

31545.0168

Bergend vermogen in het afvoeronderzoek

ir. W.C. Visser

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUWBegripsbepaling

In de theorie van de niet gestage stroming heeft het begrip van het bergend vermogen zijn meest veelvuldige toepassing gevonden en heeft het zijn vorm gevonden. Hoewel bekend is dat het bergend vermogen een ingewikkelde grootheid is, werd het voor deze stromingsberekeningen vereenvoudigd tot wat in dit vakgebied een aanvaardbaar minimum van ingewikkeldheid mocht worden geacht. Men heeft het bergend vermogen in de formules ingevoerd als een constante, een zinvolle vereenvoudiging, die het mogelijk maakte de formules op te lossen. Deze constante werd gevonden door de neerslag te berekenen, die een eenheid van grondwaterstijging veroorzaakte. Hierbij is echter van belang dat de regen in de grond vertraagd tot afstroming komt, ^{zodat} niet zo gemakkelijk valt vast te stellen bij welke bui een bepaalde waterstandsstijging hoort. Ook de grondwaterstand kan beïnvloed worden door anomalieën als het Lisse-effect, waardoor waterstandsstijgingen worden gemeten, die ten aanzien van de afvoer wel van betekenis zijn, maar waaruit niet volgt dat er regenwater aan de grondwaterspiegel is toegevoerd. Tussen de hoeveelheid regen en de uitgeoefende druk op de bodemlucht bestaat geen eenvoudig verband en de verhoudingen tussen neerslag en grondwaterstijging hebben met het bergend vermogen weinig te maken. Om tot hanteerbare begrippen te komen, werden voor de niet gestage stroming deze effecten buiten beschouwing gelaten.

In andere delen van de hydrologie is men tot andere beschrijvingen van het bergend vermogen gekomen, eveneens met eigen vereenvoudigingen. Bij de analyse van de grondwaterstandsveranderingen beschikte men over de neerslag, de verdamping en de grondwaterdiepte als verklarende grootheden en werd het bergend vermogen als functie van deze veranderlijken beschreven. Hierbij bleek dat het bergend vermogen afneemt bij stijgende waterstand en grotere vochtstroom.



127 200 506 20

In het onderzoek van de capillaire eigenschappen van de grond wordt het bergend vermogen uit vochtspanning, vochtstroom, tijd en capillaire eigenschappen van het monster verklaard. Hier wordt getracht de vereenvoudigingen tot een minimum te beperken, maar ook bij deze studies zijn vereenvoudigingen nodig om tot een oplossing te kunnen komen. Elk gebied van studie heeft blijkbaar zijn eigen vereenvoudigingen ingevoerd, afhankelijk van de invloed op het resultaat en de hanteerbaarheid van de vereenvoudigde berging bij gebruik.

Voor het afvoeronderzoek is het niet van het grootste belang hoe het bergend vermogen beheerst wordt door vele factoren, maar welke vereenvoudigingen men mag invoeren zonder de essentiële punten, waarop de berekening zich richt, bij de vereenvoudiging eveneens kwijt te raken.

Voor het afvoeronderzoek maakt het bergend vermogen deel uit van een complex van effecten als vertraging van de afstroming en afvlakking van de ongelijkheden in de toevoer, welke tijdelijke toe- en afname van de vocht-hoeveelheid in een bepaald doorstroomd traject als gevolg hebben. In plaats van de berging treden daarbij dan vochtvoorraad, stromingssnelheid, potentiaal of potentiaal verval en de tijd na het ingaan van de niet gestage toestand als veranderlijken op. De mogelijkheid van het veranderen van de stromingsintensiteit met gelijktijdig vullen van een door lucht ingenomen ruimte door water - de berging dus - vindt men bij het afvoeronderzoek op twee plaatsen en wel in het open water en in de capillaire zone. Deze beide onderling zeer verschillende vormen van berging kunnen als volgt worden verduidelijkt.

Open waterberging

Het is in Nederland een veel voorkomende gedachte, dat bij beekafvoer de open waterberging van weinig belang is. Men kan berekenen dat deze berging nauwelijks 1 mm van de regen kan opnemen. De statische beschouwing van de berging speelt hierbij parten bij een redenering, die te veel aanleunt bij wat in een polder in veel sterkere mate geldt, namelijk dat de hoeveelheid van de berging het belangrijkste is. Bij de beekafvoer zijn de vertraging en demping van de afvoergolf van het meeste belang en dus het aspect van de berging, dat in hoeveelheid per tijdseenheid wordt uitgedrukt. En het zal duidelijk zijn dat een beperkte verhoging van het beekpeil voor de afvoer een grote betekenis heeft. Het verschil met de ondergrondse afvoer, waar een flinke toename van de berging maar een beperkte toename van de afvoer geeft, zal duidelijk zijn.

