of lokaal grondonderzoek.

Aan de standaard grondprofielen zijn standaard grondparameters gekoppeld op basis van NEN 6740 tabel 1 en ervaring.

Voor het KMW zijn vooraf een groot aantal zettingsberekeningen gemaakt. Hierbij is uitgegaan van de 11 grondprofielen. Voor de ophogingen is een beperkt aantal constructievarianten doorgerekend:

- zandophoging (ook met 1 m en 2 m tijdelijke overhoogte)
- zandophoging met verticale drains (ook met 1 m en 2 m tijdelijke overhoogte)
- zandophoging met zandschermen (ook met 1 m en 2 m tijdelijke overhoogte)
- lichtgewicht ophoogmateriaal
- lichtgewicht ophoogmateriaal met verticale drains
- lichtgewicht ophoogmateriaal met zandschermen

Verdere aannamen, uitgangspunten en vereenvoudigingen bij de berekeningen van de zettingen:

- elke ophoging bestaat uit de netto ophoging tussen het huidige maaiveld en het toekomstige profiel en de overhoogte ter compensatie van zettingen. Het totaal noemen we de bruto ophoging. Er wordt gerekend met bruto ophogingen
- de zetting wordt gebruikt voor het opstellen van de zandbalans. Dit is de te verwachten hoeveelheid zand die moet worden aangebracht om aan de gestelde eisen te voldoen
- de ophogingen met zand op veen en/of kleigrond is altijd in combinatie met een of meer zettingsversnellende methoden
- de opties van zandschermen worden doorgerekend zonder rekening te houden met de hogere stijfheid van het zand in de schermen
- de freatische grondwaterstand wordt aangehouden op MV -0,5 m
- voor de horizontale doorlatendheid wordt 2 keer de verticale doorlatendheid aangehouden
- bij de berekeningen wordt uitgegaan van natuurlijke rek
- voor de verhouding primaire en secundaire zetting wordt een vaste verhouding aangehouden van 60/40
- voor het licht ophoogmateriaal wordt uitgegaan van een volumegewicht droog van

12 kN/m<sup>3</sup> en nat van 14 kN/m<sup>3</sup>, met een cohesie van 0 kPa en een hoek van inwendige wrijving 30°.

- De berekeningen zijn uitgevoerd voor de hartlijn van de constructie.

Op basis van de bovenstaande aangehouden constructievarianten, aannames, uitgangspunten en vereenvoudigingen zijn zettingsberekeningen uitgevoerd. De resultaten hiervan zijn verzameld in een database. Nadat de gebruiker van het programma de invoergegevens heeft ingevoerd, wordt aan de hand van deze invoergegevens en de database met resultaten van de zettingsberekeningen een voorspelling gegeven van de te verwachten zettingen.

## 2.2. Conclusies en onderbouwing

Aan de hand van de methodiek gebruikt in het KMW model van het CROW kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- voor slappe bodem wordt uitgegaan van 8 profielen. Dit is weinig gezien de grote variatie in opbouw van slappe bodem in Nederland, zowel in type slappe bodem als in diktes van de slappe lagen.
- de gebruikte grondparameters voor het berekenen van de zettingen zijn afkomstig uit NEN 6740 tabel 1 en ervaring. De grondparameters uit NEN 6740 tabel 1 zijn conservatief. Hierdoor worden de te verwachten zettingen overschat. Dit betekent een sterke bias naar lichte constructies. De betrouwbaarheid van de zettingsvoorspelling bepaalt voor een groot deel de betrouwbaarheid van de afweging, en is dus van belang.
- de zettingshistorie, voor zover deze bekend is, wordt in de afweging niet meegenomen. Om de betrouwbaarheid van de voorspelling te vergroten zou deze, indien bekend, echter meegenomen dienen te worden.
- het aanhouden van de freatische grondwaterstand op MV -0,5 m brengt met zich mee dat de grondwaterstand zakt als het maaiveld zakt. Dit is in werkelijkheid natuurlijk niet het geval. Het aanhouden van de grondwaterstand op een vaste diepte ten opzichte van maaiveld leidt tot een overschatting van de te verwachten zettingen. Dit indien de initiële grondwaterstand inderdaad op MV -0,5 m ligt. Dit zal echter in werkelijkheid ook niet het geval zijn. De keuze van de ligging van de freatische grondwaterstand heeft een grote invloed op de te verwachten zettingen. Indien de werkelijke grondwaterstand lager is zullen de te verwachten zettingen minder zijn en indien de werkelijke grondwaterstand hoger is (en nooit lager is geweest) zullen de zettingen hoger zijn.
- er is voor licht ophoogmateriaal uitgegaan van slechts 1 type wat betreft de eigenschappen. Uit onder andere het rapport van onderdeel B1 van het Delft Cluster project CT03.10, "Duurzame onderhoud Strategie voor voorzieningen op slappe bodem" blijkt dat de variatie in type lichte ophoogmaterialen groot is, en daarbij ook de variatie in volumegewicht van de verschillende lichte ophoogmaterialen. Het gewicht van het ophoogmateriaal heeft in de berekeningen een grote invloed op de uiteindelijk te verwachten zettingen, en dient dus in de berekeningen meegenomen te worden om tot een betrouwbare afweging te komen.

