

---

# Zettingen bij grootschalige ingrepen in de grondwaterstroming

Willem Jan Zaadnoordijk

Peter Wonink

---

*Grondwaterstandsverlagingen kunnen zettingen van de ondergrond ten gevolge hebben. Deze zettingen zijn één van de effecten van ingrepen in de geohydrologie. Bij studies waarin verschillende alternatieven voor grootschalige ingrepen in de geohydrologie worden vergeleken is het belangrijk om de mogelijk optredende zettingen efficiënt te kunnen bepalen. Daartoe heeft IWACO het programma CONSOL ontwikkeld. CONSOL berekent zowel de zettingen na een bepaalde tijd als de eindzettingen. Het programma is zodanig opgezet dat het tezamen met een model van de grondwaterstroming gebruikt kan worden (bijvoorbeeld een TRIWACO model). CONSOL gebruikt de uitvoer van het model als invoer en berekent daarmee de zettingen in het hele modelgebied. De zettingen kunnen gevisualiseerd worden met de grafische programmatuur van het grondwaterstromingssimulatiepakket. Ook is het mogelijk de resultaten verder te verwerken, bijvoorbeeld in een GIS (Geografisch Informatie Systeem). Voor een denkbeeldige situatie zijn de zettingen berekend met het programma CONSOL. De zettingen zijn het gevolg van een nieuwe grondwateronttrekking, die nabij een rivier gepland is.*

## Inleiding

IWACO voert veel grootschalige hydrologische studies uit. Deze studies lopen uiteen van herinrichtingsplannen voor het landelijk gebied tot milieueffectrapportages voor waterwinning. Een belangrijk aspect in deze studies is het bepalen van effecten die veroorzaakt worden door ingrepen in de geohydrologie. Vooral in het westen en noorden van het land is de daling van het maaiveld één van de belangrijke effecten. De daling van het maaiveld, verder zetting genoemd, wordt veroorzaakt door een daling van de grondwaterstijghoogten in de ondergrond. Bij regionale systemen kan de opbouw van de ondergrond sterk verschillen, waardoor bij verandering van de stijghoogte de grootte van zettingen van plaats tot plaats sterk kan variëren. Daarom moeten zettingen op meerdere plaatsen berekend worden, om een goed beeld te krijgen van mogelijke zettingsschade aan huizen en gebouwen. Bij dergelijke studies moet vaak een groot aantal scenario's vergeleken worden. Dit versterkte de behoefte om zettingsberekeningen te automatiseren en de resultaten ruimtelijk via een GIS op kaarten weer te geven. Deze behoefte heeft geresulteerd in de ontwikkeling van het programma CONSOL.

## Methode

Het programma CONSOL (Zaadnoordijk, 1995) is in eerste instantie opgezet voor gebruik met resultaten van TRIWACO-grondwaterstromingsmodellen (IWACO, 1994). Het combineert de resultaten van een TRIWACO-berekening met de geotechnische parameters opgeslagen in het GIS en berekent vervolgens per TRIWACO-knooppunt de lokale zetting. Het programma CONSOL is dermate flexibel dat ook resultaten van andere programma's gebruikt kunnen worden, bijvoorbeeld Microfem of Modflow. Het programma CONSOL bepaalt de eindzettingen met behulp van de formules van Terzaghi. Zettingen na bepaalde tijd worden uit de eindzettingen afgeleid op grond van verstreken tijd en de bij het specifieke bodemprofiel behorende parameters. Deze parameters worden afgeleid uit het GIS. De veranderingen in de hydrologie worden met het grondwaterstromingsmodel bepaald. Per knooppunt van het (TRIWACO-)grondwater-stromingsmodel wordt vervolgens de zetting berekend. Deze relatief simpele aanpak beantwoordt goed aan het doel om snel de ruimtelijke variatie in mogelijke zettingen te bepalen. Hiermee is het programma CONSOL geworden tot een effectief hulpmiddel voor het bepalen van de effecten van grootschalige geo-hydrologische ingrepen, op de ligging van het maaiveld en de daarvan af te leiden schade aan bebouwing en infrastructuur.

