

NN31545.0914

september 1976

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

BIBLIOTHEEK DE HAAFF
Droevendaalsesteeg 3a
Postbus 241
6700 AE Wageningen

DE WATERSTANDEN IN DE 'ECHOPUT'

J. Buitendijk en ir. G.P. Wind

**BIBLIOTHEEK
STARINGEBOUW**

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-
middelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen
de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onder-
zoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut
in aanmerking

1792624

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS



0000 0941 1063

I N H O U D

	Blz.
1. INLEIDING	1
2. DE GRONDWATERSTANDEN	2
3. BEREKENING VAN DE ONVERZADIGDE VERTICALE STROMING	3
3.1. Afleiding	3
3.2. Rekenmodel 'Echo'	5
4. BEREKENING VAN DE GRONDWATERSTAND	8
4.1. Afleiding	8
4.2. Rekenmodel De Zeeuw en Hellinga	10
5. RESULTATEN	13
6. SAMENVATTING EN CONCLUSIES	17
7. LITERATUUR	18

1. INLEIDING

Er is de laatste tijd sprake van een belangrijke daling van grondwaterstanden in Nederland, een daling die schadelijk is zowel voor de landbouw als de natuurlijke vegetatie.

Voor de verklaring ervan wordt vaak gewezen op de toegenomen wateronttrekking ten behoeve van de watervoorziening voor huishoudelijk en industrieel gebruik. Daarbij dient echter in aanmerking genomen te worden dat we sinds 1969 veel minder neerslag hebben dan in de jaren daarvoor.

Men herinnert zich nog de zeer hoge waterstanden die in 1966 en 1967 op de Veluwe voorkwamen waarbij enkele wegen lange tijd onder water stonden en tienduizenden bomen de verdrinkingsdood vonden.

Het is meestal niet eenvoudig aan te geven in welke mate de beide genoemde factoren: verminderde neerslag en toegenomen onttrekking, voor de daling van de grondwaterstand verantwoordelijk zijn.

Niettemin wordt in deze nota het effect van beide factoren ont-
rafeld voor de grondwaterstanden die werden waargenomen in peilput 33A7 beter bekend als de 'Echoput', ten westen van Apeldoorn.

Een bijzondere omstandigheid daarbij is dat de Echoput sinds 1971 droog staat. Het laatste en dus laagste waargenomen waterpeil bedroeg NAP + 29,20 m.

Niettemin is lang daarvoor, in 1961, een nog lager peil waargenomen, namelijk NAP + 27,86 m. Ook zijn in 1963, '64, '65 en '66 peilen waargenomen dieper dan NAP + 29,20.

De bodem van de put is sinds die tijd blijkbaar - door overigens nog onbekende oorzaak - opgehoogd.

2. DE GRONDWATERSTANDEN

Men kan de invloed van toegenomen wateronttrekking vinden door de grondwaterstanden te berekenen uit de neerslag en de verdampingsgegevens.

Door de berekende waarden te controleren met de waargenomen grondwaterstanden in een periode voordat van onttrekking sprake was worden de juiste parameters voor de berekening gevonden. Door vervolgens de waterstanden voor latere jaren te berekenen kan worden nagegaan hoe deze zouden zijn geweest als geen toegenomen onttrekking zou zijn voorgekomen.

Voor deze berekening wordt gebruik gemaakt van de formule van DE ZEEUW en HELLINGA (1958), zie verg. (9).

Een bijzondere moeilijkheid daarbij vormt het feit dat de grondwaterstand op de Veluwe zo diep \pm 60 m onder maaiveld ligt. Daardoor komt de invloed van regen en droogte zeer vertraagd in de grondwaterstand tot uitdrukking. Volgens STOL (1968) kunnen vertragingen van 8 tot 12 maanden optreden. Waar vertragingen voorkomen, treden ook afvlakkingen op; daarom kan een berekening met de De Zeeuw-Hellinga formule alleen zin hebben als in plaats van de neerslag de verticale stromingsintensiteit op ongeveer 60 m diepte wordt gebruikt.