Omdat de betrouwbaarheid van de voorspellingen van de te verwachten zettingen zo een invloed

heeft op de uiteindelijke afweging voor een bepaalde onderhoudsstrategie is het van belang de te verwachten zettingen zo nauwkeurig mogelijk te berekenen. In de methodiek en systematiek van het KMW model wordt dus geput uit een database van resultaten van zettingsberekeningen, en wordt niet voor elke situatie afzonderlijk een nieuwe zettingsberekening uitgevoerd. Hierdoor neemt de betrouwbaarheid van de zettingsprognose af. Daarnaast zijn voor de zettingsberekeningen ten behoeve van de database een aantal aannamen en vereenvoudigingen toegepast, waardoor de betrouwbaarheid van de zettingsprognose ook afneemt.

Aan de hand van het bovenstaande is besloten voor het afweegmodel voor het bepalen van de te verwachten zettingen niet uit te gaan van de methodiek en systematiek van het KMW model van het CROW. In plaats daarvan wordt uitgegaan van een locatiespecifieke berekening waarbij de zettingshistorie, voor zover dat bekend is, wordt meegenomen. Voor een beschrijving van de methodiek wordt verwezen naar hoofdstuk 3.



## 3. Bepaling zettingen in het afweegmodel

### 3.1. Opzet uitwerking onderhoudstrategie

Een onderhoudsstrategie bestaat uit een aan te brengen wegconstructie, de aardebaan of lichtgewicht ophoogmateriaal, de te verwachte onderhoudsmomenten gedurende de beschouwde levensduur en de interactie tussen de wegconstructie en kabels en leidingen.

Bij het uitwerken van een onderhoudsstrategie wordt aangenomen dat de huidige situatie aan vervanging toe is en dat er per strategie één type constructie wordt uitgewerkt. Dit houdt in dat iedere keer als het straatniveau onder het interventieniveau zakt de straat wordt opgehaald waarbij iedere keer na ophalen dezelfde wegconstructie en dezelfde aardebaan of lichtgewicht ophoogmateriaal wordt toegepast. In de loop van de tijd zal dan de dikte van het ophoogmateriaal onder de wegconstructie veelal toenemen.

Het uitwerken van een onderhoudsstrategie bestaat uit drie delen. Als eerste dient een wegconstructie en de aardebaan of het lichtgewicht ophoogmateriaal te worden vastgesteld. Voor de wegconstructie zullen een aantal standaard keuzemogelijkheden beschikbaar zijn. Bij het uitwerken van de onderhoudsvarianten wordt onderscheid gemaakt tussen de eerste reconstructie en de daaropvolgende herhalingen van ophoogwerkzaamheden omdat de wegconstructie en de aardebaan of lichtgewicht ophoogmateriaal verschillend kan zijn.

#### *1<sup>e</sup> reconstructie*

De benodigde nieuwbouw werkzaamheden van de eerste maal reconstructie kan afwijken van de werkzaamheden benodigd voor de daaropvolgende ophoogwerkzaamheden. Hierbij kan gedacht worden aan een verandering van constructietype van de weg, die in de daaropvolgende herhalingen gehandhaafd blijft, of het afgraven en vervangen van zwaar fundatiemateriaal met licht materiaal ten behoeve van lichtgewicht constructie.

