

MEDEDELINGEN VAN DE LANDBOUWHOGESCHOOL
TE WAGENINGEN/NEDERLAND – DEEL 50, VERHANDELING 5

GRONDWATERSTAND, WATER-
AFVOER EN DRUKVEREFFENING
AAN DE OOSTELIJKE VELUWERAND

(WITH A SUMMARY)

DOOR (BY)

W. R. VAN WIJK en C. T. DE WIT

Laboratorium voor Natuur- en Weerkunde der Landbouwhogeschool, Wageningen



H. VEENMAN & ZONEN — WAGENINGEN — 1950

563543

Erratum deel 50, Verhandeling 5, bladzijde 75 [3]

De vijf regels na de 13e regel van de Inleiding gelieve U als volgt te lezen:

De putten staan op grofkorrelige zand- en zand-grindlagen. In de putten 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10 en 11 zijn enige grondwaterstanden gemeten in het tijdvak November 1947 tot Januari 1948. Van Mei 1948 tot Maart 1949 werd de waterstanden in de putten 3, 9, 10 en 11 ongeveer twee maal per week opgenomen door in de buurt wonende perso-

GRONDWATERSTAND, WATERAFVOER EN DRUKVEREFFENING AAN DE OOSTELIJKE VELUWERAND

(WITH A SUMMARY)

door (by)

W. R. VAN WIJK en C. T. DE WIT

Laboratorium voor Natuur- en Weerkunde der Landbouwhogeschool, Wageningen

(Ontvangen/Received 20.4.'50)

INLEIDING

In een vorige publicatie (1) werd mededeling gedaan van waarnemingen van de grondwaterstand in putten te Brummen, Leuvenheim en Eerbeek op verschillende tijden. Deze waarnemingen zijn thans uitgebreid en in het onderhavige artikel wordt getracht, door het waargenomen verloop wiskundig te verwerken, de permeabiliteit, de bergingsfactor van de bodem en de hoeveelheid zakwater van de Veluwe te berekenen.

Hiertoe wordt de theorie van de niet-stationnaire waterbeweging toegepast.

De geologie van het onderzochte gebied in de nabijheid van Brummen is beschreven in de onder (1) genoemde publicatie.

Verdere waarnemingen over de grondwaterstand werden verricht in brandputten van de gemeente Brummen, met een diameter van ongeveer 25 cm en een diepte van 15 tot 40 m. Op bijgaande situatie-tekening (fig. 1) is de ligging van de brandputten aangegeven met de van een hoogtekartaat geschatte hoogte. De putten staan op grofkorrelige zand- en zand-grindlagen. In de putten 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10 en 11 zijn enige grondwaterstanden gemeten in het tijdvak November 1947

in de putten 3, 9, 10 en 11 ongeveer Maart 1949 werden de waterstanden tot Januari 1948. Van Mei 1948 tot twee maal per week opgenomen door in de buurt wonende personen. Onderbrekingen in de reeksen zijn in de figuren aangegeven door stippellijnen. De IJselstanden, afgelezen op de peilschaal in Dieren, zijn ons verstrekt door de Dienst Rijkswaterstaat, Directie Bovenrivieren. Wij hebben deze omge-rekend tot de stand in Brummen door 40 cm van de waarde af te trekken (1).

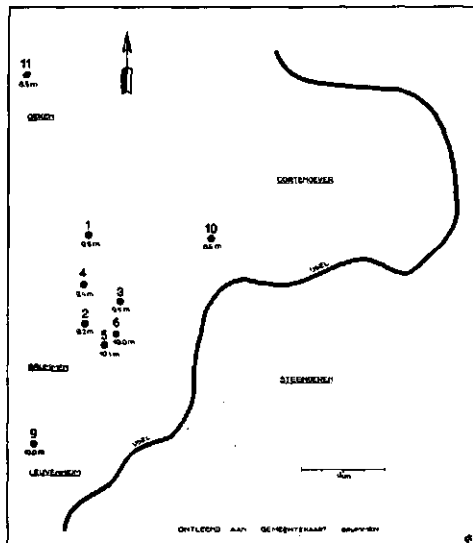


Fig. 1. Topographical map with the river IJsel and wells. The altitude of the wells is noted in meters above O.D. (N.A.P.)