## Theoretische achtergrond

In het programma CONSOL worden de zettingen gebaseerd op de formule van Terzaghi. Deze formule benadert de zetting als een verticale één-dimensionale samendrukking van de grond (zie bijvoorbeeld Verruijt, 1987). De formule van Terzaghi geeft de eindzettingen. Zettingen houden verband met de drukken die optreden in de ondergrond. De onderscheiden drukken zijn de totale grondspanning, de waterdruk en de effectieve spanning. De totale grondspanning is gelijk aan de druk veroorzaakt door de bovenliggende grond:

$$\sigma_t = \sum_{\text{maaiveld}}^{\text{diepte}} [D_i \gamma_i] \quad (1)$$

waarin:

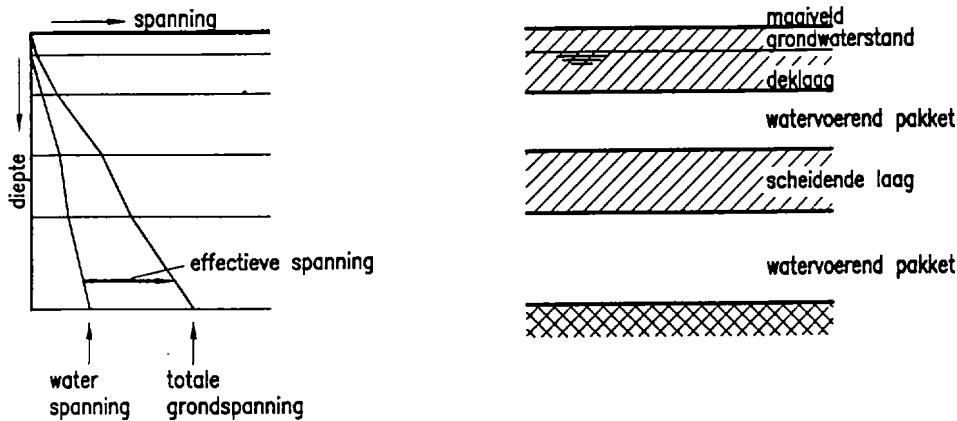
$D_i$	=	dikte van laag $i$	[m]
$\gamma_i$	=	specifiek gewicht van laag $i$	[-]
	=	droog specifiek gewicht boven grondwaterstand	
	=	nat specifiek gewicht beneden grondwaterstand	
$\sigma_t$	=	totale grondspanning op gegeven diepte	[N/m <sup>2</sup> ]

De waterdruk is direct gerelateerd aan de stijghoogte:

$$p_w = \gamma_w (\phi - z) \quad (2)$$

waarin:

$p_w$	=	waterdruk	[N/m <sup>2</sup> ]
$\gamma_w$	=	specifiek gewicht van water	[N/m <sup>3</sup> ]
$\phi$	=	stijghoogte	[m]



Figuur 1: Totale grondspanning , waterdruk en effectieve spanning

$$z = \text{plaatshoogte} \quad [\text{m}]$$

Het verschil tussen de totale grondspanning en de waterdruk is de effectieve spanning (zie figuur 1):

$$\sigma_e = \sigma_t - p_w \quad (3)$$

waarin:

$$\begin{aligned} \sigma_t &= \text{totale waterspanning} & [\text{N/m}^2] \\ p_w &= \text{waterdruk} & [\text{N/m}^2] \\ \sigma_e &= \text{effectieve spanning} & [\text{N/m}^2] \end{aligned}$$

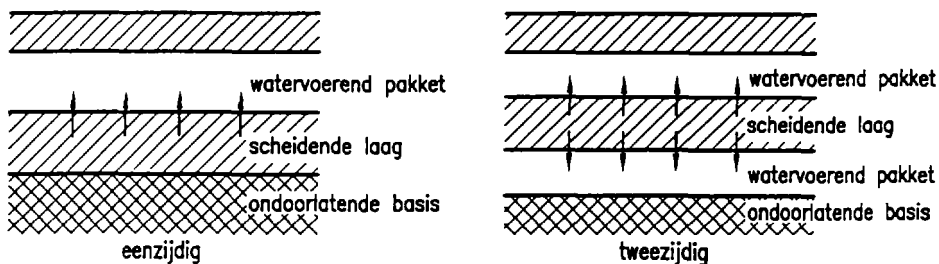
De effectieve spanning is de bepalende factor voor de zetting in de formule van Terzaghi (waarbij log staat voor de natuurlijke logaritme):

$$w_u = \frac{D}{C} \log \frac{\sigma_{e, \text{nieuw}}}{\sigma_{e, \text{oud}}} \quad (4)$$

waarin:

$$\begin{aligned} w_u &= \text{eindzetting per bodemlaag} & [\text{m}] \\ D &= \text{laagdikte} & [\text{m}] \\ C &= \text{consolidatiecoëfficiënt} & [-] \\ \sigma_e &= \text{effectieve bodemspanning} & [\text{N/m}^2] \end{aligned}$$

