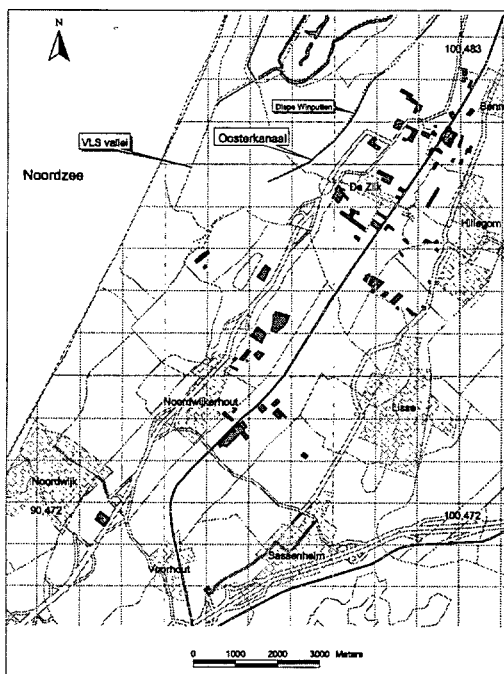

Een kleilaag met gaten?

Naar aanleiding van vernattings schade aan 47 percelen in de Duin- en Bollenstreek in 1997

Theo N. Olsthoorn

Na het winterseizoen 1996/97 bleek op een flink aantal percelen in de Duin- en Bollenstreek, tussen Vogelenzang (NH) en Voorhout (ZH), grote schade te zijn opgetreden aan bloembollen. De oorzaak was verstikking. Deze werd geweten aan zuurstofgebrek, ontstaan door hoge grondwaterstanden (Hagelunie, 1997; LBO, 1997). Sindsdien is een heftige discussie ontbrand over de oorzaak, waarbij steeds naar de Amsterdamse Waterleidingduinen wordt gewezen. In deze duinen is sinds 1995 immers een aantal waterhuishoudkundige maatregelen genomen: In 1995 is 2,5 km van het aan de westkant van het duingebied gelegen Van Limburg Stirumkanaal gedempt. Bovendien werd de onttrekking van het nabij gelegen grondwaterpompstation Noordwijk/Langeveld (DZH) gestopt. Voorts is in 1996 het peil van het 4 km lange Oosterkanaal aan de oostkant van het duingebied verhoogd met 50 cm. Tenslotte werd ook in 1996 de onttrekking vanuit het tweede watervoerende pakket



Figuur 1: Duin- en Bollenstreek met de schadelocaties en winputten.

langs het Oosterkanaal gestaakt. Toen in het voorjaar van 1997, na de 'Elfstedenwinter', duidelijk werd dat er aanzienlijke schade aan het bolgewas was opgetreden, werd logischer wijze direct naar het duin gewezen. In totaal is door 47 bedrijven schade gemeld, welke door de Hagelunie op 6 miljoen gulden is geraamd. De ligging van de schadepercelen in de streek ten opzichte van de genoemde onttrekkingen en kanalen zijn in figuur 1 aangegeven.

Probleem bij de interpretatie was evenwel dat de continueringen tijdens het schadeseizoen, ook die in een perceel met maximale schade, geen enkele verhoging van de freatische grondwaterstand lieten zien. De ogenschijnlijk simpele kwestie bleek derhalve hydrologisch beduidend complexer te liggen dan men op grond van een eenvoudige chronologische opsomming van de gebeurtenissen geneigd is te denken (Olsthoorn, 1997). Er is vervolgens een grote reeks rapporten opgesteld, die elk een bepaald aspect van de hydrologie onder de loep nemen. Eén van die rapporten behelst een analyse van de heterogeniteit van de scheidende laag tussen het freatische en het tweede watervoerende pakket. Hierover gaat dit artikel.