DE WATERBEWEGING IN DE BODEM

In de onderstelling dat de drukhoogte h (cm) alleen afhangt van de tijd t (sec) en de kortste afstand x (cm) van de IJsel luidt de differentiaalvergelijking voor de drukhoogte

$$K \frac{\delta^2 h}{\delta x^2} = C \frac{\delta h}{\delta t} \dots \dots \dots (1)$$

C door ons de bergingsfactor genoemd, is het aantal cm^3 water dat in 1 cm^3 van de laag wordt opgenomen, wanneer de waterdruk 1 cm stijgt. K is de doorlatendheid, d.w.z. het aantal cm^3 water dat per sec bij een drukverval van 1 cm water per cm door een oppervlak van 1 cm^2 , loodrecht op het drukverval, stroomt. Deze vergelijking geldt voor het geval dat het water in de laag artesisch is, of wanneer de peil-veranderingen van het grondwater klein zijn in verhouding tot de dikte der watervoerende laag. Het verband tussen de bergingsfactor (C) en de door THEIS (2) ingevoerde „coefficient of storage (S)” wordt gegeven door $S = C.m$, waarin m de laagdikte voorstelt.

Een oplossing van bovenstaande differentiaalvergelijking is:

$$H_{x,t} = H_o + Rx + He^{-x\sqrt{\omega/2P}} \cos(\omega t - x\sqrt{\omega/2P}) \dots \dots \dots (2)$$

waarin $P = K/C$ de drukvereffeningscoëfficiënt wordt genoemd.

Daar aan de IJsel de afstand x nul is kunnen wij, door de stand van het IJselwater in een Fourier-reeks te ontwikkelen, de op verschillende afstand van de IJsel te verwachten hoogteveranderingen berekenen volgens:

$$H_{x,t} = H_o + Rx + \sum_{n=1}^{\infty} H_n e^{-x\sqrt{n\omega/2P}} \cos(n\omega t - x\sqrt{n\omega/2P} + \varphi_n) \dots (3)$$

Hierin is R het over lange tijd gemiddelde drukverval, dat b.v. onderhouden kan worden door een afwatering van de Veluwe. De grootheid H_n is de amplitude der n -de orde in de ontwikkeling van de IJselstand; φ_n is de phaseconstante der n -de orde. ¹⁾

De IJselstand is geen periodieke functie van de tijd, maar omdat de putten dicht bij de IJsel zijn gelegen hangt het verloop van de grondwaterstand practisch alleen af van de IJselstand in een beperkt tijdsinterval.

In de Fouriercomponenten van hogere orde, die over het algemeen klein zijn, zal de invloed van vroegere IJselstanden merkbaar worden.

INVLOED VAN DE IJSEL; DRUKVEREFFENINGSCOËFFICIENT

De hier gegeven theorie is toe te passen op het verloop van de waterstanden in put 3 en 9, resp. in Brummen en Leuvenheim.

Put 11 is gelegen in Oeken te midden van broekgronden, die door enige beken op de IJsel afwateren. De stand van het grondwater wordt hier sterk beïnvloed door de stand der beken en de bovengrondse afwatering.

De onderstelling dat de waterstand alleen afhangt van de kortste afstand van

¹⁾ Voor een meer uitvoerige bespreking van deze theorie verwijzen wij naar de dissertaties van PEERLKAMP (3) en STEGGEWENTZ (4).

de IJsel gaat voor put 10, gelegen in Cortenoever, in een bocht van de IJsel, zeker niet op. Bovendien is het verloop in deze put te slecht bekend om er een berekening op te baseren.

Als periode van de IJselstand is het tijdvak van 1 Mei 1948 tot 20 Maart d.a.v. aangenomen.

Het verloop van de IJselstand was goed te benaderen door de som van de eerste vier hieruit berekende orden der Fourierreeks. De volgende termen bleken van geringe betekenis te zijn. In fig. 2b zijn deze vier termen grafisch opgeteld; de vergelijking luidt (H in cm):

$$H_{0,t} = -64,0 + 106,0 \cos\left(\frac{2\pi}{160}t - 1,71\right) + 64,3 \cos\left(\frac{4\pi}{160}t - 3,92\right) + \\ + 34,2 \cos\left(\frac{6\pi}{160}t - 5,54\right) + 22,3 \cos\left(\frac{8\pi}{160}t - 0,633\right) \quad (4)$$

De gemiddelde IJselstand is voor deze berekening gesteld op 5,00 m boven N.A.P.

Door berekening van de eerste vier Fourier-termen is ook de waterstand in put 3, op 1000 m van de IJsel te benaderen:

$$H_{1000,t} = -17,8 + 65,5 \cos\left(\frac{2\pi}{160}t - 1,98\right) + 17,5 \cos\left(\frac{4\pi}{160}t - 4,51\right) + \\ + 14,3 \cos\left(\frac{6\pi}{160}t - 0,210\right) + 15,1 \cos\left(\frac{8\pi}{160}t - 1,44\right) \quad (5)$$

met als werkgemiddelde 3,00 m beneden maaiveld (fig. 2e).