Naast de verhardingsconstructie komen bij het vaststellen van de wegconstructie andere zaken aan de orde. Twee zaken worden hier genoemd te weten een cunet en een evenwichtsconstructie. Bij het definiëren van de verschillende constructies met lichtgewicht ophoogmaterialen dient de gebruiker aan te geven of er in de huidige situatie een cunet is toegepast of niet. Indien een cunet is toegepast wordt hiervan een deel afgegraven en vervangen door lichtgewicht materialen. Hierbij wordt aangehouden dat alleen de oude funderingslaag wordt vervangen door lichtgewicht ophoogmaterialen en dus dat het cunet niet nog dieper wordt. Indien er geen cunet is toegepast in de huidige situatie, kan het lichtgewicht materiaal tot een diepte worden aangelegd die beperkt is enerzijds door wat realistisch gezien mogelijk is of anderzijds qua zettingen gezien de meest optimale diepte is.

Een evenwichtsconstructie wordt alleen uitgevoerd in combinatie met een EPS ophoging. Bij het vaststellen van de ontgravingsdiepte dient een veiligheidsfactor te worden toegepast om opdrijven van de constructie te voorkomen. Ook hier geldt dat het belangrijkste aandeel van de ontgraving in de oude wegfundering gelegen moet liggen. In slappe gebieden kan het voorkomen

dat zeer diepe niet realistische ontgravingen nodig blijken te zijn om een evenwichtsconstructie te realiseren. Om dit te voorkomen wordt een maximaal toelaatbare ontgravingsdiepte toegepast.

Bij de eerste reconstructie van een bepaalde variant wordt de keuze gemaakt van het type materiaal dat daarna wordt toegepast voor de verdere ophoogwerkzaamheden. Bij het afwegen van de verschillende varianten zal als referentie altijd een variant met zandophoging te worden uitgevoerd. De alternatieve ophoogmaterialen zullen eveneens in een voorkeuze menu beschikbaar zijn. Daarnaast wordt opgegeven of vastgesteld worden of er een cunet wordt toegepast en zo ja hoe diep dit cunet dient te zijn. Voor een variant met EPS dient een oprijfveiligheid te worden bepaald en te worden getoetst.