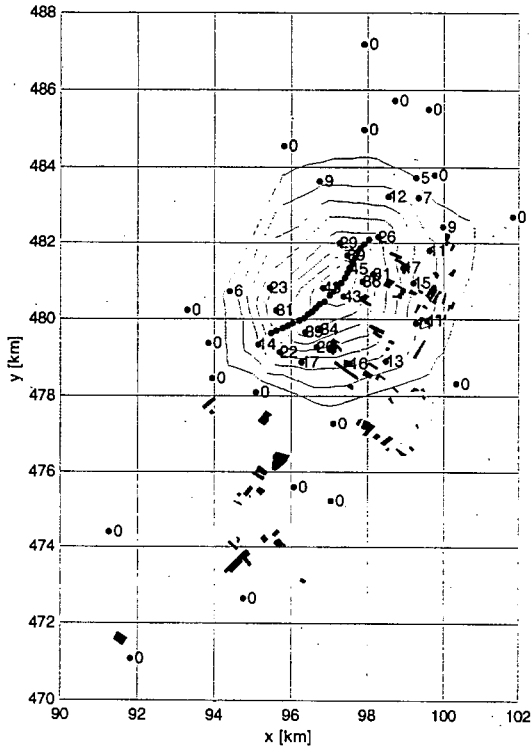
Bodemopbouw

Voor dit artikel kan de ondergrond ter plaatse worden verdeeld in een freatisch pakket tot NAP -12 m, waarin zich buiten het duin de goed ontwaterde bollenvelden bevinden, een tweede watervoerend pakket (WVP) tussen NAP -16 en -65 m en een derde WVP tussen NAP -70 en -130 m. De scheiding tussen WVP's twee en drie wordt gevormd door de Formatie van Kedichem, waarvan de weerstand ter plekke van de putten blijkt de metingen verwaarloosbaar is. Hierdoor functioneren deze twee diepe pakketten voor de pompproef als één geheel. Deze worden verder vaak 'het diepe pakket' genoemd. De scheiding tussen het freatische en het tweede WVP wordt gevormd door de basis van het Holoceen, vaak intern als 'de kleilaag' aangeduid. Dit is de laag die bepalend is voor de lek en infiltratie in de streek en de invloed van het duin op de omgeving. Het is deze laag die voortdurend is discussie is en ook in dit artikel centraal staat.

Pompproef en reikwijdte

Een belangrijk punt van onderzoek was het ruimtelijke bereik van genoemde maatregelen. Om deze vast te stellen is in 1997 gedurende 16 dagen een pompproef uitgevoerd (Leunk e.a., 1998). Hierbij werd met 25 putten tegelijk gepompt. Al deze putten liggen langs het Oosterkanaal en hebben een filter in het tweede watervoerend pakket, dat zich tussen NAP -16 en -65 m bevindt. De stijghoogten en grondwaterstanden werden op 91 plekken continu gemeten met vast opgestelde druksondes en peilbuisloggers. Hiervan bevonden zich 44 in het freatische pakket en 47 in de twee diepere pakketten. Het door de computer gegenereerde verlagingenbeeld van het diepe pakket is weergegeven in figuur 2, samen met de 47 schadelocaties en de gelogde waarnemingsfilters met de daarin bepaalde eindverlaging.

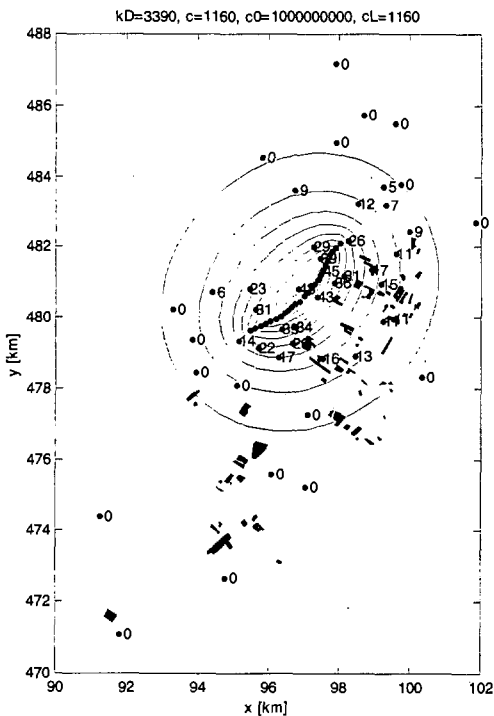
De stijghoogteverlaging in de diepere pakketten blijkt na circa 5 dagen zijn eindwaarde te hebben bereikt. De zakking in het freatische pakket bleek binnen de termijn van de pompproef overal nul; zij was in elk geval zo klein, dat zij niet uit de continu gemeten tijdreeks kon worden gedestilleerd. Voorts bleek dat de weerstand van de Formatie van



Figuur 2: Eindverlagingen in het diepe pakket (WVP2) in cm, de 25 onttrekkingsputten langs het Oosterkanaal, contourlijnen op basis van deze verlagingen om de 5 cm en de schadelocaties. Coördinaten volgens standaard Topografische Dienst.