Het verloop van de grondwaterstanden van de 'Echoput' wordt weergegeven in fig. 1. Duidelijk is de vertraging op weersveranderingen te zien. De reactie op de droge zomer van 1959 loopt door tot begin 1961. Na de natte zomer van 1965 begint de waterstand pas in februari 1966 te stijgen.

Voor het veronderstelde vervolg van de grondwaterstand na september 1971 is gebruik gemaakt van de gegevens van de nabijgelegen peilput 33A6, de 'Aardhuisput'. Vanaf 1972 is ook deze peilput met een 14-daagse frequentie waargenomen. Door de waarnemingen van de 'Aardhuisput' uit de periode 1966-1971 te projecteren op de waarnemingen van de 'Echoput' blijkt dat de amplitude globaal overeenkomt en dat alleen de stijghoogte verschillend is. Door het verschil in stijghoogte te negeren kan het verloop van de waterstand vanaf 'Aardhuisput' zonder al te grote fouten als het veronderstelde verloop van de 'Echoput' worden aangenomen (zie ook fig. 1).

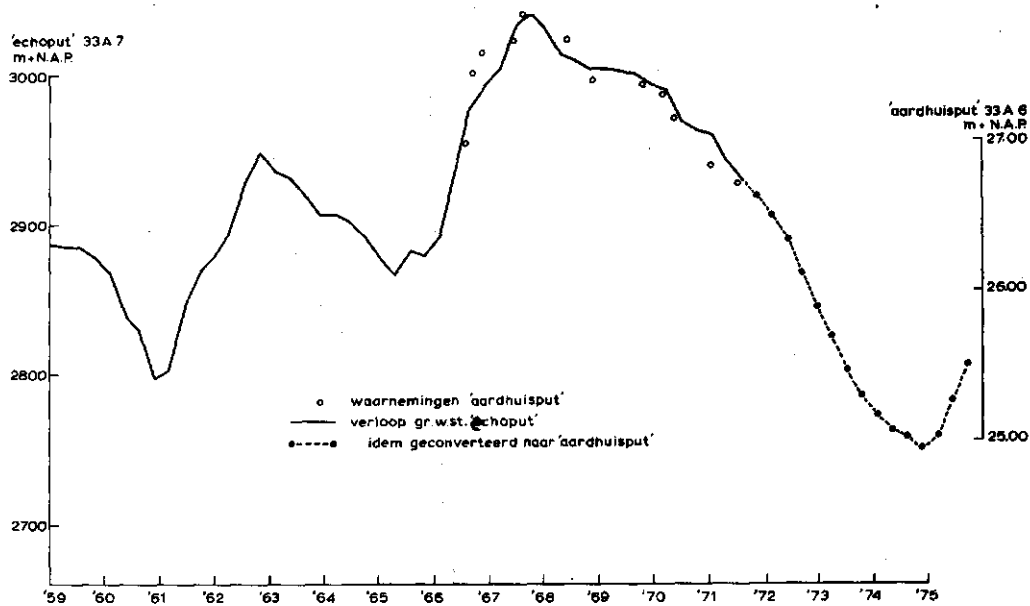


Fig. 1. Verloop van de waterstand van de Echopot en Aardhuisput gedurende 1959 tot en met 1975

3. BEREKENING VAN DE ONVERZADIGDE VERTICALE STROMING

3.1. Afleiding

Schematisch kan de onverzadigde verticale stroming van water in de grond als volgt worden voorgesteld:

Gedurende zekere tijd Δt stroomt er een hoeveelheid vocht in laag 1 en gedurende dezelfde tijd stroomt er met een snelheid V_2 een zekere hoeveelheid uit naar laag 2 (zie fig. 2).