Uit formule 3 volgt dat de verhouding van de amplitudes van de waterstand in de IJsel en in de grond op een afstand x van de IJsel voor de n -de orde gelijk

is aan $e^{-x\sqrt{n\omega/2P}}$, de fasevertraging is gelijk aan $-x\sqrt{n\omega/2P}$

Daar amplitudeverhouding en fasevertraging uit 4 en 5 bepaald kunnen worden, volgen hiermee uit iedere term van de ontwikkeling, twee waarden voor de drukvereffeningscoëfficiënt. Wij vinden:

Term v. ontw.	Uit ampl.verh.	Uit fasevertr.
1	4,2.10 ⁸ cm ² /etmaal	12,8.10 ⁸ cm ² /etmaal
2	1,2.10 ⁸ „	5,6.10 ⁸ „
3	3,8.10 ⁸ „	3,1.10 ⁸ „
4	26 10 ⁸ „	6,1.10 ⁸ „

De afwijkende waarde voor de drukvereffeningscoëfficiënt berekend uit de vierde term der reeks wijst erop dat voor deze (en hogere) orden het verband tussen IJsel- en putstand verstoord is.

Uit de eerste drie termen der ontwikkeling volgt dat de drukvereffeningscoëfficiënt gelijk is aan ongeveer 5.10⁸ cm²/etmaal.

Het verloop van de grondwaterstand in put 9 (fig. 2d) en de afstand van de put tot de IJsel (900 m) zijn ongeveer dezelfde als voor put 3. De drukvereffeningscoëfficiënt heeft op beide plaatsen dus blijkbaar dezelfde waarde, ofschoon de putten 2500 m van elkaar verwijderd liggen.

Om na te gaan of het middelen der drukvereffeningscoëfficiënt geoorloofd is, hebben wij, met dit gemiddelde, de waterstand in put 3 uit de IJselstand berekend.

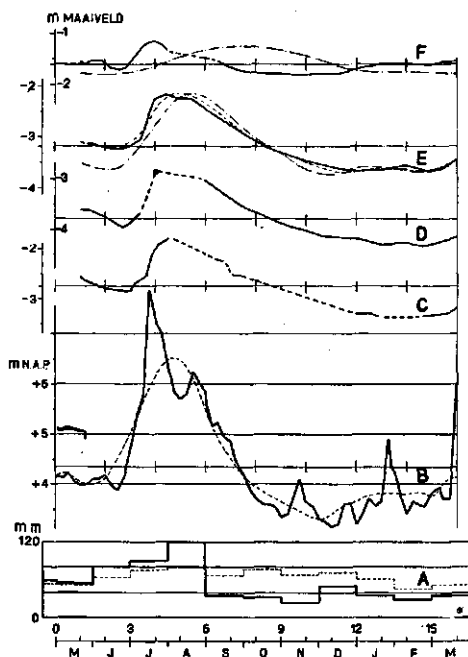


Fig. 2. Legenda

A Rainfall (K.N.M.I. De Bilt)
 --- Average 40 years
 — May 1948—March 1949

Trend of waterlevels

B In the river IJssel
 C In well 10 Distance from river 600 meters
 D In well 9 Distance 900 meters
 E In well 3 Distance 1000 meters
 F In well 11 Distance 2900 meters

— Observed trend
 --- Representation by four Fourier orders
 - · - Computed from B
 (Diffusivity $5.10^8 \frac{\text{cm}^2}{\text{day}}$).

Het resultaat is eveneens in fig. 2e gegeven. Het verloop van deze curve sluit over het algemeen goed aan bij de gemeten curve.

De afwijkingen aan het begin der periode, t.w. de te laag berekende stand en het te vlakke verloop ervan kunnen, althans kwalitatief, verklaard worden uit de regenverdeling. Deze is gegeven in fig. 2a; aan het begin der meetperiode is veel meer regen gevallen dan aan het eind der periode, hetgeen zonder twijfel de afvoer van de Veluwe in de eerste maanden groter heeft doen zijn. ¹⁾

Het verloop van de waterstand in put 11, 2900 m van de rivier verwijderd, is eveneens uit de IJsselstand met behulp van dezelfde drukvereffeningscoëfficiënt berekend. De afwijking van de gemeten stand is groot (fig. 2f). De grondwaterstand wordt hier niet direct door de IJssel bepaald maar meer door de stand van de beken, ongeveer 800 m van de put verwijderd. Wanneer de IJssel boven normaal is wordt de afvoer van de beken gestremd; dit heeft tengevolge dat de amplitude van de IJssel vrijwel zonder vertraging, maar wel verkleind, het binnenland ingebracht wordt.