### *2<sup>e</sup> en latere reconstructie*

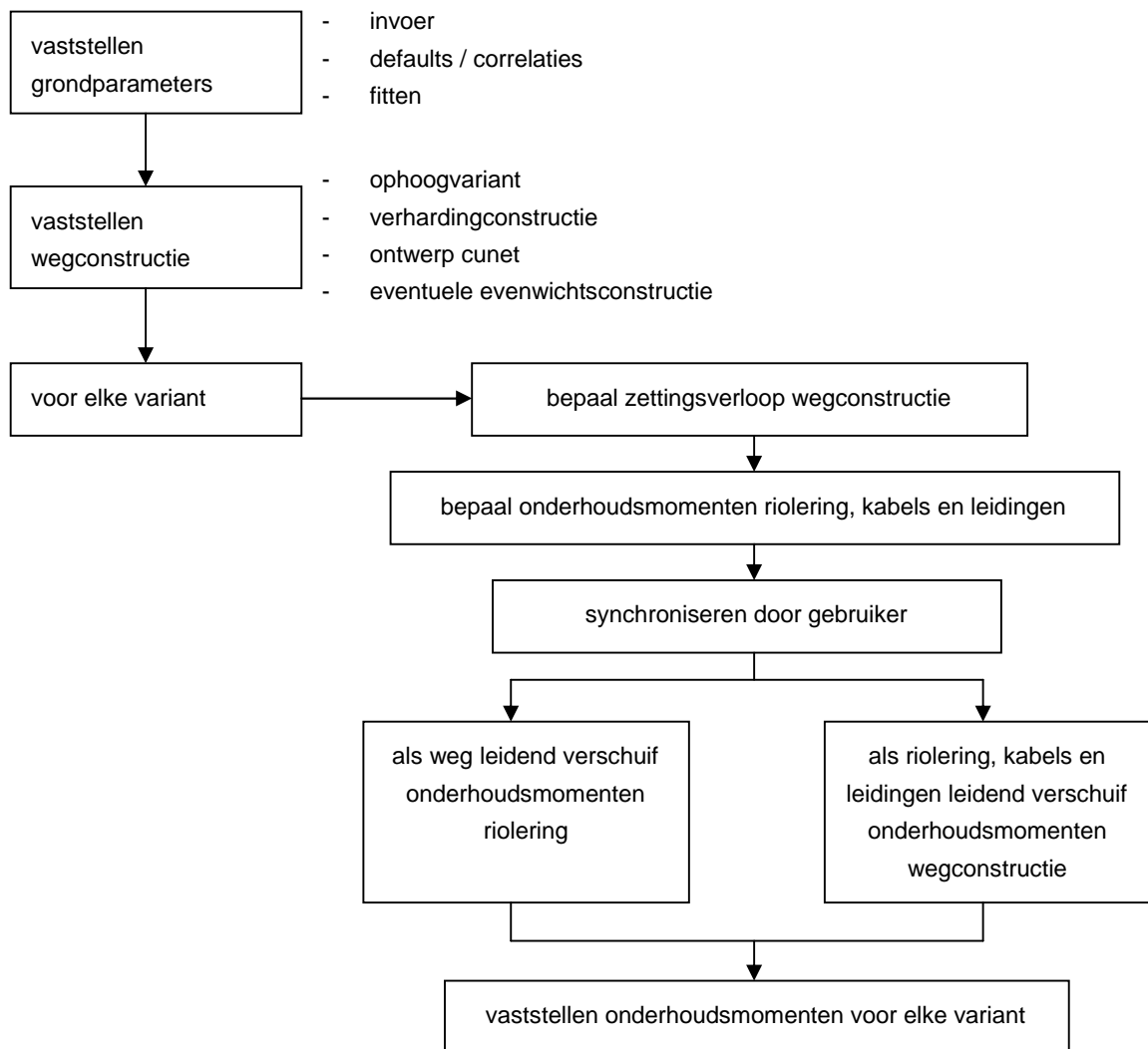
Vervolgens dient te worden vastgesteld wanneer gedurende de beschouwde levensduur de onderhoudsmomenten plaatsvinden. Deze onderhoudsmomenten bestaan enerzijds uit het ophogen van de wegconstructie als deze op het interventieniveau ligt en anderzijds uit het vervangen van de top laag als deze versleten is. Voor het vervangen als gevolg van slijtage worden default waarden aangehouden. Indien beschikbaar moeten gebruikers hier in staat kunnen zijn eigen ervaringswaarden in te vullen. De belangrijkste factor in het bepalen van het benodigde onderhoud zijn de verwachte zettingen. Na het vaststellen van de wegconstructie, het type ophoogmateriaal en het eventueel benodigde cunet is het gewicht van de wegconstructie bekend en kan aan de hand daarvan een zettingsvoorspelling worden uitgevoerd. Hierbij zal telkens, als volgens berekening de wegconstructie op het interventieniveau ligt, weer worden opgehoogd waardoor er een nieuwe belasting op de ondergrond actief wordt. Hieruit volgt voor elk van de uitgewerkte alternatieven een zaagtandverloop.

### *Definitief vaststellen van reconstructiemomenten*

Tot slot dient de interactie tussen onderhoud aan de wegconstructie en de onderliggende infrastructuur (riolering, kabels en overige leidingen) te worden vastgesteld. Als gevolg van zettingen van de wegconstructie zal de onderliggende infrastructuur ook zakken wat onderhoud tot gevolg heeft. De keuze van onderhoudsstrategie heeft dan ook gevolgen voor het benodigde onderhoud aan de kabels en leidingen. Voor de ondergrondse infrastructuur kan in navolging van de wegconstructie ook per riolering, per kabel etc. een zaagtandverloop worden vastgesteld.

Voor een goede vergelijking dienen dan ook de kosten voor onderhoud van kabels en leidingen te worden meegenomen.

Voor een grafische weergave van de opzet van de module onderhoudsstrategie wordt verwezen naar figuur 3.1.