Als zettingen optreden, zakken de bodemlagen ten opzichte van de grondwaterstand. Dit betekent dat de waterdruk toeneemt en dat dus de effectieve spanning afneemt (zie vergelijking 3). Door deze lagere nieuwe effectieve spanning zal de zetting kleiner zijn dan in eerste instantie is berekend met formule 4. In het programma CONSOL is de mogelijkheid ingebouwd om deze vergelijkingen iteratief toe te passen om zo rekening te houden met deze tweede orde effecten van de zettingen. De wijze waarop de zettingen convergeren naar de eindzettingen wordt beschreven met een empirisch verband dat per bodemlaag wordt



Figuur 2: Eenzijdige en tweezijdige afstroming van scheidende laag

toegepast. Voor een bodemlaag kan het verloop van de zetting in de tijd benaderd worden met de volgende formule:

$$w_t = w_u U(T) \tag{5}$$

waarin:

- $U(T)$  = empirische relatie met argument  $T$  [-]
- $w_u$  = eindzetting [m]
- $w_t$  = zetting op tijdstip  $t$  [m]

De functie  $U$  nadert geleidelijk de waarde 1 voor toenemende waarden van het tijdstip  $t$ , zodat de zetting geleidelijk de eindzetting benadert. Het argument  $T$  van de empirische relatie  $U(T)$  is als volgt gedefinieerd:

$$T = \frac{tk_v}{L_d^2 m_v \gamma_w} \tag{6}$$

waarin:

- $t$  = tijd [d]
- $k_v$  = verticale doorlatendheid [m/d]
- $L_d$  = drainagelengte [m]
- $m_v$  = coëfficiënt [ $m^2/N$ ]
- $\gamma_w$  = specifiek gewicht van water [ $N/m^3$ ]

De waarde van de coëfficiënt  $m_v$  is een functie van de effectieve spanning in de uitgangssituatie. De drainagelengte is een equivalente afstand waarover het water zich moet verplaatsen gedurende het consolidatieproces. Aangenomen is dat het water in de watervoerende pakketten praktisch zonder vertraging wordt afgevoerd. De stroming in de scheidende pakketten is afhankelijk van de opbouw. Bij de traditioneel onderscheiden gevallen van één- en tweezijdige afstroming uit een enkelvoudige scheidende laag (zie figuur 2) is de drainagelengte respectievelijk gelijk aan de gehele en de halve dikte van de scheidende laag. Een andere aanpak is nodig als een scheidende laag uit meer dan 1 bodemlaag is opgebouwd (zie figuur 3). In dat geval wordt voor elke individuele bodemlaag de drainagelengte gelijk gesteld aan de kortste afstand naar een watervoerend pakket, waarbij gecorrigeerd wordt voor verschillen in verticale doorlatendheid. Voor de berekening wordt de to-

tale hydraulische weerstand van de scheidende laag in drieën gesplitst. De weerstand  $c$  is de weerstand van de bodemlaag, waarvan de drainagelengte moet worden bepaald. De hydraulische weerstanden boven en onder die laag worden respectievelijk aangegeven met  $c_a$  en  $c_b$ . De fractie  $f$  bepaalt het deel van de bodemlaag dat opwaarts doorstroomd wordt. De rest wordt neerwaarts doorstroomd:

$$f = \begin{cases} 1 & \left(\frac{1}{2} < \frac{c_b - c_a}{c}\right) \\ \frac{1}{2} + \frac{c_b - c_a}{2c} & \left(-\frac{1}{2} \leq \frac{c_b - c_a}{c} \leq \frac{1}{2}\right) \\ 0 & \left(\frac{c_b - c_a}{c} < -\frac{1}{2}\right) \end{cases} \quad (7)$$

Hiermee is de hydraulische weerstand van het deel van de scheidende laag dat opwaarts doorstroomd wordt gelijk aan:

$$c_1 = c_a + f * c \quad (8)$$

en de hydraulische weerstand van het deel van de scheidende laag dat neerwaarts doorstroomd wordt gelijk aan:

