
De hydrologische grootheid 'Ernst'

Jan van Bakel

Inleiding

Door prof. J.J. de Vries is in het eerste nummer van STROMINGEN aandacht besteed aan de ontwikkeling van de grondwaterhydrologie rond de eeuwwisseling. Deze ontwikkeling was zeer sterk verbonden met de ideeën van enkele personen. De ontwikkeling van de hydrologie na de 2^e Wereldoorlog is door veel meer personen bepaald. Toch wil ik in dit artikel een medebepalend persoon op de voorgrond plaatsen en wel dr. L.F. Ernst (1920). Dit zal ik niet doen aan de hand van een volledige wetenschappelijke biografie, maar door mijn persoonlijke ervaring met deze 'hydrologische grootheid'.

Mijn eerste ervaring met Ernst stamt uit het studiejaar 1971/72 aan de toenmalige Landbouwhogeschool. In het college Waterbeheersing, gegeven door prof. v.d. Molen, werd eerst de drainagetheorie van Hooghoudt (bij wie Ernst is begonnen) behandeld, met die moeilijke wiskundige uitdrukking van de dikte van de equivalentlaag, d . Daarna werd de veel eenvoudiger theorie van Ernst behandeld (tenminste, dat dacht ik). Ernst deelde de stroming van water naar de drains op in drie gedeelten:

- verticale stroming
- horizontale stroming
- radiale stroming

met de daarbij behorende weerstanden. De verticale weerstand kon je meestal verwaarlozen en zo hield je de volgende vergelijkingen over (bekend als de formule van Ernst):

$$q = \frac{h_0 - h_m}{Y} \quad (1)$$

$$Y = L \left(\frac{1}{\pi k} \ln\left(\frac{D}{B_{vp}}\right) + \frac{L}{8kD} \right) \quad (2)$$

waarin q is drainageflux (m/d), h_0 is open-waterstand (m), h_m is grondwaterstand midden tussen de ontwateringsmiddelen (m), Y is ontwateringsweerstand (d), L is afstand tussen de ontwateringsmiddelen (m), k is doorlatendheid (m/d), D is dikte van het doorstroomde pakket (m) en B_{vp} is natte omtrek van het ontwateringsmiddel (m).

Deze formule, met variaties voor gelaagde profielen e.d., heb ik in mijn professionele leven zeer veelvuldig te pas en wellicht soms te onpas toegepast. Vele jaren later namelijk werden er vergelijkingen gemaakt met de formule van Bruggeman (ook zo'n hydrologische grootheid), die soms niet goed uitpakten voor de formule van Ernst. Dat was echter te wijten aan het oprekken van het toepassingsgebied. Voor welke situaties de formules wel

mochten worden toegepast stond uitgebreid beschreven in zijn proefschrift met de veelzeggende titel:

‘Grondwaterstromingen in de verzadigde zone en hun berekening bij aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen’.

Een waarlijk meesterwerk, door de combinatie van conceptuele vereenvoudigingen en theoretische onderbouwingen. Het feit dat dit proefschrift in het Nederlands is gesteld is wellicht de reden dat Ernst pas laat en onvoldoende is doorgedrongen tot de Engelstalige literatuur, waardoor zijn grootheid internationaal onvoldoende is onderkend.

Niet dat Ernst op die erkenning zat te wachten. Ik behoor tot de gelukkigen die Ernst als directe collega hebben meegemaakt. Toen ik in 1976 op het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW) kwam te werken was een van mijn eerste klussen het berekenen van de effecten van wateraanvoer in het Lollebeekgebied, in verband met de mogelijkheid tot meebetalen door de drinkwatermaatschappij (inderdaad, er is weinig nieuws onder de zon). Het effect van een momentane verhoging van het beekpeil op de grondwaterstand werd berekend met de volgende formule:

$$\frac{h(x,t)}{h_0} = \frac{1}{2}(e^{-gx} + e^{gx}) - \frac{e^{-gx}}{\sqrt{\pi}} \int_0^{ag\sqrt{t} - \frac{x}{2a\sqrt{t}}} e^{-z^2} dz - \frac{e^{gx}}{\sqrt{\pi}} \int_0^{ag\sqrt{t} + \frac{x}{2a\sqrt{t}}} e^{-z^2} dz \quad (3)$$

waarin h_0 is verhoging beekpeil (m), h is verhoging grondwaterstand (m), g is $\sqrt{C_0/kDh_0}$, x is afstand tot de beek (m), a is $\sqrt{kD/p_0}$, p_0 is bergend vermogen (-), χ is $x/2kDw$ (-), w is radiale weerstand (d/m), z is integratievariabele (-), C_0 is capillaire opstijging bij ongestoorde toestand (m/d) en C is capillaire opstijging na verandering van de grondwaterstand (berekend als $C_0 \cdot h/h_0$).

