
Vernatting door verzoeting

Cees van den Akker

Inleiding

In de afgelopen jaren werd langs de binnenduinrand in Zuid- en Noord-Holland vernatting geconstateerd. Ook op grotere afstand van de duinen, tot op enkele kilometers, werd door tuinders en bollenkwekers geklaagd over vernatting van hun landerijen. Dit proces van vernatting is, naar zeggen van de kwekers, al sinds vijftien of twintig jaar gaande. De vernatting wordt gezien als een mogelijke oorzaak van opgetreden gewasschade. Op luchtfoto's is de schade, door verkleuring van het gewas, herkenbaar aanwezig. De schade neemt een dusdanige omvang aan dat om een aantal redenen onderzoek naar de oorzaak van de vernattingschade gewenst is.

In de eerste plaats is er uiteraard de belangrijke vraag wie of wat de problematiek veroorzaakt. Daarnaast is het belangrijk de onderliggende processen te kennen zodat, indien dat gewenst wordt geacht, gericht ingegrepen kan worden. Uiteraard is daarna de schuldvraag relevant in verband met eventuele financiële claims.

In dit artikel zal worden ingegaan op enkele aspecten van de hydrologische situatie die mogelijk kunnen bijdragen aan het begrijpen van lokale hydrologische processen. Wellicht dat hiermee een plausibele verklaring kan worden gegeven van de door de kwekers signaleerde vernatting. In dit artikel wordt alleen een hydrologisch proces toegelicht. Er is geen gebruik gemaakt van meetgegevens ter plaatse van de problematiek. De gebruikte parameterwaarden en schematisatie van de werkelijkheid zijn gebaseerd op de hydrologische ervaring van de auteur. Het artikel is daarmee dan ook bedoeld om een discussie over de problematiek los te maken, waarbij in een later stadium het gebruik van goede meet- en onderzoekgegevens noodzakelijk is om een stevige kwantitatieve onderbouwing te geven.

De historische hydrologische situatie

Tot het midden van de negentiende eeuw werd er in de duinen niet of nauwelijks water gewonnen. Ook waren de duinen breder dan nu omdat de oude duinen nog niet of veel minder waren afgegraven. Waar nu de duinenrug nog 3 of 4 km breed is, is dat in die tijd zeker 5 of 6 km geweest. Het gebied was grotendeels een infiltratiegebied waarbij de natuurlijke grondwaterstanden beduidend hoger waren dan nu het geval is. Dit geldt voor de thans nog aanwezige duinstrook en geldt zeker voor het gebied dat is afgegraven en waar thans een beheerste grondwaterstand wordt aangehouden die lager is dan N.A.P.

Prof. dr. ir. C. van den Akker is werkzaam aan de Technische Universiteit Delft, Faculteit der Civiele Techniek en Toegepaste Geowetenschappen, Sectie Hydrologie en Ecologie, Delft, telefoon (015) 278 13 77.

In de oorspronkelijke situatie, met de hoge grondwaterstanden ten gevolge van de natuurlijke aanvulling, is er een geohydrologische situatie geweest waarbij een bepaalde zoet/zout-watervedeling aanwezig was. Bovenin was het zoete water aanwezig, waaronder een overgangszone van 5 à 10 meter waarin het zoutgehalte met de diepte toenam van circa 50 mg Cl⁻/l tot circa 16.000 mg Cl⁻/l en daaronder het zoute water.

Dit systeem was in een (dynamisch) evenwicht en wordt in de literatuur uitvoerig beschreven op basis van fysische wetmatigheden.

De situatie van midden negentiende tot midden twintigste eeuw

De tweede helft van de negentiende eeuw kenmerkt zich door het feit dat in grote delen van het duin het grondwater werd gewonnen met behulp van kanalen en drains. Het gevolg was een daling van de grondwaterstand en een vermindering van de natuurlijke aanvulling naar de zoetwaterlens. Dit zal hebben geleid tot een vermindering van de schuifstroom langs het zoet/zout-grensvlak en dat had als gevolg dat een dikkere overgangszone ontstond. Bovendien werd rond de eeuwwisseling het winnen van diep water met behulp van putten in gang gezet, wat eveneens heeft geleid tot een dikkere brakwaterzone en wellicht ook een hogere zoutwatergrens.