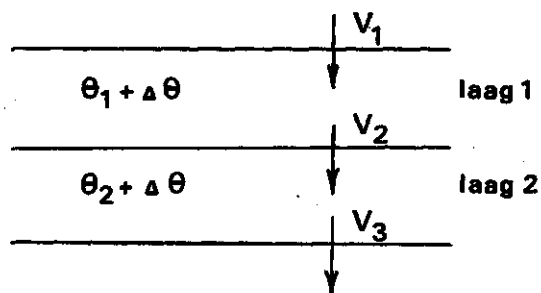


Fig. 2.

Het verschil tussen V_1 en V_2 is de verandering $\Delta\theta$ van het vochtgehalte θ_1 in laag 1 gedurende de tijd t .

Het vochtgehalte op tijdstip $t + \Delta t$ is dus:

$$\theta_{t + \Delta t} = \theta_t + \Delta\theta \quad (1)$$

waarin

$$\Delta\theta = (V_1 - V_2) \frac{\Delta t}{\Delta z} \quad (2)$$

Δt de tijdsinterval en Δz de laagdikte is.

Voor de stroming van water in de onverzadigde zone geldt de wet van Darcy:

$$V = -k \left(\frac{d\psi}{dz} + 1 \right) \quad (3)$$

Omdat de gradiënt $\frac{d\psi}{dz}$ vrij klein is (bij een grondwaterstand van 60 m-m.v. en veldcapaciteit aan maaiveld is de gradiënt ca. 0,017) en daardoor zonder al te grote gevolgen verwaarloosd mag worden, geldt bij benadering

$$V = -k \quad (4)$$

V is negatief in geval de stroomrichting benedenwaarts, en positief indien de stroomrichting opwaarts gericht is.

Het capillair geleidingsvermogen k kan volgens RIJTEMA (1965) geschreven worden als

$$k = k_0 e^{-\alpha(\psi-E)} \quad (5)$$

waarin k_0 de verzadigde doorlatendheid is
 α en E zijn constanten

De waarden voor k_0 , α , E en ook de vochtkarakteristiek voor Veluwezand zijn door BOELS (1973 en 1974) bepaald.

Met behulp van deze gegevens kan ook de $k(\theta)$ -relatie worden vastgesteld. Hiervoor geldt:

$$k = e^{a\theta+b} \quad (6)$$

waarin a en b constanten zijn.

Volgens verg. (4) is bij neerwaartse stroming de stroomsnelheid V gelijk aan het geleidingsvermogen k. Door in verg. (2) k in plaats van V te gebruiken ontstaat:

$$\Delta\theta = (k_1 - k_2) \cdot \frac{\Delta t}{\Delta z} \quad (7)$$

Door substitutie van verg. (7) in verg. (1) ontstaat:

$$\theta_t + 1 = \theta t + ((k_1 - k_2) \cdot \frac{\Delta t}{\Delta z}) \quad (8)$$

Door verg. (8) met verg. (6) onder te brengen in een rekenmodel kan door de dagelijkse neerslag gelijk te stellen aan de k_1 van de bovenste laag de stroomsnelheid op elke willekeurige diepte in het profiel worden berekend en gebruikt voor de berekening van de grondwaterstand volgens De Zeeuw en Hellinga.

3.2. Rekenmodel 'Echo'

Voor de invoer van het model zijn benodigd een zekere begintoestand, de neerslaggegevens, de te gebruiken laagdikte en de tijdsinterval.

De begintoestand is een willekeurig gegeven, om de invloed hiervan te minimaliseren is de berekening 3 jaar eerder gestart dan werkelijk nodig was.

De gebruikte neerslaggegevens zijn een gemiddelde van de waarnemingen van de KNMI-stations Apeldoorn en Elspeet. De neerslag is gecorrigeerd met de geschatte verdamping volgens onderstaand overzicht:

januari	0 mm	mei	50 mm	september	40 mm
februari	5 mm	juni	90 mm	oktober	10 mm
maart	10 mm	juli	80 mm	november	5 mm
april	20 mm	augustus	60 mm	december	0 mm

De som van deze verdamping (370 mm) komt vrij goed overeen met MAKKINK (1959) die in lysimeterbakken een verdampingssom van 350 mm per jaar vond voor de Veluwe.