De schoonheid van deze formule is pas later duidelijk geworden. Elementen zoals de golfvoortplanting door de grond en de terugkoppeling in de vorm van toegenomen verdamping zaten erin. Dat kom je tegenwoordig in de computermodellen voor verzadigde grondwaterstroming nog nauwelijks tegen. Bij het toepassen van deze en andere formules heb ik enkele keren de meester zelf geraadpleegd. Als jong hydroloog was het natuurlijk een hele stap om naar de kamer op het einde van de gang van de 2e verdieping te gaan. De conversaties met Ernst hadden ook een speciaal verloop. Als je Ernst iets vroeg bleef het minstens enkele minuten stil. Daar moest je gewoon aan wennen. In die tijd dacht Ernst na over het goede antwoord. En het schijnt dat dit vóór mijn tijd nog langer duurde. Die lange pauze had nl. alles te maken met de persoon Ernst. Hij was van nature zo bescheiden (weinig assertief zou je tegenwoordig zeggen) dat hij alleen goed kon converseren als hij zeker wist wat hij ging zeggen. Maar wat hij zei getuigde altijd van diepzinnige kennis van hydrologische en andere zaken. Ook in zijn schriftelijk werk zette deze karaktereigenschap zich voort. Zo talrijk waren zijn correcties op wat hij had geschreven (en door de typistes was verwerkt) dat bij zijn afscheid een zucht van verlichting werd geslaakt op de typekamer ('ondank is 's werelds loon').

De kamer van Ernst was eveneens een toonbeeld van eenvoud. Niets sierde de muren behalve een afbeelding van de grote wiskundige Boussinesq. Uiteraard wel aanwezig waren 'Abromowitz en Stegun', de rekenliniaal, een paar velletjes papier, meestal een kort potloodje en een gum.

Toen zelfs de eerste de beste stagiair bij het ICW een rekenmachine had, was Ernst nog steeds in de weer met zijn rekenliniaal. Ook moet het er 's winters soms behoorlijk koud zijn geweest want toen hij in verband met zijn pensioen was vertrokken werd er meteen een houten wand tegen de buitenmuur geplaatst.

Van een collega heb ik echter het volgende verhaal vernomen dat in tegenspraak is met zijn bescheiden karakter. Tijdens boorwerkzaamheden ten behoeve van het regionaal onderzoek in de Peelregio ontstond bij Ernst de behoefte de Peelrandbreuk 'uit te boren', waarbij in de buurt van Wanssum op het laatst tot op enkele meters afstand diepe boringen werden gezet. Dit had echter niet de toestemming van de directie en leidde tot overschrijdingen van budgetten en planningen. In de jaren negentig zou je zeggen: een gezonde portie anti-discipline is noodzakelijk voor het voortbestaan van een kennisorganisatie (Peter Senge: *The fifth dimension*).

Top-5

Zijn manier van communiceren is er ook de oorzaak van geweest dat Ernst weinig is gevraagd voor commissies e.d. Wellicht is dit de reden dat Ernst zijn hele wetenschappelijke leven produktief is geweest. Ook bij de verplichte maandelijkse stafvergaderingen viel Ernst vooral op doordat hij meestal in slaap viel. Uit zijn niet eens zo omvangrijke oeuvre van 20 ICW-nota's, 1 Nederlandstalig artikel, 9 Engelstalige artikelen, 7 rapporten en 1 proefschrift heb ik de volgende—strikt persoonlijke—top 5 samengesteld.

5. *Verhoging van grondwaterstanden en vermindering van afvoer door opstuwing van beken*. In: *Verlagen en mededelingen CHO-TNO, no. 3, 1958: 54-69*.