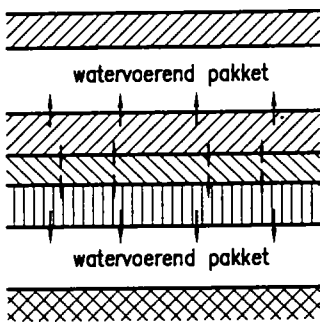
$$c_2 = c_b + (1 - f) * c \quad (9)$$

Deze weerstanden worden parallel doorstroomd zodat de effectieve weerstand gelijk is aan:

$$c_e = \frac{1}{\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2}} \quad (10)$$

waaruit de drainagelengte volgt:

$$L_d = c_e * k_v \quad (11)$$



**Figuur 3:** Samengestelde scheidende laag

De drainagelengte wordt gebruikt in vergelijking 6 om het argument  $T$  van de relatie  $U(T)$  te bepalen. De tijdsafhankelijke zetting wordt dan bepaald uit de eindzetting met vergelijking 5. De op deze wijze verkregen zettingen voor de onderscheiden bodemlagen worden gesommeerd om de maaiveldvaling op het gewenste tijdstip te verkrijgen. De dikte van de bodemlaag waarin de zetting optreedt, speelt een belangrijke rol in het verloop van de zetting. Voor samengestelde scheidende lagen is de equivalente dikte gebruikt, om een goede schatting van het verloop te verkrijgen. Voor deze equivalente dikte is het begrip 'drainagelengte' ingevoerd, die afhangt van de

geometrie van de samengestelde scheidende laag en de verticale doorlatendheden.

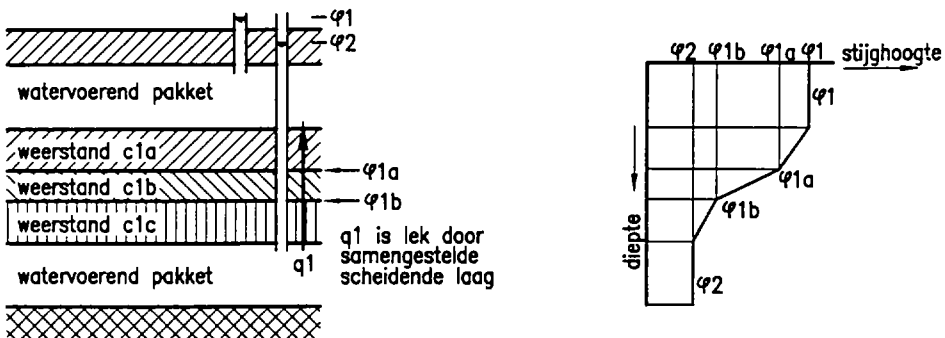
## Werkwijze

De basisgegevens voor het programma CONSOL zijn de resultaten (stijghoogten) van een tweetal simulaties met het grondwaterstromingsmodel en de geotechnische parameters uit het GIS. Het programma CONSOL berekent vervolgens zettingen met behulp van de hiervoor gegeven vergelijkingen voor alle knopen van het grondwatermodel (bij eindige elementen programma's zoals TRIWACO; bij een programma met continu berekende stijghoogten als MLAEM, kiest de gebruiker zelf de punten voor de zettingsberekeningen, bijvoorbeeld met behulp van de in MLAEM ingebouwde optie om in een rechthoekig regelmatig grid de stijghoogten te laten uitrekennen). Dit resulteert in een zeer gedifferentieerd beeld van de zettingen.

Met het hydrologisch model worden voor een tweetal situaties stijghoogten gesimuleerd. De stijghoogten worden berekend in de uitgangssituatie ('oude' stijghoogten waaruit de 'oude' effectieve spanningen bepaald worden) en de situatie waarvoor de zettingen bepaald moeten worden ('nieuwe' stijghoogten die gebruikt worden voor de 'nieuwe' effectieve spanningen). In voorkomende gevallen worden de 'oude' stijghoogten afgeleid uit een in het verleden opgetreden situatie. In dat geval worden de stijghoogten via het GIS gekoppeld aan de knopen van het netwerk.