Tengevolge van een sterke afname van het capillair geleidingsvermogen van een uitdrogende zandgrond zal er een reductie in de verdamping optreden. Daarom is aangenomen dat het vochttekort niet groter kan worden dan 100 mm. De reductie is overigens alleen van toepassing geweest in de extreem droge zomer en herfst van 1959.

Van het verschil tussen regen en verdamping is per maand een daggemiddelde berekend en ingevoerd in het model.

Om onnauwkeurigheden en instabiliteit van het rekenmodel te vermijden mogen de tijdsinterval Δt en de laagdikte Δz niet te groot worden gekozen: Δt is gesteld op 1 dag en Δz op 2 m.

De $k(\theta)$ -relatie is ingevoerd als $k = e^{3,05 \theta - 39,76}$ (fig. 3).

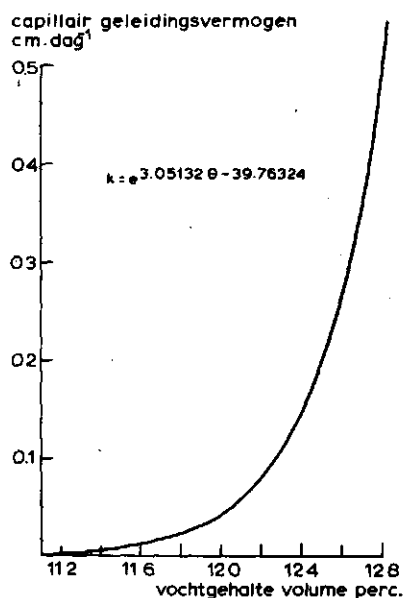


Fig. 3. Verband tussen het capillair geleidingsvermogen en het vochtgehalte

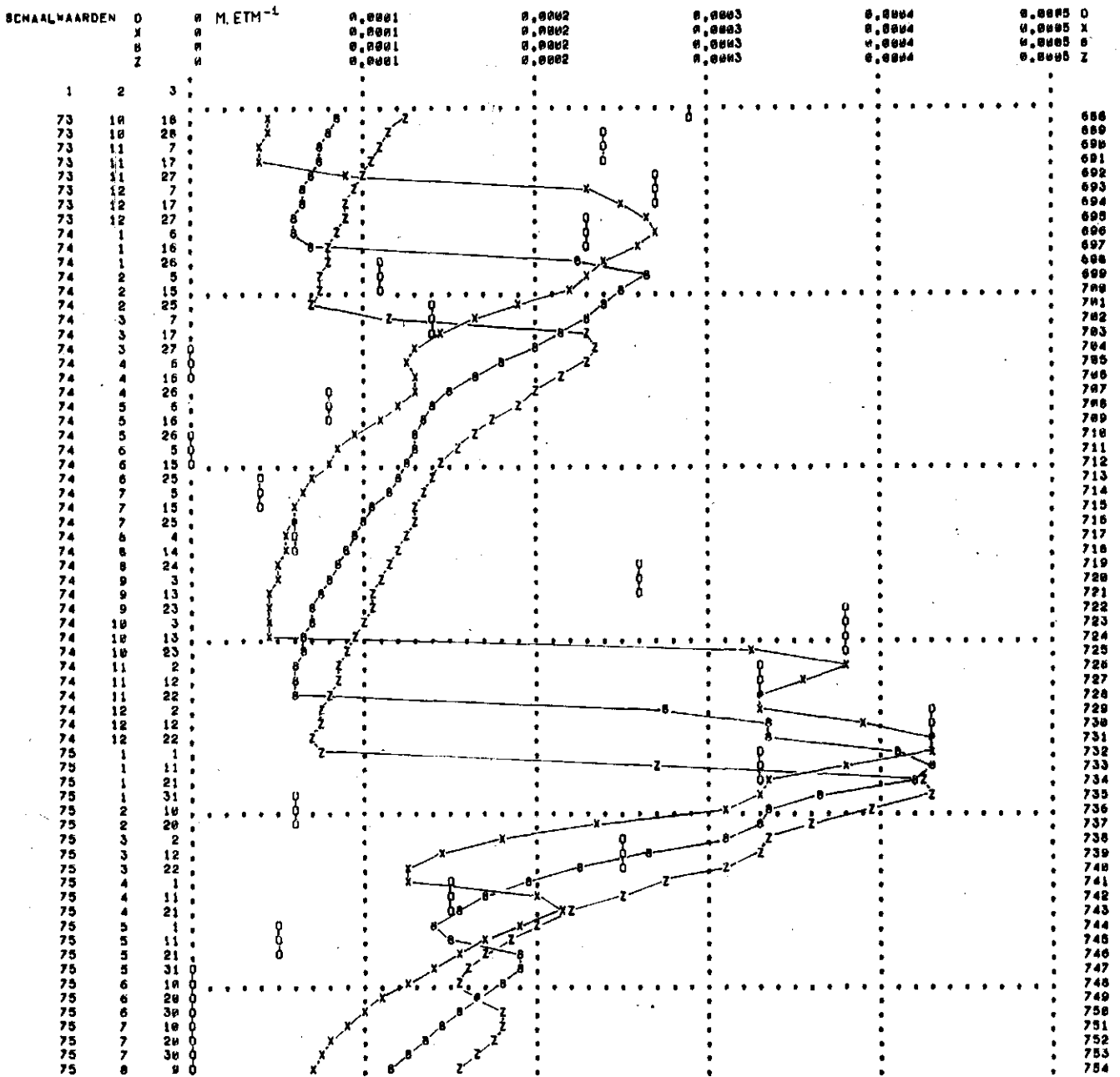
Met deze gegevens is de stroomsnelheid berekend tot een diepte van 60 m-m.v. gedurende de jaren 1959 tot en met 1975. Een voorbeeld hiervan is gegeven in fig. 4.