Tijdens deze hydrologische ontwikkelingen is begonnen met de afgraving van het binnenduin en de waterhuishoudkundige beheersing van dat gebied. Belangrijk is het daarbij te bedenken dat dit werd gedaan met als randvoorwaarden de winning van grondwater en de zoet/zout-verdeling die toenmaals aanwezig waren. Het ligt dan ook voor de hand om te veronderstellen dat het niveau van afgraving werd afgestemd op de aanwezige waterhuishoudkundige toestand en de heersende grondwaterstanden. In een later stadium heeft, omdat de grondwaterstand te diep werd door toenemende onttrekkingen, op een aantal plaatsen een additionele afgraving plaatsgevonden.

Is hier wellicht bewust of onbewust gezocht naar een optimale situatie ten behoeve van de landbouw waarbij het niveau van afgraven aan de waterhuishoudkundige toestand en grondwaterstanden werd aangepast?

Vast staat dat in het midden van de twintigste eeuw een hydrologisch systeem aanwezig was waarbij winning (freatisch en diep), de zoet/zoutverdeling in de ondergrond, de waterhuishoudkundige beheersing en de grondwaterstanden een goede bedrijfsvoering door de tuinders en bollenkwekers mogelijk maakten.

De situatie vanaf het midden van de twintigste eeuw

Algemeen werd onderkend dat het winnen van te veel zoet water uit de duinen op den lange duur zou leiden tot een onacceptabele verbrakking en omhoog komen van het zoute grondwater. De gemaakte plannen om tot kunstmatige infiltratie van voorgezuiverd rivierwater over te gaan, werden in uitvoering genomen. In de eerste decennia werd de winning van diep grondwater uit de zoetwaterbel nog voortgezet, doch allengs groeide het besef dat deze winning uit een oogpunt van handhaving of liever nog van een weer groter wordende zoetwaterlens, ongewenst was. Eind jaren zeventig werd de diepe winning sterk teruggebracht en thans is deze vrijwel nihil.

Doel was hierbij uiteraard een herstel van de oorspronkelijke dikte van de zoetwaterlens en een reductie van de sterk toegenomen overgangszone met brak water. Doordat de winning en kunstmatige aanvulling meer met elkaar in evenwicht zijn gebracht, heeft er over het algemeen in het duingebied een verhoging van de grondwaterstand plaatsgevonden. Ook door een verhoging van het waterpeil in enkele drainerende kanalen is een hogere grondwaterstand in de naaste omgeving gerealiseerd. Overigens heeft het terugdringen van de diepe onttrekkingen tot op heden weinig resultaat gehad met betrekking tot het herstel van de zoetwaterlens in verticale zin.

Oorzaken van vernatting

Vernatting manifesteert zich in hogere grondwaterstanden en/of toenemende kwel. Het ligt voor de hand om in eerste instantie de oorzaak te zoeken in een stijghoogteverandering ten gevolge van het stoppen van onttrekkingen. Deze stijghoogteveranderingen kunnen op lokale en regionale schaal optreden. Veelal worden de veranderingen in stijghoogte berekend met numerieke modellen waarbij de hydrologische schematisering en de bodemparameters uiteraard van belang zijn. Afhankelijk van de geohydrologische situatie, waarbij doorlaatvermogens, hydraulische weerstanden en dus spreidingslengten van belang zijn, kunnen de grondwaterstand en de kwel worden berekend. Voor de binnenduinrand zijn deze berekeningen uitgevoerd, waarbij het effect is bepaald van het stopzetten van diepe winningen en het verhogen van kanaalpeilen. Volgens een berekening zijn de effecten slechts tot op geringe afstand (orde van grootte van honderden meters) aanwezig.