Hoe de berging in de beek de hoogte van de afvoergolf beïnvloedt, wordt het duidelijkste wanneer men de uitrekking van de afvoergolf in aanmerking neemt.

Wanneer langs de gehele beek op het zelfde moment een gelijke kortduren de afvoergolf in de beek binnen stroomt, dan zal de tijdsduur, nodig om dit water door de beek af te doen stromen tot het dwarsprofiel waar men de afvoer wenst te kennen, evenredig zijn met de looptijd van de afvoergolf door de beek. Van een punt nabij het dwarsprofiel zal het water snel bij het dwarsprofiel aankomen, van het punt bij de bron van de beek zal het water later door het dwarsprofiel stromen naarmate dit dwarsprofiel verder van de oorsprong van de beek ligt. En naarmate de afvoergolf meer wordt uitgerekt zal de demping groter worden. De afvoercoëfficiënt moet dus afhankelijk zijn van de looptijd van de afvoergolf in de beek, dus van de lengte van de beek en daarmee van de grootte van het bovenliggend stroomgebied. De afname van de hoogte van de afvoercoëfficiënt wordt wel in verband gebracht met de ongelijkheid van de regen, maar dit is maar een van de oorzaken. De open berging heeft een invloed, die zekere trekken gemeen heeft met het effect van de regenverdeling.

Mag men dit looptijdeffect berging noemen? Het zal duidelijk zijn dat het hier gaat om een afvlakking van de toevoergolf tot een gedempte afvoergolf. Het verschil wordt tijdelijk in de beek geborgen en kan klein zijn, omdat bij toenemende berging ~~toenemende~~^{door} toenemende waterdiepte de afvoercapaciteit van de beek snel toeneemt en het verschil in toe- en afvoer spoedig wordt beperkt. Waar verder een afvoergolf maar enkele uren duurt, waarin b.v. 5 mm water wordt afgevoerd, kan de ene mm open waterberging toch nogal wat invloed op de demping hebben.

Het blijkt echter dat uit het complex van effecten als vertraging, demping, uitrekking en berging de grondwaterstromingsstudie de berging als voor die studie meest spectaculaire eigenschap naar voren haalde. Men moet echter bedenken dat het hier om een breder verschijnsel gaat. Bij het afvoeronderzoek is de demping de meest spectaculaire eigenschap. Het zou aanbeveling verdienen een term in te voeren, die het geheel van de vertraging- en bergingsverschijnselen in een enkel woord samenvatte.

De profielberging

Bij de profielberging is de demping, uitrekking en vertraging, die de regenintensiteit bij omvorming tot de afvoer ondergaat, zo groot dat men deze verhouding

eigenlijk niet meer als belangrijk beschouwt. De nadruk komt daardoor te liggen op het tijdelijk vasthouden van het water met speciaal de nadruk op de stijging van de grondwaterstand als maat voor de berging. Een eenvoudig beeld daarbij is dat door deze stijging, als ware het een waterstandsstijging in een reservoir, ^{waarby} een hoeveelheid water wordt geborgen gelijk aan de luchtinhoud van de grond boven de grondwaterspiegel, vermenigvuldigd met de waterstandsstijging. In werkelijkheid is de toestand ingewikkelder en kan men vier aspecten van de berging onderscheiden. Zie fig. 1.