Inderdaad een stukje pionierswerk en nog steeds (of weer) zeer actueel, in verband met de bestrijding van de verdroging. In deze bijdrage staat niet alleen de formule (vgl. (3)), waarmee ik bij het ICW ben begonnen, maar ook bijvoorbeeld vergelijkingen voor de amplitude van de grondwaterstand als gevolg van de verdeling van de nuttige neerslag over het jaar. Dit alles ondersteund met praktijkwaarnemingen.

4. De boorgatenmethode

Een verplicht onderdeel van het practicum Hydrologie was (is) het vaststellen in het veld van de verzadigde horizontale doorlatendheid met behulp van de boorgatenmethode. De theoretische bas'is en de praktische uitwerking waren van Ernst. Bij mijn weten is er echter nooit een officiële publikatie aan gewijd, wel een notitie uit 1950 van het Landbouwkundig Proefstation en Bodemkundig Instituut, getiteld 'Een nieuwe formule voor de berekening van de doorlaatfactor met de boorgatenmethode'.

3. *Grondwaterstromingen in de verzadigde zone en hun berekening bij aanwezigheid van horizontale open leidingen*, 1962. *Proefschrift Universiteit Utrecht. 189 pp.*

Dat zijn 'magnum opus' niet op de eerste plaats staat heeft te maken met het feit dat ik a. het onvoldoende heb bestudeerd om alle schoonheid ervan te doorgronden en b. het ook beschouw als een samenvatting van eerder (denk)werk (o.a. 'Calculation of the steady flow of groundwater in vertical cross sections'. *Neth. J. of Agr. Sci.* 4: 126-131).

2. 'Analysis of groundwater flow to deep wells in areas with a non-linear function for the subsurface drainage'. *J. of Hydr.* 14 (1971): 158–180. *Techn. Bull.* 75. ICW, Wageningen. Voor de berekening van de verlaging van de grondwaterstijghoogten als gevolg van grondwateronttrekking door putten zijn vele oplossingen beschikbaar. Maar hoe het probleem moest worden opgelost van sloten die door de winning droogvallen, was voor deze publikatie nooit goed beschreven. Zeker voor het hellende deel van Nederland is dat een veel voorkomend verschijnsel is. Dit lastige—want niet-lineaire—probleem is door Ernst op een elegante manier opgelost en wel als volgt. De grootte van het gebied waar waterlopen droogvallen hangt af van een speciale uitdrukking van de spreidingslengte:

$$\xi = \sqrt{kHc} \quad (4)$$

(waarin kH is doorlaatvermogen (m^2/d) en voor de waarde c de som van ontwateringsweerstand en weerstand tegen verticale stroming wordt ingevuld), van de onttrekkingshoeveelheid en van de nuttige neerslag. Uit een figuur kan de straal van dit gebied, r_1 , worden afgeleid. Buiten dit gebied is de verlaging van de stijghoogte vervolgens te bepalen uit:

$$\frac{\varphi(r)}{\tilde{N}^+(Y_{e1} + \Lambda)} = -\frac{K_0(r/\xi)}{K_0(r_1/\xi)} \quad (5)$$

en binnen dit gebied uit:

$$\varphi(r) + \tilde{N}^+(Y_{e1} + \Lambda) = \frac{\tilde{N}^+(r_1^2 - r^2)}{4kH} + \frac{Q_w}{2\pi kH} \ln \frac{r}{r_1} \quad (6)$$

waarin φ is stijghoogteverlaging van de bempompte aquifer (m), \tilde{N}^+ is maximum waarde van jaargemiddelde neerslagoverschot, Λ is verticale weerstand (d), Y_{e1} is ontwateringsweerstand buiten gebied met straal r (d), H is dikte van aquifer (m), Q_w is onttrekkingsdebiet (m^3/d) en K_0 is Besselfunctie. De verlaging van de freatische grondwaterstand is hieruit gemakkelijk te berekenen.

Heden ten dage hebben veelvuldig toegepaste computerprogramma's als MODFLOW, DUFLOW en Micro-Fem met de optie van droogvallende sloten nog steeds grote moeite!