FIG. 4 VERTRAGING EN AFVLAKKING VAN DE STROOMSNELHEID T.G.V. DE DIEPTE

01-OCT-76

FILE ECHO81

VARIABLE	SYMBOL
STROOMSNELHEID OP 0 M, =NEERSLAG	0
STROOMSNELHEID OP 20 M, =MAAIVELD	X
STROOMSNELHEID OP 40 M, =MAAIVELD	B
STROOMSNELHEID OP 60 M, =MAAIVELD	Z



Deze figuur geeft de stroomsnelheid aan op 0 meter (de neerslag), 20, 40 en 60 m-m.v. van oktober 1973 tot en met juni 1975. Duidelijk is te zien hoe de vertragingen en afvlakkingen verlopen. Tengevolge van de regenval in november en december 1973 is de stroomsnelheid op 40 m-m.v. pas begin februari 1974 maximaal en op 60 m-m.v. pas eind maart 1974. Door de goede doorlatendheid van het Veluwezand kan door hevige en langdurige regenval van de herfst van 1974 de stroomsnelheid op 60 m-m.v. - weliswaar vertraagd - even groot worden als aan maaiveld: december 1974 en januari en februari 1975. Bij een geringere en kortere neerslag gebeurt dit niet: maart tot en met juni 1975.