- A. Het niet-capillaire bergend vermogen is het bergend vermogen, dat in grotere spleten en gangen gelocaliseerd is. In deze gangen treedt de eenvoudige toestand als in een reservoir op, waar het water wordt geborgen in het volume van de gang, dat door de stijging onder water is geraakt. Dit bergend vermogen hangt van de omvang van de spleten af en wordt meestal groter naarmate de grondwaterspiegel het maaiveld dichter nadert.
- B. Het statisch bergend vermogen wordt beheerst door de vochtverdeling in het profiel bij volkomen evenwicht en afwezigheid van elke stroming. Deze vochttoestand komt overeen met wat men met de desorptie- of pF-curve bepaalt. Bij evenwicht moet de capillaire zuigspanning bij toename van de hoogte met een eenheid evenveel toenemen als de vochtkolom over deze eenheid aan tegenkracht uitoefent. Een toename van de zuigspanning gaat gepaard met een afname van het vochtgehalte en op deze wijze ontstaat een naar boven afnemend vochtgehalte. Hoe kleiner nu de afstand tussen maaiveld en grondwater is, hoe hoger wordt het vochtgehalte in de bouwvoor en hoe kleiner het luchtgehalte. Stijgt het grondwater met een eenheid, dan zal er een hoeveelheid vocht geborgen kunnen worden gelijk aan het vochtgehalte aan het maaiveld maal de eenheid van stijging. Het bergend vermogen neemt af bij stijgende grondwaterstand en wordt nul wanneer de bovenkant van de verzadigde capillaire zone het maaiveld bereikt. Het grondwater heeft daarbij het maaiveld nog niet bereikt te hebben, een bijzonderheid die als Wieringermeer effect bekend is.
- C. Het bergend vermogen bij gestage stroming treedt op wanneer een bepaalde constante vochtstroom, kleiner dan de doorlaatfactor, ononderbroken in het profiel afzakt. De stroming vereist een bepaald potentiaal verval, dat op het potentiaal verval bij afwezigheid van stroming gesuperponeerd wordt. De verlaging van de potentiaal gaat samen met een toename van het vochtgehalte en een afname van het luchtgehalte. Hoe sterker de neerwaartse stroom is, hoe groter potentiaal verval en hoe hoger vochtgehalte zal op-

treden. Hoe dieper de grondwaterspiegel voorkomt, hoe lager het vochtgehalte zal zijn. Boven een zekere grondwaterdiepte echter wordt het vochtgehalte en dus het bergend vermogen steeds meer constant. Deze diepte hangt af van het capillair geleidingsvermogen, de sterkte van de vochtstroom en enkele capillaire bodemconstanten. Het bergend vermogen is wederom gelijk aan het vochtgehalte aan het maaiveld.

- D. De ongestage berging is het volume aan voordien luchthoudende poriën dat tijdelijk wordt ingenomen door een golf afzakkend water, welke geleidelijk vervormt tot een vochtprofiel bij gestage stroming. Plasvorming zou men een bijzonder geval mogen noemen van deze ongestage capillaire stroming. Terwijl de statische berging van de grondwaterdiepte afhankelijk is en de gestage berging van de grondwaterdiepte en de stroomsterkte afhankelijk, komt hier nog een tijdafhankelijkheid bij. Bij vele gronden neemt deze ongestage berging tot onbelangrijkheid af in één tot twee dagen, maar langere duur kan voorkomen wanneer het capillaire geleidingsvermogen klein is.

Het onderscheiden van deze vier vormen van vochtberging zou de indruk kunnen wekken dat ze onafhankelijk van elkaar zouden zijn en als additieve grootheden bij elkaar zouden kunnen worden opgeteld. Dit is echter niet het geval. In de mathematische uitdrukking komt tot uiting dat de verschillende bergingsfuncties uit elkaar kunnen worden afgeleid, maar dat de samenhang niet gemakkelijk te vereenvoudigen valt.

De mathematische weergave

De mathematische weergave streeft er naar een verband te leggen tussen het vochtgehalte of het luchtgehalte, de vochtstroom, de vochtpotential of grondwaterdiepte en de tijd. Deze formules moeten toestaan alle aspecten als berging, demping, uitrekking en vertraging naar wens uit te rekenen. De moeilijkheden bij deze berekeningen spruiten voort uit de moeilijk hanteerbare relaties, die bij capillaire stromingen bestaan tussen de potentiaal, de doorlatendheid en het doorstroomde oppervlak van de met vocht gevulde capillairen, welke relaties veelal niet expliciet zijn te krijgen. Een oplossing van de continuïteitsvergelijking is dan ook alleen mogelijk na vrij straffe vereenvoudigingen.

Het gelukke Rijtema een interessante ongestage oplossing te verkrijgen, die op een twee lagen profiel toepasbaar is. Daar alle noodzakelijke veronderstellingen tot lineaire betrekkingen moesten worden vereenvoudigd, leverde de oplossing de gebruikelijke e-functie op. Hier ligt de betekenis van de oplossing niet, maar het zijn de combinaties van capillaire- en stromingsconstanten die tot nieuwe complexen worden verzameld en als parameters in de e-functie optreden, die een nieuw inzicht in de betekenis van de bodemeigenschappen verschaffen. Er bestaan aanwijzingen, dat de e-functie een te geleidelijke overgang van de dalende tak van de curve naar de horizontale afvoerstaart geeft en dus de afvoergolf te lang uitrekt.