Kedichem tussen het tweede en derde watervoerende pakket in de omgeving van het Oosterkanaal verwaarloosbaar is. Dit laatste maakte het mogelijk om de pompproof te interpreteren met de formule van De Glee op basis van de stationaire eindverlagingen in het diepe pakket en vast peil in het freatische pakket. Deze interpretatie levert het doorlaatvermogen van het diepe pakket en de weerstand van de scheidende laag, de basis van het Holoceen op ca. NAP -12 tot -16 m. De resultaten waren na de handkalibratie respectievelijk 3600 m²/d en 1250 d (Leunk e.a., 1997) en na mathematische optimalisatie 3390 m²/d en 1160 d.

Uiteraard is bij deze interpretatie uitgegaan van een homogene weerstand van de scheidende laag aan de basis van het Holoceen. De vraag is echter in hoeverre in de praktijk sprake is van een homogene of heterogene laag. Een veronderstelling ten aanzien van de tamelijk willekeurige verspreiding van de schadepercelen zou immers kunnen zijn, dat de schade is veroorzaakt door lekken in deze kleilaag, zodat juist bij deze schadepercelen een onverwacht grote verhoging van de freatische grondwaterstand is opgetreden omdat daar de weerstand gering is.



Figuur 3: Contouren om de 5 cm van de met de gekalibreerde bodemconstanten berekende verlagingen, meetwaarden in cm. De analytische berekening overschat de verlagingen in de zuidwesthoek.

Vanuit de geologie gezien ligt de veronderstelling van een uniforme weerstand van de basis van het Holoceen niet direct voor de hand. Er zouden bijvoorbeeld best geulstructuren aanwezig kunnen zijn waar de laag is weggeërodeerd en de weerstand navenant geringer is.

Vanuit de hydrologie kan men zich dan natuurlijk afvragen of een dergelijke heterogeniteit van de scheidende laag ook blijkt uit de metingen. Andere pompproeven in de omgeving gaven niet direct aanleiding om een substantiële heterogeniteit te veronderstellen. Zo had een pompproef op 1 km ten westen van het Oosterkanaal respectievelijk $kD = 2900 \text{ m}^2/\text{d}$ en $c = 1475 \text{ d}$ opgeleverd (Bruggeman, 1992). Een andere pompproef, bij de Zilk, op ca. 1 km afstand ten oosten van het Oosterkanaal, leverde destijds een weerstand op van 1300 d (Pomper, 1971).

In het navolgende zullen we onderzoeken in hoeverre op grond van de huidige pompproef sprake zou kunnen zijn van significante heterogeniteit van de scheidende laag.

Aanpak

We veronderstellen voor deze analyse dat de schade zal zijn veroorzaakt door een gat in de kleilaag bij elk van de schadepercelen, zodat daar de freatische grondwaterstand merkbaar zou zijn gestegen bij verhoging van de diepe stijghoogte. De vernattende ingrepen in het

duin kunnen immers alleen via het diepe pakket tot ver in de zeer goed ontwaterde bollenstreek doorwerken.

De grootte van de gaten wordt gelijk genomen aan de grootte van de schadepercelen. Binnen zo'n gat wordt verondersteld dat de weerstand lager is dan elders in het gebied. We nemen gemakshalve aan dat deze gatweerstand in alle gaten gelijk is. We stellen nu een model op voor de stationaire grondwaterstroming onder een afdekkende homogene laag waarin op een aantal plekken een gat zit. Vervolgens kunnen we zien hoe laag de weerstand van de gaten kan zijn voordat we deze bij de pompproof zouden hebben ontdekt. Hiernaast kunnen we de pompproof interpreteren/kalibreren inclusief de gaten, waarbij de 'gatweerstand' een apart te ijken parameter is.

Het watervoerend pakket wordt oneindig uitgestrekt en homogeen verondersteld. De afdekkende kleilaag heeft een weerstand c [T]. In deze laag bevinden zich cirkelvormige gaten waarbinnen de weerstand lager is, namelijk c_1 [T]. Boven de kleilaag wordt een vaste stijghoogte gelijk aan nul gehandhaafd; de stijghoogteverandering in het watervoerende pakket ten gevolge van de pompproof is gelijk aan $\phi(x,y)$ [L].

De differentiaalvergelijking luidt:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = \frac{\phi}{kDc} = \frac{\phi}{\lambda^2}$$

kD [L^2/T] = doorlaatvermogen

$c(x,y)$ [T] = de weerstand van de afdekkende laag.

De spreidingslengte $\lambda(x,y)$ [L] is gelijk aan \sqrt{kDc} .