**Figuur 3.1 Opzet ontwerpmodule onderhoudstrategie**

### 3.2. Wegconstructie

Voor het vaststellen van de bovenbouwconstructie wordt gewerkt met een aantal default opties. Allereerst dient de gebruiker aan te geven welke verhardingsconstructie zal worden toegepast. De default opties bestaan uit minimaal een variant met klinkers en een variant met asfalt. Opgemerkt wordt dat niet elke type bovenbouw kan worden gecombineerd met elk type onderbouw. De mogelijke verhardingsconstructies in combinatie met de verschillende materialen moet nog worden vastgesteld. In totaal zullen maximaal 15 default opties worden opgesteld. Deze moeten nog worden vastgesteld.

### 3.3. Zettingen

De kostenafweging tussen de verschillende alternatieven wordt voor een groot deel bepaald door het tijd-zettingsverloop. De betrouwbaarheid van de kostenafweging wordt dan ook voor een

groot deel bepaald door de betrouwbaarheid van de zettingsvoorspelling. De bepaling van het tijd-zettingsverloop dient zo te worden opgezet dat het toepasbaar is in een vroege fase van het ontwerp, dus in een fase waarin er nog weinig gegevens beschikbaar zijn. Tevens dient het programma door een gebruiker die geen specialist is op het gebied van de geotechniek te kunnen worden gebruikt. Dat neemt niet weg dat de optimale variant na afweging van de verschillende voorontwerpen nog steeds de optimale variant moet zijn na het opstellen van het detailontwerp.

Er is bewust gekozen voor het opnemen van een berekeningsmodule voor de zettingen in het afweegmodel. Het alternatief is het werken met standaardprofielen en daarmee met standaardzettingen. Omdat de zettingen de centrale rol spelen in de afweging is het van belang een goede indruk van de verwachte zettingen te krijgen en is er voor gekozen de verwachte zettingen per variant te berekenen. Daarnaast blijft het systeem flexibel (meer flexibel dan bij gebruik maken van een aantal default profielen). Nadeel is wel dat er meer invoer van de gebruiker wordt verwacht. De onderstaande tekst geeft aan hoe dit in het programma wordt verwerkt.

Er wordt een 1D zettingsberekening uitgevoerd die de zetting berekent onder het midden van de wegconstructie. De slappe lagen worden vereenvoudigd tot één laag met equivalente grondeigenschappen zodanig dat de berekende zettingen van deze ene laag de verwachte zettingen van het totale lagenpakket weergeven.

Voor het vaststellen van de equivalente grondeigenschappen zijn drie verschillende mogelijkheden:

*1) beschikbaar archiefmateriaal*

Indien bij het bouwrijp van het terrein een uitgebreide geotechnisch onderzoek heeft plaats gevonden en deze gegevens nog beschikbaar zijn kunnen deze worden toegepast bij het bepalen van de verwachte zettingen.

*2) correlaties en default waarden*

Indien geen betrouwbare gegevens beschikbaar zijn zullen aannamen moeten worden gedaan omtrent grondeigenschappen. De benodigde grondeigenschappen bestaan uit volumiek gewicht, stijfheden, grensspanning en doorlatendheid of consolidatiecoëfficiënt. De stijfheidparameters van grond voor een zettingsberekening hebben goede correlatie met het volumiek gewicht van de grond. Voorgesteld wordt deze correlaties toe te passen. Indien het equivalente volumieke gewicht en een betrouwbare inschatting van de consolidatiecoëfficiënt beschikbaar zijn kan een zettingsvoorspelling worden uitgevoerd. Indien deze niet bekend zijn kan een default waarde worden opgegeven. Voor beiden kunnen op basis van de beschrijving van de ondergrond een redelijke inschatting van deze parameters worden gemaakt. Echter indien alleen op basis van correlaties en default waarden de parameters worden gebaseerd zal in het model het definitief vaststellen van de eigenschappen worden gecombineerd met de onderstaande mogelijkheid 3.