Een tweede mogelijke oorzaak voor vernatting is het handhaven van hogere polderpeilen. Er zijn echter geen veranderingen in polderpeilen doorgevoerd in de afgelopen tientallen jaren. Hiermee is deze mogelijke oorzaak van de vernatting niet erg waarschijnlijk.

Een derde mogelijkheid die de vernatting kan bevorderen is een zich wijzigende zoet/brak/zout-waterverdeling in de ondergrond. In het navolgende wordt nader op dit verschijnsel ingegaan.

Drukverdeling en grondwaterstanden in een watervoerend pakket

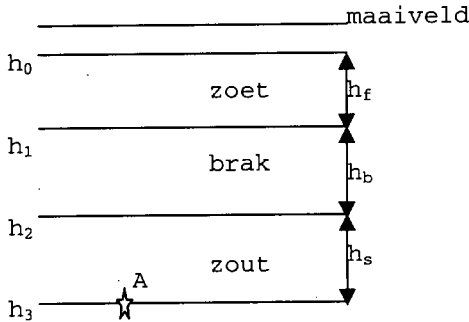
Indien in een watervoerend pakket horizontale stroming aanwezig is met in de verticaal zoet, brak en zout water geldt de volgende drukverdeling:

De waterdruk in het zoete pakket is ter plaatse van de overgang zoet-brak:

$$p_f = \rho_f \cdot g \cdot h_f$$

De drukkijdrage in de verticaal door het brakke water is:

$$p_b = \int_{h_1}^{h_2} \rho_b \cdot g \cdot dh$$



Figuur 1: Schematische weergave ondergrond

De drukkijdrage in de zoute laag is:

$$p_s = \rho_s \cdot g \cdot h_s$$

Veronderstel dat de dichtheid van het zoete water constant is ($\rho_f = 1000 \text{ kg/m}^3$) en dat eveneens de dichtheid van het zoute water constant is ($\rho_s = 1025 \text{ kg/m}^3$). De totale druk die in de verticaal wordt opgebouwd is daarmee ter plaatse van punt A in het zoute water:

$$p_{\text{tot}} = \rho_f \cdot g \cdot h_f + \int_{h_1}^{h_2} \rho_b \cdot g \cdot dh + \rho_s \cdot g \cdot h_s$$

Stel dat het verloop van de dichtheid ρ_b in de brakwaterzone lineair is:

$$\rho_b = g \int_{h_1}^{h_2} \left[\frac{\rho_s - \rho_f}{h_2 - h_1} \cdot (h - h_1) + \rho_f \right] dh = g \left(\frac{\Delta \rho}{h_b} \cdot \frac{1}{2} h_b^2 + \rho_f \cdot h_b \right) = g \left(\frac{\Delta \rho}{2} \cdot h_b + \rho_f \cdot h_b \right)$$

Dus de totale druk ter plaatse van punt A:

$$p_{\text{tot}} = \rho_f \cdot g \cdot h_f + g \cdot h_b \left(\frac{\Delta \rho}{2} + \rho_f \right) + \rho_s \cdot g \cdot h_s$$

De hydrologische situatie ter plaatse van de binnenduinrand

Stel de duinen zijn 4 km breed en neem aan dat de natuurlijke aanvulling van het grondwater voor de helft in oostelijke en voor de helft in westelijke richting stroomt. De natuurlijke aanvulling wordt geschat op 1 mm/dag (365 mm/jaar). Stel dat het watervoerende pakket waarin de stroming plaatsvindt in oostelijke richting 100 m dik is. Dan is de volumestroomdichtheid in dit pakket:

$$v = \frac{2000 \cdot 0,001}{100} = 0,02 \text{ m/dag.}$$

De werkelijke snelheid in het pakket, dat homogeen wordt verondersteld, is dan (indien de porositeit $\frac{1}{3}$ is):

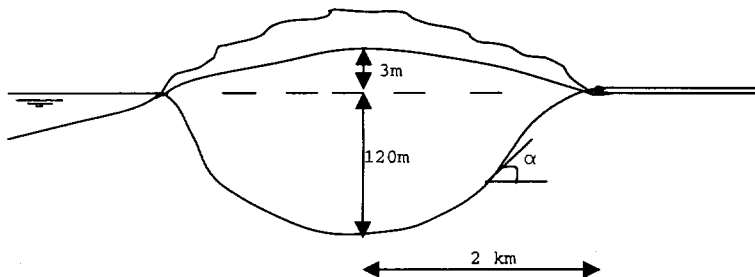
$$v = \frac{0,02}{0,33} = 0,06 \text{ m/dag.}$$

Dit komt neer op circa 20 m per jaar.