De geotechnische parameters, waaronder de opbouw van de ondergrond zijn opgeslagen in het GIS. In het programma CONSOL wordt de ondergrond geschematiseerd tot een aantal bodemlagen, waarvan de eigenschappen constant worden verondersteld. De hoogte van de onder- en bovenkant van elke bodemlaag wordt via het GIS toegekend voor elke knoop. De freatische grondwaterstand en de stijghoogte in elk watervoerend pakket wordt uit de modeluitvoer van het hydrologisch model gelezen. Het verloop van de stijghoogten in de scheidende lagen, welke gelegen zijn tussen de watervoerende pakketten, wordt bepaald aan de hand van de verticale doorlatendheden en de dikten van de bodemlagen waaruit de scheidende laag is opgebouwd.

Voor een scheidende laag opgebouwd uit meerdere bodemlagen kunnen de stijghoogten niet direct geïnterpoleerd worden. Eerst wordt de verticale flux door de scheidende laag bepaald. Deze flux is gelijk aan het stijghoogteverschil tussen onder- en bovenkant van dit pakket gedeeld door de gesommeerde weerstand van het gehele scheidende pakket. Met de



Figuur 4: Bepaling stijghoogte in samengestelde scheidende laag

flux en de hydraulische weerstanden van de bodemlagen in het pakket kan vervolgens het stijghoogteverloop in de verticaal bepaald worden (zie figuur 4).

Uit het stijghoogteverloop in de ondergrond wordt het verloop van de waterspanning bepaald (vergelijking 2). Het verloop van de totale grondspanning wordt berekend, door vanaf het maaiveld de specifieke massa van de bodemlagen te integreren in de diepte (vergelijking 1), waarbij rekening gehouden wordt met droog en nat specifiek gewicht respectievelijk boven en onder de grondwaterspiegel(s). Het verschil van waterspanning en totale grondspanning levert de effectieve grondspanning (vergelijking 3).

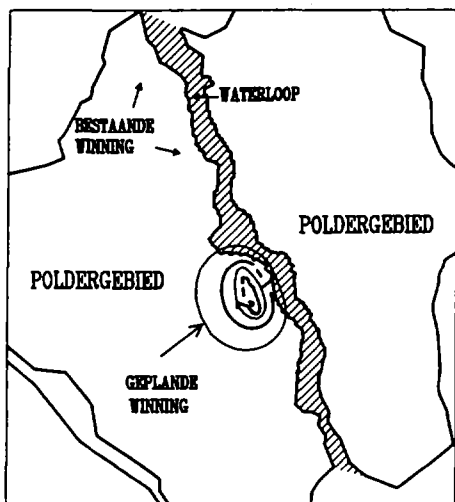
Voor de berekening van eindzettingen wordt elke bodemlaag in een aantal sublagen verdeeld. De waarden van de effectieve grondspanning in het midden van de sublagen waarin elke bodemlaag is onderverdeeld worden bepaald voor de oude en de nieuwe situatie (op grond van de stijghoogten van de oude en nieuwe situatie). Deze worden gebruikt in de formule van Terzaghi (vergelijking 4) om de eindzetting van een sublaag te bepalen.

De zetting per bodemlaag wordt berekend door sommatie van de zetting van de sublagen. De totale maaiveld daling is gelijk aan de som van de zettingen per bodemlaag.

Voor de tijdsafhankelijke zettingen wordt uitgegaan van de bodemlagen (niet van de sublagen). De belangrijkste parameters zijn een coëfficiënt en de drainagelengte. De coëfficiënt voor de tijdsafhankelijke zetting wordt bepaald door de gemiddelde effectieve grondspanning en het bodemtype van de bodemlaag (GD, 1983). De drainagelengte is een effectieve afstand die het water af moet leggen van uit de betreffende bodemlaag naar een watervoevend pakket. In het voorgaande is in detail aangegeven hoe de tijdsafhankelijke zettingen berekend worden uit de eindzettingen. De op deze wijze verkregen zettingen voor de onderscheiden bodemlagen worden gesommeerd om de maaiveld daling op het gewenste tijdstip te verkrijgen.