*3) fitten aan waargenomen zettingen*

Als derde optie wordt de optie gemaakt waarin de geschatte en default parameters kunnen worden geoptimaliseerd door het uitvoeren van een ijking aan waargenomen zettingen. Bij de

invoermodule zijn de momenten van ophoging en de grootte van die ophoging in het verleden ingevoerd. Door deze in te voeren als een belasting kan met de geschatte parameters het zettingsverloop, de zaagtand, worden berekend. Vervolgens kunnen de grondeigenschappen worden geoptimaliseerd totdat de berekende zaagtand overeenkomt met de waargenomen zaagtand.

Het succes van deze fitprocedure hangt af van de nauwkeurigheid waarmee de data bekend zijn. Daarnaast is het aantal maal dat er een ophoging is uitgevoerd van belang. Hoe meer ophogingen er in het verleden zijn uitgevoerd hoe eenduidiger de fit kan worden uitgevoerd.

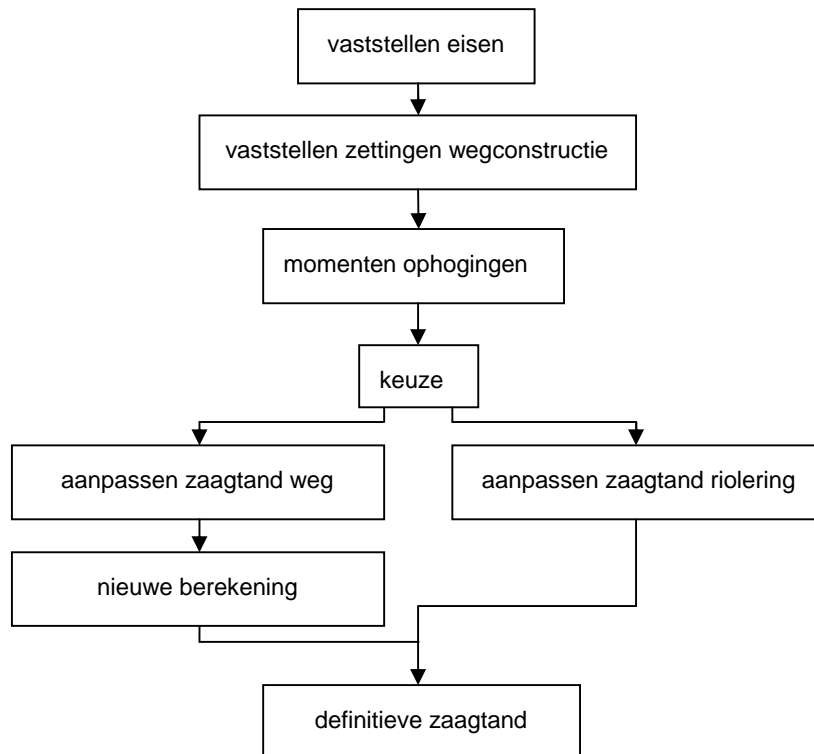
Na het vaststellen van de grondeigenschappen worden de verwachte zettingen voor de verschillende onderhoudstrategieën bepaald. Bij het berekenen van de zettingen dienen de belastingen uit voorgaande fasen als "oude" belastingen te worden meegenomen. Immers de kruip uit de voorgaande perioden is nog niet afgelopen. Dit heeft tot gevolg dat ook een gewichtsneutrale oplossing nog steeds een zetting zal ondergaan.

### **3.4. Kabels en leidingen**

De kabels en leidingen hebben een andere onderhoudscyclus dan de wegconstructie. Dit geldt zowel voor de levensduur van de materialen als voor het verschil in aanlegniveau en interventieniveau. Dit houdt in dat de werkzaamheden aan de weg en aan de leidinginfrastructuur op elkaar afgestemd dienen te worden. Hierdoor kan het zijn dat of de kabels en leidingen of de wegconstructie vroegtijdig vervangen dienen te worden, dus nog voordat hun levensduur of maximaal toelaatbare zetting is bereikt of andersom dat er vroegtijdig onderhoud gepleegd dient te worden aan de weg.

Er zijn vele kabels, leidingen en huisaansluitingen die in een wegconstructie zijn opgenomen. Voor elk van deze kabels, leidingen en huisaansluitingen kan op basis van zettingen en/of technische levensduur een zaagtand worden berekend.