In het watervoerende pakket is een zoet/brak- en zout-waterverdeling aanwezig die sterk is beïnvloed door hydrologische ingrepen in het duin en waterhuishoudkundige maatregelen in het gebied.

Door het terugdraaien van diepe onttrekkingen en het herstel van de natuurlijke voeding zal een verdringingsproces plaatsvinden van de brakwaterzone en zal ook het zoute water worden weggedrukt. Dit zal overwegend in horizontale zin plaatsvinden.

De tangens van de aanwezige hellingshoek in het voorkomen van brak en zout grondwater van west naar oost is gemiddeld $\frac{120}{2000}$. Dit betekent dat ter plaatse van de binnenduinrand de helling in de orde grootte van $\text{tg } \alpha = \frac{1}{25}$ tot $\frac{1}{40}$ is (zie figuur 2).



Figuur 2: Zoetwaterbel in de duinen

Hierbij is er vanuit gegaan dat de grootste dikte van de zoetwaterlens circa 120 m is. De volgende aannamen worden nu gedaan:

- horizontale stroming (Dupuit-aanname);
- druk in het zoute water verandert niet.

Stel dat ter plaatse van de binnenduinrand en ook verder in oostelijke richting de hydraulische gradiënt in het watervoerend pakket in de orde van 1 meter per 500 meter is. De doorlatendheid wordt geschat op $k = 10$ m/dag. Dit resulteert in

$$v = -k \cdot \frac{d\phi}{dx} = -10 \cdot -\frac{1}{500} = \frac{1}{50} \text{ m/dag}$$

$$v_a = \frac{v}{n} = \frac{1/50}{0,33} = 0,06 \text{ m/dag}$$

Dit stemt overeen met het resultaat dat eerder was berekend op basis van de natuurlijke aanvulling. In 20 jaar betekent dit een verplaatsing van het grondwater van $20 \cdot 365 \cdot 0,06 = 438 \text{ m}$. Indien we als gradiënt in de zoet/brak-watervedeling $\text{tg } \alpha = 1/40$ nemen dan resulteert dit in een verplaatsing van het grensvlak in verticale zin van $400 \cdot 1/40 = 10 \text{ m}$.

De schuifstroom, indien een scherp grensvlak aanwezig zou zijn, is

$$\Delta v_s = \frac{K}{\mu} (\rho_s - \rho_f) g \cdot \sin \alpha$$

waarbij

$$\frac{K}{\mu} = \frac{k}{\rho_f g}$$

Hierin is:

$$\begin{aligned} K &= \text{intrinsieke doorlatendheid} \\ \mu &= \text{dynamische viscositeit} \end{aligned}$$

dus

$$\Delta v_s = \frac{k}{\rho_f} (\rho_s - \rho_f) \sin \alpha$$

als

$$\begin{aligned} k &= 10 \text{ m/dag} \\ \mu_f &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\ \mu_s &= 1025 \text{ kg/m}^3 \\ \sin \alpha &= 0,02499 \end{aligned}$$

geeft dit een schuifstroom

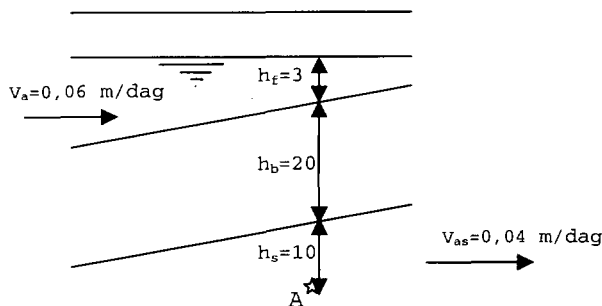
$$[\text{wat ontbreekt hier?}] v_s = 10/1000 \cdot 25 \cdot 0,02499 = 0,00625 \text{ m/dag}$$

$$\text{dus } [\text{wat ontbreekt hier?}] v_a = 0,00625/0,33 = 0,018744 \approx 0,019 \text{ m/dag.}$$