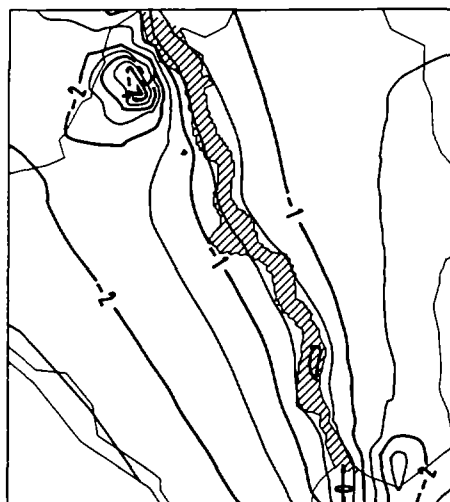
Het programma CONSOL produceert drie uitvoerfiles:

- 1 een log-file (een standaard tekst file) waarin het verloop van de berekening is vermeld. De gebruikte invoerfiles, de daaruit gelezen gegevens en de door het programma gegenereerde waarschuwingen en foutmeldingen. De laatste twee verschijnen ook op het scherm;
- 2 een file met voor elke knoop (elk punt) de berekende eindzetting en zettingen op gespecificeerde tijdstippen. De waarden zijn gegeven in het zogenaamde ADORE formaat (IWACO, 1994). Hiermee kunnen de (grafische) programma's uit het TRIWACO pakket gebruikt worden voor bijvoorbeeld het maken van contour plots (IWACO, 1994). Het is ook mogelijk de ADORE-sets in het Geografisch Informatie Systeem ARC/INFO te importeren, zodat de resultaten gecombineerd kunnen worden met andere informatie (bijvoorbeeld landbouwschade-berekeningen, zettingsschadebepalingen, grondwatertrappen);
- 3 print-file met gedetailleerde uitvoer voor geselecteerde knopen ten behoeve van controle van en inzicht in berekende waarden; alle tussenresultaten zijn vermeld, zodat precies is na te gaan hoe de berekende zettingen tot stand zijn gekomen.




 Berekende lijn van gelijke grondwaterstijg-  
 hoogteverlaging

**Figuur 5:** Locatiekaart met berekende verlagingen voor geplande winning




 Lijn van gelijke grondwater-  
 stijg-  
 hoogte

**Figuur 6:** Isohypsen uitgangssituatie

## Toepassingen en resultaten

Het programma CONSOL is reeds in verschillende projecten toegepast, onder andere milieueffectrapportages voor waterwinningen en optimalisatiestudies van bestaande grondwaterwinningen. De resultaten van de in deze projecten uitgevoerde berekeningen met het programma CONSOL lenen zich niet voor publikatie. Wel kan hier vermeld worden dat in een van de projecten de zettingen die IWACO met CONSOL berekend had, vergeleken konden worden met de zettingen die bepaald waren door een ander adviesbureau. De maximale zettingen per deelgebied stemden goed overeen. CONSOL leverde bovendien een ruimtelijke verdeling van de zettingen (in tegenstelling tot de éne maximale waarde per deelgebied).

In dit artikel wordt derhalve een gefingeerde toepassing gepresenteerd. Deze gefingeerde toepassing omvat zettingsberekeningen ten gevolge van een nieuwe grondwaterwinning nabij een waterloop die een poldergebied doorsnijdt (zie figuur 5). De ondergrond kan geohydrologisch beschouwd worden als een systeem met één watervoerend pakket dat gelegen is onder een afdekkend pakket met een gecontroleerde freatische grondwaterstand (vast polderpeil). Het gecontroleerde peil is gelijk aan 1,75 meter beneden de referentie. De stijghoogten in het watervoerend pakket voor de uitgangssituatie zijn gegeven middels isohypsen in figuur 6. In figuur 5 zijn de berekende verlagingen in de nieuwe situatie gegeven ten opzichte van de uitgangssituatie. De belangrijkste bodemprofielen zijn gepresenteerd in figuur 7, waarbij tevens is aangegeven op welke delen van het model de individuele profielen van toepassing zijn. De gebruikte waarden van de onderscheiden bodemlagen zijn gegeven in tabel 1.