Vandaar dat in put 11 ongeveer dezelfde vertraging als in put 3 gemeten wordt, terwijl de amplitude veel kleiner is. Het verloop van de grondwaterstand in Oeken is hiermee kwalitatief verklaard.

HET PHREATISCH NIVEAU

De gemiddelde stand beneden maaiveld werd berekend voor de putten 3, 9 en 11. De waarnemingen gedaan in put 10 werden eveneens gemiddeld; dit gemiddelde is minder betrouwbaar. Hieruit, uit de geschatte hoogte van de putten

¹⁾ Vermoedelijk is deze regenval ook verantwoordelijk voor de grote waarde van P uit de fasevertraging der 1e orde, daar de grondwaterstand hierdoor zal zijn opgelopen.

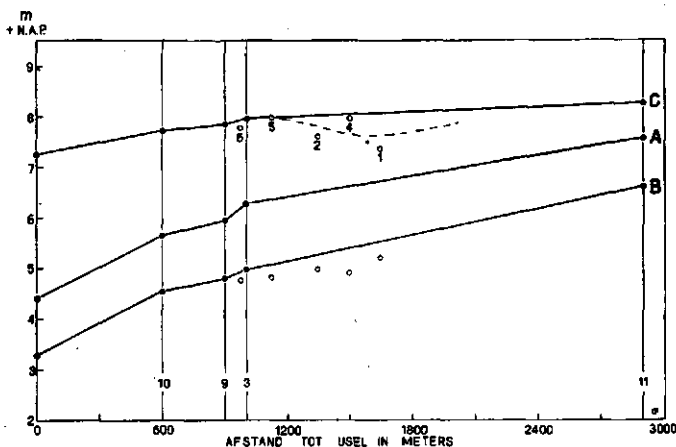


Fig. 3. Watertable A Average May 1948–March 1949
B November 15th, 1947 C January 28th, 1948

boven N.A.P., de afstand van deze tot de IJssel en de gemiddelde waterstand in de rivier werd het gemiddelde verval naar de IJssel toe berekend (fig. 3a).

Omdat put negen 2,5 km stroomopwaarts ligt en put elf 6,5 km stroomafwaarts, zijn de putstanden gecorrigeerd met resp. +25 cm en -65 cm.

Het verval is praktisch lineair; het doorlatingsvermogen van de laag verschilt van plaats tot plaats dus weinig. De grootte van het gemiddelde verval is 1,8 m/km. Gezien het gezegde omtrent put 11 is het niet verwonderlijk dat de stand hier van het gemiddelde afwijkt.

De hoogte van het phreatisch niveau wordt natuurlijk in hoge mate beïnvloed door de IJsselstand, zoals blijkt uit de vorm van het preatisch niveau op 15 November 1947 en 28 Januari 1948 (fig. 3b en c). Omdat op deze data waarnemingen zijn gedaan in een tiental brandputten was het mogelijk het verloop van de grondwaterstand beter vast te stellen. Opmerkelijk is het gedrag van put 4 op 1500 m van de IJssel; op 15 November is hier de stand lager, op 28 Januari hoger dan in de putten op ongeveer gelijke afstand. Deze put staat dus in betere verbinding met de IJssel dan de overige. De afwijkingen van de andere putten liggen binnen de foutengrens. Het maximum op 28 Januari, ongeveer 1100 m van de IJssel, is een gevolg van de hoge IJsselstand in Januari (ong. 8,5 m + N.A.P.).

DE AFWATERING NAAR DE IJSEL

Wanneer de drukvereffeningscoëfficiënt, de berging en het verval in een niet-artesische, watervoerende laag bekend zijn, is het niet noodzakelijk de laagdikte te kennen om de afvoer te berekenen.

De grootte van de bergingsfactor is als volgt te schatten. Uit de in de droge zomer en herfst van 1947 gedane metingen is gebleken, dat het verval in de bovenste aardlagen in de zomer 3,0 en in de herfst 0,8 m/km bedroeg (1). Dit verval is ongeveer gelijk aan het verval in diepere lagen. Daar de grootte er van voornamelijk bepaald wordt door de afvoer van de Veluwe, mogen wij hieruit concluderen dat er geen aaneengesloten ondoorlatende lagen tussen de meetplaatsen dicht aan de oppervlakte en op 20–40 m diepte voorkomen. De profielen der putten wijzen eveneens in deze richting.