Mede door de eindgebruiker kan een maatgevende zaagtand worden geselecteerd. Vervolgens kan worden bepaald of de kosten per kabel en leiding meegenomen dient te worden of niet. Dit omdat sommige kabels en leidingen eigendom of in beheer zijn van de gemeenten, en overige kabels en leidingen niet. Voor de overige kabels en leidingen kan het wenselijk zijn inzicht te verkrijgen in het onderhoudsregime, echter de kosten hoeven dan niet per se meegenomen te worden. Dit kan overigens wel. Met het verkregen inzicht kan men in gezamenlijk overleg tot afspraken over onderhoudsmomenten komen met andere kabel en leidingen beheerders. Voor de gemeentelijke leidingen, met name de riolering, geldt dat men deze in iedergeval volledig mee wil kunnen afwegen, dus ook de kosten. Er wordt dan gezocht naar een integrale optimale oplossing voor de reconstructie van zowel de weg als de riolering. De werkwijze wordt hierna nader toegelicht in Figuur 3.2.

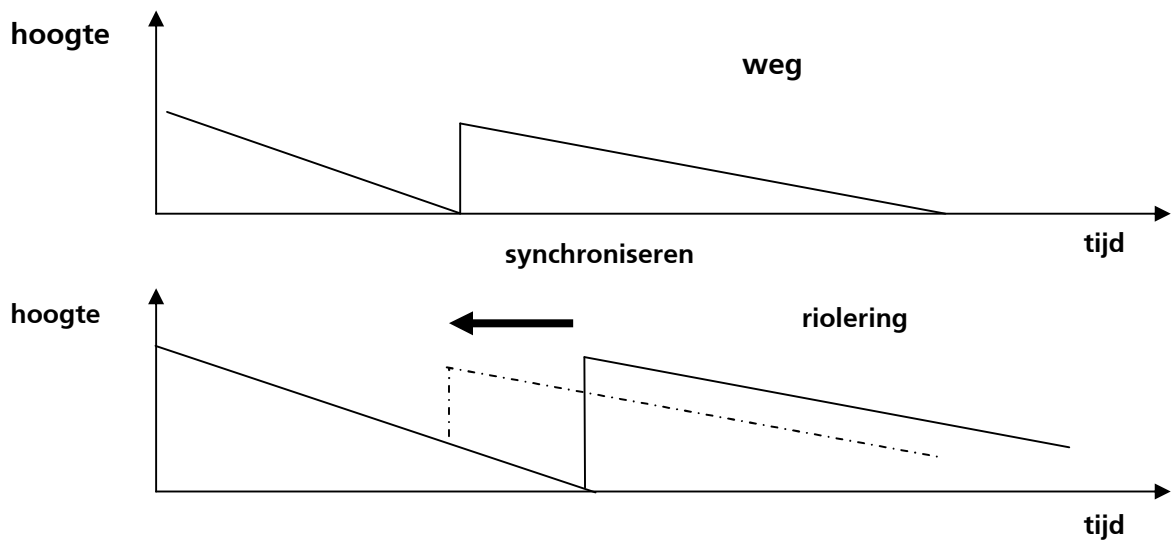


**Figuur 3.2** Uitwerking invloed riolering

Ook voor het vaststellen van het benodigde onderhoud voor de riolering spelen de verwachte zettingen een grote rol. Als alternatief voor de vrijliggende riolering wordt de onderheide riolering als variant mee genomen. Bij een onderheide riolering wordt het funderend effect op de weg niet meegenomen.

Voor de vrijliggende riolering wordt het moment van vervanging bepaald door de levensduur van het materiaal en de maximaal toelaatbare zakking. In de meeste gevallen zal de riolering relatief dicht onder de wegconstructie aanwezig zijn. Aangenomen wordt dat de vrijliggende riolering dezelfde zettingen ondergaat als de wegconstructie. Op basis van de beschikbare zettingsvoorspelling kan worden vastgesteld wanneer de aanwezige leiding zijn maximaal toelaatbare zetting bereikt.