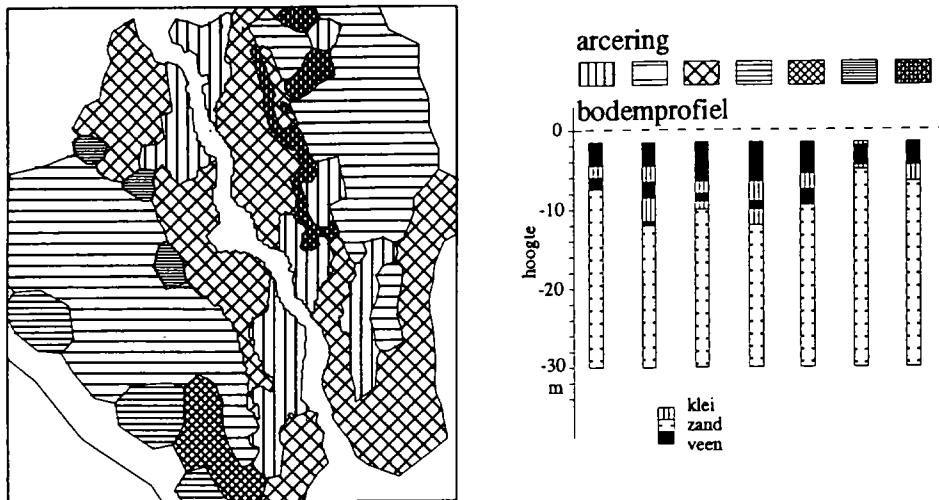
nummer bodemlaag	specifiek gewicht		consolidatie-coëfficiënt	verticale doorlatendheid	grondsoort	watervoerend (1) of afdekkend pakket (0)
	nat kN/m <sup>3</sup>	droog kN/m <sup>3</sup>				
1	16,5	14,5	35	0,002	klei	0
2	10,5	2,0	10	0,017	veen	0
3	16,5	14,5	35	0,002	klei	0
4	10,5	2,0	10	0,017	veen	0
5	16,5	14,5	35	0,002	klei	0
6	10,5	2,0	10	0,017	veen	0
7	20,0	15,0	150	0,432	zand	1

Tabel 1: Parameters van onderscheiden bodemlagen

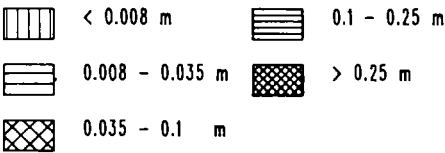
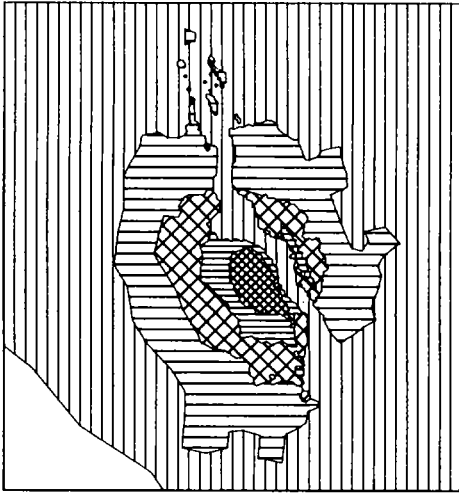
De berekende eindzettingen zijn gegeven in figuur 8. In een gebied met een oppervlak van ongeveer 36 vierkante kilometer zijn voor de eindzetting waarden berekend die groter zijn dan 8 mm. De waarde van 8 mm wordt algemeen aangehouden als de grens waar onder zettingen zeker geen schade aan gebouwen en infrastructuur veroorzaken. Deze waarde is op empirie gebaseerd. De grootste berekende eindzetting is gelijk aan 0,7 meter. Aan de overzijde van de waterloop zijn de eindzettingen maximaal 0,2 meter.

De zettingen na 7 dagen zijn geïllustreerd in figuur 9. Het gebied met waarden boven de 8 millimeter is duidelijk kleiner, ongeveer 25 km<sup>2</sup>. De maximale waarde van de zetting is dan 0,4 meter en de grootste waarde aan de overkant van de waterloop 0,15 meter. Genoemde waarden zijn eenvoudig uit de resultatenfiles te ontleen met behulp van bijvoorbeeld het TRIWACO programma TRIPLOT (IWACO, 1994) dat ook gebruikt is voor het vervaardigen van de figuren 8 en 9.