Quasi ongestage oplossingen werden door Visser afgeleid, maar omdat die voor routinegebruik te gecompliceerd zijn, werd de oplossing tot een nomogram samengevat. Bij deze quasi ongestage stromingsformules wordt, naar bekend is, het afzakkende vochtfront van een plotselinge regenbui buiten beschouwing gelaten. Met deze vereenvoudiging scheidt men ruimte voor een nauwkeuriger verantwoording van de capillaire eigenschappen van het profiel.

In deze formules worden effecten van korstvorming en bovengrondse afvoer als gevolg daarvan buiten beschouwing gelaten. Verder worden bevochtigingsweerstand en luchtdisorptie verwaarloosd en worden stromingen volgens andere wetten dan de diffusievergelijking niet aanvaard. In gevallen waar het vochtgehalte uit het gebied van gehalten lager dan het evenwichtsvochtgehalte naar hogere vochtgehalten overgaat, valt nog niet te overzien of hiervoor oplossingen mogelijk zijn. Het lijkt mogelijk dat zich hier onbepaalde toestanden kunnen voordoen behalve en boven die welke als hysteresis reeds bekend zijn.

De betekenis van het bergend vermogen bij het bepalen van de afvoercoëfficiënt zal in sterke mate afhangen van de mate waarin de oppervlakte afvoer aandeel heeft in de totale afvoer van het land op de beek. In hoeverre ingeval van afwezigheid van oppervlakte-afvoer de gecompliceerde profielberging van belang is voor de afvoercoëfficiënt zal afhangen van de relatieve betekenis van de open waterberging en de profielberging. Ten aanzien van de invloed van de open waterberging op de afvoer van een beek is in Nederland minder gedaan dan ten aanzien van de andere facetten van de grondwaterstroming, zodat de bergingsproblematiek vanuit dit oogpunt nog niet voldoende kan worden overzien. Dit wel te onderscheiden van de invloed van de open waterberging bij polders, die mathematisch wel reeds werd onderzocht.

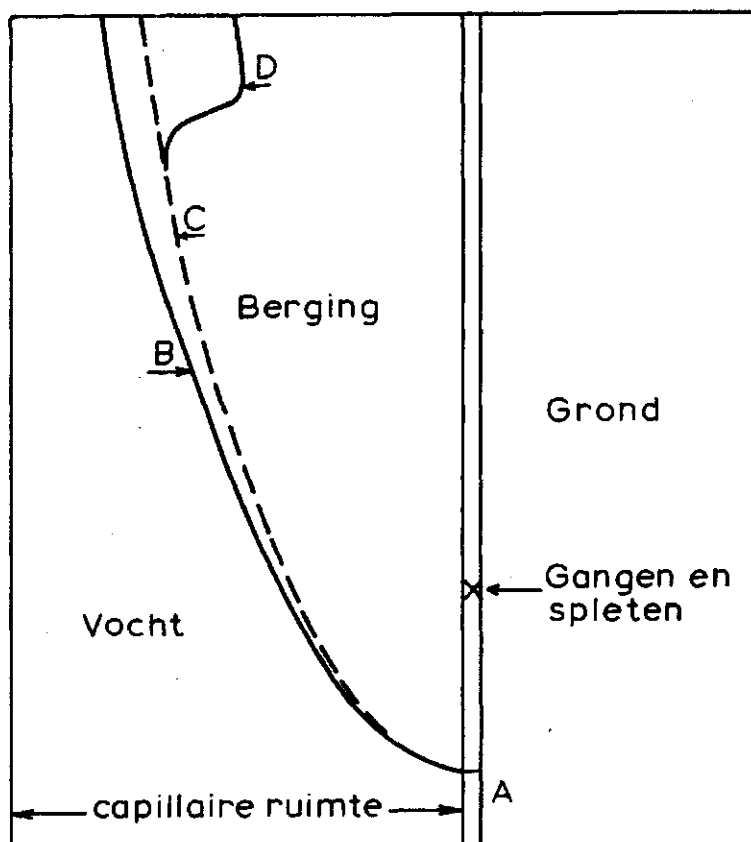


Fig. 1. A = niet capillaire berging in grovere gangen en spleten
 B = statische berging in fijne capillairen bij afwezigheid van elke vochtbeweging
 C = gestage berging in capillairen bij onveranderlijke waterbeweging
 D = ongestage berging als gevolg van tijdelijk door het profiel stromend vocht