Gezien de geringe helling van het grensvlak geeft de schuifstroom een goede indicatie van de horizontale snelheidsverschillen. Dit betekent dat de snelheid in het zoute water $v_{as} = 0,06 - 0,019 \approx 0,04 \text{ m/dag}$. Dus de snelheid in het zoute water bedraagt circa $2/3$ van de snelheid van het zoete grondwater. Dit houdt in dat de horizontale verplaatsing van het brak/zout-grensvlak is $20 \cdot 365 \cdot 0,04 = 292 \text{ m}$. Dit komt overeen met een verticale verplaatsing van $292 \cdot 1/40 = 7,3 \text{ m}$, afgerond 7 meter.

Stel nu dat in een bepaalde situatie een zoetwaterlens van 3 m en een brakwaterzone van 20 m aanwezig is. De berekende verplaatsing zal doorwerken in de zoetwaterstijghoogte en de volgende berekening kan worden gemaakt. We nemen een arbitrair punt A in het zoute water, bijvoorbeeld op 10 m diepte onder het brak/zout-grensvlak (zie figuur 3).

De druk ter plaatse van A:



Figuur 3: Zoet/brak/zout-grensvlak

$$p_a = 1025 \cdot g \cdot 10 + g \left(\frac{25 \cdot 20}{2} + 1000 \cdot 20 \right) + 1000 \cdot g \cdot 3$$

$$\frac{p_a}{g} = 10250 + 250 + 20000 + 3000 = 33500 \text{ kg/m}^2$$

Na 20 jaar wordt

$$h_s = 10 - 7 = 3 \text{ m}$$

en $h_b = 20 - 10 + 7 = 17 \text{ m}$

$$p_a = 335000 \cdot g = 1025 \cdot g \cdot 3 + g \cdot 17 \left(\frac{25}{2} + 1000 \right) + 1000 \cdot h_f \cdot g$$

$$\Rightarrow h_f = \frac{33500 - 3075 - 17212,5}{1000} \approx 13,21 \text{ m}$$

Dit betekent dus een stijghoogtetoeename van $13,21 - 3 - 10 = 0,21 \text{ m}$. Dit houdt in dat een stijghoogtetoeename van enkele decimeters niet moet worden uitgesloten.

Uiteraard is hiermee niet berekend hoe de stijghoogtetoeename zich 'vertaalt' naar het freatische vlak. Immers door de afsluitende werking van minder goed doorlatende lagen kan het effect op de grondwaterstand minder groot zijn. Echter een verhoging van grondwaterstanden en een toename van kwel of afname van infiltratie is zonder twijfel opgetreden.

Naschrift

Ten aanzien van de aanname dat de druk in het zoute water niet verandert valt nog het volgende op te merken. De hele redenering staat of valt met deze aanname. Het is niet zonder meer mogelijk te bewijzen dat de druk niet verandert. Het lijkt mij echter zeer plausibel dat in ieder geval de druk niet lager wordt. Er worden immers onttrekkingen uit bedrijf

genomen die aanwezig waren in het pakket waarvoor de aanname werd gemaakt. Deze onttrekkingen zullen er voor gezorgd hebben dat de stijghoogte en daarmee de druk lager was dan sinds de onttrekkingen uit bedrijf waren genomen. Het ligt daarmee voor de hand te veronderstellen dat de druk eerder is toegenomen in de loop der tijd dan afgenomen. Dit betekent dat de berekening van de stijghoogte in het zoete water een resultaat oplevert dat aan de lage kant zal liggen.