De bergingsfactor van het water wordt hier dus in eerste benadering bepaald door het poriënvolume. Wanneer wij hiervoor 20 % (nat zand) nemen en de laagdikte op m cm stellen, vinden wij een bergingsfactor $C = 0,20/m \text{ cm}^{-1}$ (zie blz. 76).

De doorlatendheid K van de grond is gelijk aan het product van drukvereffeningscoëfficiënt en bergingsfactor, dus $5.10^8 \cdot 0,20/m = 10^8/m \text{ cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{etmaal}$. De afvoer per strekkende meter door de gehele laag is $Q = K \cdot m \cdot I = \frac{10^8}{m} \cdot m \cdot 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{etmaal} = 18 \text{ m}^3/\text{etm}$.

De onbekende laagdikte valt dus weg.

De „Commissie: Wateronttrekking aan de Veluwe” (5) is tot de conclusie gekomen dat de nuttige neerslag tussen „De Woeste Hoeve” en Brummen afgevoerd wordt naar de IJssel. De grootte hiervan zou ongeveer 300 mm per jaar bedragen.

Wanneer wij het slecht bekende debiet van de sprengen verwaarlozen volgt hieruit dat de afvoer per strekkende meter hier ongeveer $13 \text{ m}^3/\text{etm}$ bedraagt.

Wanneer de laagdikte ligt tussen 30 en 70 m is de doorlatendheid 330 tot 140 m/etmaal. De bergingsfactor ligt dan tussen $7 \cdot 10^{-5}$ en $3 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$.¹⁾

Uit de aard der zaak mag aan deze getallen niet meer dan een globale waarde toegekend worden. Bij de schatting der bergingsfactor is geen rekening gehouden met de aanwezigheid van leem- of kleilagen, terwijl bovendien is aangenomen dat de berekende drukvereffeningscoëfficiënt geldt voor de gehele watervoerende laag. Het was echter in de eerste plaats onze bedoeling de methodiek der niet-stationnaire stroming uit te werken voor een geval in Nederland.

Het gemeentebestuur van Brummen heeft gegevens van de putten en de detailkaart der gemeente verstrekt; de IJsselstanden zijn medegedeeld door Rijkswaterstaat, Directie Bovenrivieren. In de buurt wonende personen hebben de waarnemingen in de putten belangeloos verricht. Het artikel is besproken met Dr S. B. HOOGHOUT (Bodemkundig Instituut T.N.O., Groningen) van wie wij verschillende waardevolle opmerkingen ontvingen.

Voor de verleende medewerking betuigen wij hier onze hartelijke dank.

SUMMARY

The theory of non stationary flow has been applied to the watermovement in the upper layers of the Pleistocene Terrace in the Western side of the river IJssel. A Fourier analysis of the motion of the waterlevels in the river and in several wells permitted to calculate the diffusivity (ratio of permeability and storage coefficient) of the soil. Comparison of the groundwatermotion in layers at about 30 and at 4 meters depth showed that the intermediate strata are permeable to water. The transmissibility of the soil and the slope of the watertable are calculated. From these data we estimated the amount of water percolating from the hinterland, which was found to agree reasonably with previous estimates based upon rainfall and topography.

¹⁾ Ook in artesische lagen is de bergingsfactor meestal vele malen groter dan de berekende uit de compressibiliteit van het water en de grond en uit de uitzetting der laag. Dit wordt toegeschreven aan de aanwezigheid van lucht of gas en aan de in de laag aanwezige lekken.

LITERATUUR

1. C. T. DE WIT, Het verloop van de grondwaterstand ten Westen van de IJssel in zomer en herfst 1947. *Med. L.H.S.*, 49, (7) 1949.
2. C. V. THEIS, The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 16th annual Meeting, 1935.
3. P. K. PEERLKAMP, Bodemmeteorologische onderzoeken te Wageningen. *Med. L.H.S.*, 47, (3) 1944.
4. J. H. STEGGEWENTZ, De invloed van de getijbeweging van zeeën en getijrivieren op de stijghoogte van het grondwater. Diss. Delft, 1933.
5. „Wateronttrekking aan de Veluwe.” Rapport van de Commissie ingesteld bij beschikking van de Minister van Binnenlandse Zaken en Landbouw, d.d. 24 Febr. 1927, 's Gravenhage 1932.