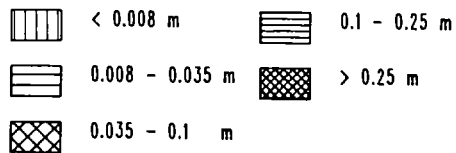
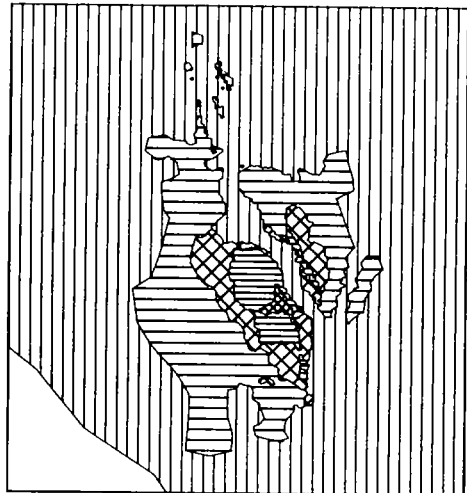
Vergelijking van de figuren 8 en 9 leert dat de gebieden met profiel 2 een relatief grote eindzetting paren aan een geringe zetting na 7 dagen. De deklaag boven het zand van het



Figuur 7: Kaart met belangrijkste profielen



Figuur 8: Kaart met berekende eindzettingen  
CONSOL



Figuur 9: Kaart met berekende zettingen na 7  
dagen

watervoerend pakket bevat onderin dikke kleilagen die de drainage van het water uit de deklaag belemmeren. Ook bij de profielen 7 en 5 is de zetting na 7 dagen erg klein in vergelijking met de eindzetting.

De resultaten van de hier gepresenteerde berekeningen geven een indicatie van de reëel te verwachten zettingen. Dit wordt niet veroorzaakt door onnauwkeurigheden in het model, maar door het feit dat de parameters niet nauwkeurig bekend zijn en bovendien ruimtelijk sterk kunnen variëren. De berekende zettingen zijn daarentegen wel vrij gevoelig voor de waarden van deze parameters. Dergelijke berekeningen kunnen dus alleen gebruikt worden om globaal aan te geven waar wel en waar geen problemen met zettingen te verwachten zijn. Deze berekeningen zijn echter wel uitermate geschikt om alternatieven te vergelijken. Nadat een bepaald alternatief is gekozen zal er op de kritische plaatsen geotechnisch onderzoek uitgevoerd moeten worden, om een betere inschatting te kunnen maken van de te verwachten zettingen.

## Conclusie

Het programma CONSOL is een bruikbaar instrument voor onderlinge vergelijking van effecten van grootschalige hydrologische ingrepen met betrekking tot mogelijke zettingen. Bij alternatievenstudies en milieueffectrapportages is het hierbij een belangrijk voordeel dat de maaiveld dalingen op objectieve en reproduceerbare wijze berekend worden.

Voor in- en uitvoer is gekozen voor het ADORE-formaat, dat ook in het grondwaterstromingspakket TRIWACO gebruikt wordt. Zodoende kunnen alle hulp- en plotprogramma's van TRIWACO gebruikt worden en is de koppeling naar ARC/INFO verzekerd. Het is echter eenvoudig om uitvoer van een ander simulatieprogramma als invoer te gebruiken.

### **Dankbetuiging**

De schrijvers willen hierbij prof.dr.ir. A. Verruijt van de Technische Universiteit in Delft bedanken voor het aandragen van het concept van de drainagelengte bij het berekenen van tijdsafhankelijke zettingen. Aan Ton Slot, André van der Maarel en Carola Hesp van IWACO zijn zij dank verschuldigd voor hun bijdragen aan de tekst en de figuren.

### **Referenties**

- GD** (1983) Invloed aanleg Markerwaard: Tijd-zettingsverloop; CO-242060/305, Grondmechanica Delft, Delft, 1983.
- IWACO** (1994) Manual for TRIWACO version 7.0 A package for the simulation of Groundwater Flow based on the Finite Element Method; IWACO B.V., Rotterdam, October 1994.
- Verruijt, A.** (1987) Grondmechanica, Delftse Uitgevers Maatschappij b.v., Delft, 1987.
- Zaadnoordijk, W.J.** (1995) CONSOL: program for one-dimensional consolidation caused by lowering of piezometric heads; Manual version 5.11, IWACO B.V., Rotterdam, 1995.

De auteurs zijn werkzaam bij:

IWACO B.V.

Adviesbureau voor water en milieu

Postbus 8520

3009 AM Rotterdam

Tel (010) 286 5432 (alg); (010) 286 5599 (WJZ); (010) 286 5595 (PW)

Fax (010) 220 0025