Aan de hand van de reeds uitgevoerde zettingsberekening kan per alternatief de zaagtand van de riolering worden vastgesteld. Vervolgens kan het zaagtandverloop van de weg en van de riolering worden gesynchroniseerd. De momenten van onderhoud van de riolering kan worden vervroegd of de momenten van wegonderhoud kan worden vervroegd. Figuur 3.3 geeft een illustratie van het synchroniseren waarbij de wegconstructie leidend is.



**Figuur 3.3 Synchroniseren van de onderhoud van riolering aan de wegconstructie**

Bij het vervangen van de riolering wordt aangenomen dat de belastingtoename op de ondergrond verwaarloosbaar is. Het moment van het vervangen van de riolering kan dus worden verplaatst zonder dat dit gevolgen heeft voor de berekende zettingen. Indien geschoven wordt met het moment van het ophogen van de wegconstructie, de riolering is leidend, zal een nieuwe berekening moeten worden uitgevoerd. Hiermee verandert de zaagtand en ontstaat er een lus in de procedure voor het vaststellen van de definitieve zaagtand.

### 3.5. Zettingsmodel in het afweegmodel

Er zijn meerdere modellen beschikbaar om de zettingen te berekenen. In het rapport van de 1<sup>e</sup> fase van dit project (Delft Cluster 2003, kenmerk dc1-412-10) is de Asaoka-methode als effectieve extrapolatiemethode genoemd wanneer op basis van zettingshistorie een voorspelling moet worden gedaan. Voor de onderhavige toepassing is deze methode niet geschikt omdat er geen belastingveranderingen in meegenomen kunnen worden.

Naast de Asaoka-methode, zijn ook de methode Terzaghi-Buisman-Koppejan, de abc isotachenmethode en de NEN Bjerrum isotachenmethode beschouwd. Uiteindelijk is gekozen voor het abc-isotachenmodel met de volgende redenen:

- het abc-isotachenmodel is state-of-the-art;
- met het abc-isotachenmodel kan op een meer realistische wijze worden omgegaan met belast-ontlast-herbelast cycli;
- met behulp van het abc-isotachenmodel kan op een meer realistische wijze gerekend worden met herhaaldelijk belasten. De methode Terzaghi-Buisman-Koppejan is hier minder geschikt voor en hier ook nooit voor bedoeld geweest;
- de methode NEN-Bjerrum en abc-isotachen zijn bijna aan elkaar gelijk, met het verschil dat met de methode abc-isotachen de werkelijk optredende zettingen beter

- kunnen worden voorspeld indien het om grote rekken gaat;  
met behulp van het abc-isotachenmodel wordt de kruip beter geformuleerd dan met het model Terzaghi-Buisman-Koppejan. Hierdoor kan een betere voorspelling worden gedaan van te verwachten restzettingen.



## 4. Conclusies

Zoals beschreven in hoofdstuk 2 wordt in de methodiek en systematiek van het KMW model van het CROW geput uit een database van resultaten van zettingsberekeningen, en wordt niet voor elke situatie afzonderlijk een nieuwe zettingsberekening uitgevoerd. Hierdoor neemt de betrouwbaarheid van de zettingsprognose af. Daarnaast zijn voor de zettingsberekeningen ten behoeve van de database een aantal aannamen en vereenvoudigingen toegepast, waardoor de betrouwbaarheid van de zettingsprognose ook afneemt. Naast deze feiten en de overige conclusies gegeven in paragraaf 2.2 is besloten voor het afweegmodel voor het bepalen van de te verwachten zettingen geen gebruik te maken van het bestaande keuzemodel KMW van het CROW.

In plaats daarvan zal gebruik gemaakt worden van de methodiek en systematiek zoals beschreven in hoofdstuk 3. Middels deze methodiek wordt een zettingsberekening uitgevoerd op basis van de beschikbare informatie van een projectlocatie. Deze informatie kan bestaan uit historische data, maar ook uit resultaten van grond- en laboratoriumonderzoek. Hiermee neemt de betrouwbaarheid van de zettingsprognose toe. Er zijn meerdere modellen beschikbaar. Er zal voor het afweegmodel gebruik gemaakt worden van het abc-isotachenmodel. De keuze voor dit model is met name gemotiveerd door het feit dat met het model op een meer realistische wijze kan worden omgegaan met belast-ontlast-herbelast cycli en dat restzettingen beter kunnen worden voorspeld.