We stellen de oplossing van deze differentiaalvergelijking samen door superpositie van de invloed van de pompputten en van de lek door de gaten in de kleilaag. De oplossing dient zodanig te zijn dat de stroming naar de putten en tegelijkertijd de lek binnen en buiten de gaten juist is. In de veronderstelling dat de radius van de gaten veel kleiner is dan de spreidingslengte, vatten we de gaten op als (retour)putten met een straal gelijk aan die van het gat. De opbolling binnen de gaten verwaarlozend, stellen we de stijghoogteverandering binnen een gat gelijk aan die op hun rand. Met deze vereenvoudigingen is de stationaire stijghoogteverandering in het pakket ten gevolge van de pompputten als volgt (De Glee):

$$\phi_k = \sum_{i=1}^N \frac{Q_i}{2\pi kD} K_0\left(\frac{r_{ik}}{\lambda}\right) + \sum_{j=1}^M \frac{Q_j}{2\pi kD} K_0\left(\frac{r_{jk}}{\lambda}\right) \text{ met } \lambda = \sqrt{kDc}$$

Hierin loopt de eerste sommatie over de N pompputten en de tweede over de M gaten waarvan het debiet Q_j [L^3/T] vooralsnog onbekend is. Het debiet Q_i is de debietsvergroting door een gat ten opzichte van de situatie zonder gat. De index i is verwijst naar een put, de index j naar een gat. De index k duidt een willekeurige plek in het gebied $\phi_k = \phi(x_k, y_k)$. Q is een infiltratie; een onttrekking is negatief.

De vergelijking van De Glee garandeert dat de lek v [L/T] overal voldoet aan

$$v = -\frac{\phi}{c}$$

Binnen een gat is de weerstand c_L . De lek binnen een gat voldoet dus aan:

$$v = -\frac{\phi}{c_L} = -\frac{\phi}{c} - \frac{\phi}{c_o}, \text{ met } c_L = \frac{cc_o}{c_o + c} \text{ en } c_o = \frac{cc_L}{c - c_L}$$

c_o is hierbij slechts een rekgrootheid ($0 \leq c_o \leq \infty$), die nergens in het veld kan worden aangetroffen. Als c_o heel klein wordt, geldt $c_L \approx c_o$, wordt c_o heel groot, dan geldt $c_L \approx c$, (= geen gaten).

Door invoering van c_o wordt deze lek in een gat opgesplitst in een tengevolge van de c -waarde die overal buiten de gaten aanwezig is, en een ten gevolge van de afwijking daarvan in de gaten. Voor de eerste zorgt de vergelijking van De Glee, voor de tweede zorgen de volumestromen door de gaten.

De extra lek door een gat bedraagt:

$$v_j \approx -\frac{\phi_j}{c_o} \rightarrow Q_j \approx -\frac{\pi R_j^2 \phi_j}{c_o}$$

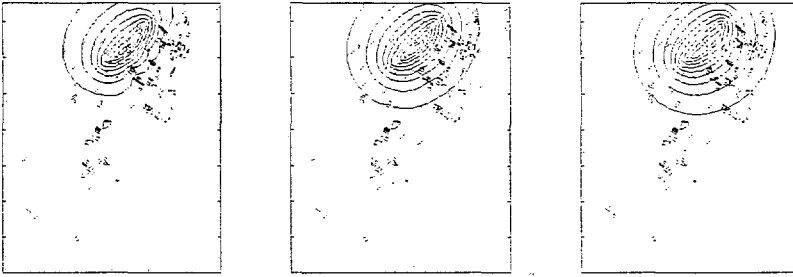
Waarin v_j de extra lek [L/T] door het gat j , en Q_j de totale extra volumestroom door het gat [L³/T]. ϕ_j is de gemiddelde (maar nog onbekende) stijghoogte in het gat, R_j de effectieve straal van het gat en c_o de weerstandscorrectie, welke in principe per gat anders kan zijn. Na invulling in (1) en herschikking zodanig dat de onbekende stijghoogten links en de bekende invloed van de pomputten rechts komen, krijgen we:

$$\phi(x_k, y_k) + \sum_{j=1}^M \frac{R_j^2 \phi_j}{2kDc_o} K_0\left(\frac{r_{jk}}{\lambda}\right) = \sum_{i=1}^N \frac{Q_i}{2\pi kD} K_0\left(\frac{r_{ik}}{\lambda}\right) \text{ met } r_{ik} \geq \rho_j \text{ en } r_{jk} \geq R_j$$

Hierin is r_{jk} de afstand van gat j tot het punt (x_k, y_k) en r_{ik} de afstand van put i tot dit punt. Door voor (x_k, y_k) nu achtereenvolgens de locatie van elk van de gaten in te vullen krijgen we M vergelijkingen met M onbekende gatstijghoogten ϕ_j , ($j = 1 \dots M$). Dit stelsel kan worden opgelost, waarna de stijghoogte in elk gat en dus ook de extra volumestroom door de gaten, Q_j , bekend zijn. Hiermee zijn alle volumestromen bekend en kan met de eerste vergelijking de stijghoogte op elke plek worden uitgerekend, waarna contourlijnen kunnen worden getekend.