1. 'Drainage of undulating sandy soils with high groundwater tables. I. A drainage formula based on a constant hydraulic head ratio. II. The variable hydraulic head ratio'. *J. of Hydr.* 39 (1978): 1–50. *Techn. Bull.* 106. ICW, Wageningen.

Dit meesterwerk combineert de grote praktische kennis van Ernst over de geohydrologie van de Achterhoek met zeer elegante concepten om de drainageweerstand 'in de vingers' te krijgen (m.n. de opsplitsing van waterlopen in 6 klassen en de daarbij behorende kenmerken). Zoals u wellicht weet is dat op de dag van vandaag nog steeds een onderwerp van onderzoek, waarbij wordt voortgebouwd op deze publikatie.

Naast theoreticus ook practicus

Ernst was waarlijk een genie in het vangen van ingewikkelde hydrologische situaties in, op het eerste gezicht, 'onsnapbare' formules waarvan je altijd dacht: hoe kom je erop. Maar

voor de natuur- en wiskundige Ernst was het wellicht een peuleschilletje. Gelukkig leverde hij er meestal nomogrammen en figuren bij zodat vooral in het pre-computertijdperk vele hydrologen dankbaar gebruik hebben gemaakt van zijn formidabele kennis.

Ook was hij één van de eersten die analytische oplossingen afleidde voor de beschrijving van verblijftijden (zie o.a. 'Berekening van verblijftijden voor grondwaterstroming in de verzadigde zone', 1973. Nota 755. ICW, Wageningen), en was hij—uiteraard—betrokken bij het samenstellen van de Verklarende Hydrologische Woordenlijst. Behalve als theoreticus was Ernst ook met zeer praktische zaken bezig. Bijvoorbeeld, hij was één van de eersten die een verband legde tussen korrelgroottesamenstelling en de verzadigde doorlatendheid, getuige de bekende formule (die stamt uit 1955 en die nooit officieel is gepubliceerd):

$$k = 54.000 \cdot C_{so} \cdot C_{cl} \cdot C_{gr} \cdot U \quad (7)$$

waarin C_{so} , C_{cl} en C_{gr} correctiefactoren zijn voor resp. zandsortering, slibgehalte en grindgehalte en U de verhouding is tussen de oppervlakte van de gronddeeltjes en die van een zelfde massa bolvormige deeltjes met een diameter van 1 cm en dezelfde dichtheid (aëriek oppervlakte, dimensieloos).

Tenslotte

Voor ik besluit, toch een kritische noot. In de nadagen van zijn carrière hield Ernst zich vooral bezig met het beschrijven van de grondwaterstroming van hogere naar lagere gebieden (zie o.a. 'Wegzijing en kwel; de grondwaterstroming van hogere naar lagere gebieden'. Rapporten n.s. 7. ICW, Wageningen: 38 pp.). Daarbij werden oplossingen bedacht voor o.a. een pakket bestaande uit een willekeurig aantal lagen die afwisselend goed en slecht doorlatend zijn. Uitgeschreven besloegen deze oplossingen bijna een hele pagina. Dit gebeurde in een tijdperk dat alom numerieke modellen voor de verzadigde grondwaterstroming met succes werden toegepast en er zeker voor de berekening van kwel en wegzijing in een dwarsraai geen behoefte meer bestond aan analytische oplossingen zoals Ernst die voor dit probleem had afgeleid.

Bij zijn pensionering, in 1985, stelde de leiding van het ICW een apart kamertje voor hem beschikbaar waar hij naar believen kon werken. Het idee was dat Ernst nog veel kennis bezat waarover niet of onvoldoende was gepubliceerd. Om allerlei redenen is daar echter maar weinig gebruik van gemaakt. Pogingen om de wetenschappelijke erfenis van Ernst op een andere manier te ontsluiten, zijn tot nu toe niet erg succesvol gebleken. Misschien wordt het tijd voor een Ernst-genootschap.

In mijn professionele leven heb ik weleens de verzuchting geslaakt: "Hebben jullie nog nooit van Ernst gehoord?". Waarmee gezegd wil zijn dat het een absolute *must* voor hydrologen is om kennis te nemen van het werk van Ernst. Naar ik hoop heb ik duidelijk gemaakt waarom.

Jan van Bakel
SC-DLO
Postbus 125
6700 AC Wageningen
(0317) 474305