Zichtbaarheid van gaten in het verlagingenpatroon

Door verschillende waarden voor c_o in te vullen kan het effect van eventuele gaten in de kleilaag worden onderzocht op het berekende verlagingenbeeld en vergeleken met dat van de pompproef. Hierbij blijkt dan dat een weerstand ter plekke van de 76 schadepercelen van meer dan 100 d de vorm van de verlaginglijnen weinig verandert en dus niet in het oog zou zijn gesprongen bij de uitwerking van de pompproef. Een weerstand in de gaten van minder dan 100 dagen zou het verlagingenbeeld echter zodanig veranderen, dat dit direct zou zijn opgevallen en bij de uitwerking van de pompproef betrokken (figuur 4).



Figuur 4: Schadelocaties in de Duin- en Bollenstreek gemodelleerd als gaten in de slecht doorlatende basis van het Holoceen met berekende verlaginglijnen van 5 tot 50 cm met stappen van 5 cm, voor drie waarden van de weerstand van de gaten bij een onttrekking van 8400 m³/d met 25 putten.

Kalibratie

Tegen de getoonde aanpak kan als bezwaar worden aangevoerd, dat de met De Glee gekalibreerde kD - en c -waarde door de aanwezigheid van gaten ongeldig zijn en de ijking opnieuw zou moeten worden uitgevoerd, waarbij de weerstand van de gaten als afzonderlijke parameter wordt meegenomen. Ik heb de ijking dan ook als zodanig uitgevoerd. Hierbij blijkt dat voor het doorlaatvermogen, kD , en de weerstand van de kleilaag, c , dezelfde waarden te worden gevonden als zonder gaten, terwijl de optimale weerstand c_0 naar oneindig loopt. Dit laatste impliceert dat de gatweerstand gelijk mag worden genomen aan die in de rest van het gebied, dus $c_L = c$. De kalibratie met de gatweerstand als extra vrijheidsgraad toont dus aan dat de kleilaag zonder gaten de beste overeenkomst levert met de metingen. De resultaten hiervan zijn in figuur 3 gegeven, samen met de gemeten verlagingen.

Conclusies

Op basis van het uitgevoerde hydrologisch onderzoek is er geen aanleiding om een substantiële heterogeniteit van de weerstand biedende laag aan de basis van het Holoceen te veronderstellen c.q. dat de schade het gevolg zou zijn van lokale lekken daarin. Ook de andere in de omgeving uitgevoerde pompproeven wijzen in die richting. Gaten met een weerstand van minder dan 100 dagen zouden zonder meer zijn herkend zijn aan een afwijkend verlagingenpatroon. Gaten met een weerstand van meer dan 100 dagen geven weliswaar een op het oog vergelijkbaar verlagingenpatroon, maar de lijnen zijn verschoven. Hierdoor leiden deze gaten toch tot afwijkingen met de metingen en zouden ze bij de uitgevoerde kalibratie naar boven komen.

Men zou ook grof als volgt kunnen redeneren: het patroon van de gemeten verlagingen is min of meer cirkelvormig. Cirkelvormige verlagingen zijn nu eenmaal het resultaat van een homogene scheidende laag.

Literatuur

- Bruggeman, G.A. (1992)** Analyse van pompproeven Leiduin t.b.v. een diepinfiltratiesysteem; rapport van G.A.Bruggeman, raadgevend ingenieur, Groenekan.
- Hagelunie (1997)** Deskundigenrapport Bollenschade 1997; Hagelunie N.V., Leidschendam.
- LBO (1997)** Waterschade in de bollenteelt; bijdrage aan Dossier Bollenschade 1997, Laboratorium voor Bollenonderzoek, Lisse.
- Leunk, I., P.T.W.J. Kamps en T.N.Olsthorn (1998)** Pomp- en Stopproef Oosterkanaal, 16 juli tot 18 augustus 1997; Gemeentewaterleidingen, Hydrologie, 980528, 4 pag + ca. 100 bijlagen.
- Olsthorn, T.N. (1997)** Schade aan de bollen in het winterseizoen 1996–1997; speurtocht naar de oorzaak; Gemeentewaterleidingen, Hydrologie, 971117, 48 pag.
- Pomper A.B. (1971)** Hydrologische consequenties van waterwinning uit de nieuwe waterwinputten in de Zilker Polder bij Hillegom; Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen, ICW Rapport 671.