4. BEREKENING VAN DE GRONDWATERSTAND

4.1. Afleiding

Met de formule van De Zeeuw en Hellinga kunnen grondwaterstanden worden berekend uit de vergelijking:

$$h_t = h_0 - e^{-\frac{A}{\mu} t} + (N - V) \cdot (1 - e^{-\frac{A}{\mu} t}) \quad (9)$$

waarin: h_t	= grondwaterstand op tijdstip t	m
h_0	= grondwaterstand op tijdstip 0	m
A	= ontwateringsintensiteit	etm ⁻¹
μ	= bergingscoëfficiënt	
t	= tijdsinterval	etm
N	= neerslag	m.etm ⁻¹
V	= verdamping	m.etm ⁻¹

Verg. (9) is verkregen uit de differentiaalvergelijking

$$A \mu dt + \mu dh = (N - V) dt \quad (10)$$

Daardoor gaat de gebruikte formule ervan uit dat μ een constante is. Daarentegen is op grote diepte (60 m) weinig bezwaar. Maar ook wordt uitgegaan van de rechtlijnige relatie tussen afvoerintensiteit en

hoogte van de grondwaterstand. Dit geldt in principe slechts voor een plaats precies in het midden tussen twee oneindig lange evenwijdige ontwateringsmiddelen.

De 'Echoput' voldoet daar niet aan. De variatie in grondwaterstand (2,5 m) is echter klein ten opzichte van de absolute hoogte (29 m). Daardoor zal de fout, die gemaakt wordt door een rechtlijnig in plaats van kromlijnig te gebruiken, klein zijn.

De ontwateringsbasis is een enigszins arbitrair gegeven. Aangenomen is dat deze gelijk is aan NAP dat wil zeggen de ontwateringsbasis is gelijk aan de waterhoogte van het IJsselmeer. Deze aanname kan foutief zijn maar opgemerkt moet worden dat de ontwateringsbasis gekoppeld is aan de ontwateringsintensiteit. Verandering van de ontwateringsbasis houdt automatisch in dat ook de waarde van A verandert.

De bergingscoëfficiënt μ is uit metingen van BOELS (1973) afgeleid en bepaald op 0,3.

Door het ingewikkelde geheel van de hydrologie van de Veluwe is de ontwateringsintensiteit A de meest onzekere factor. Deze kan echter worden afgeleid met behulp van de neerslaggegevens, de stijging van de grondwaterstand gedurende zekere tijd en de bergingscoëfficiënt. Immers, de neerslag verminderd met de verdamping is gelijk aan de afvoer plus de hoeveelheid water die tijdelijk in de grond geborgen wordt en een grondwaterstandsverandering veroorzaakt. Dit kan worden geschreven als:

$$N\Delta t = \bar{h} \cdot A\Delta t + \mu \cdot \Delta h \quad (11)$$

waar \bar{h} de gemiddelde grondwaterstand is gedurende tijdvak t

$$\text{of: } A = \frac{N\Delta t - \mu \cdot \Delta h}{\bar{h}\Delta t} \quad (12)$$

Als voorbeeld kan de berekening van A dienen over de jaren 1959 en 1960:

$N\Delta t = 0,659 \text{ m}$ (totale neerslag-verdamping in 1959 en 1960)

$\mu = 0,3$

$\Delta h = -1,00 \text{ m}$ (de grondwaterstand daalt!)

$\bar{h} = 28\,500 \text{ m} + \text{NAP}$

$\Delta t = 731 \text{ etm.}$

Hierut volgt volgens verg. (12) dat $A = 4,6 \times 10^{-5} \text{ etm}^{-1}$.

4.2. Rekenmodel De Zeeuw en Hellinga

Door de formule van De Zeeuw en Hellinga ook onder te brengen in een rekenmodel kan het verloop van de grondwaterstand gedurende een aantal jaren en met verschillende parameters eenvoudig worden berekend*.

Uitgaande van de veronderstelling dat de invoer van de neerslaggegevens juist is, zijn in verg. (9) A en μ de twee parameters die het verloop van de grondwaterstand kunnen beïnvloeden.

De keuze van μ bepaalt vooral de amplitude van de grondwaterbeweging, dat wil zeggen een kleine μ doet de grondwaterstand snel stijgen bij grote neerslaghoeveelheden maar de grondwaterstand zakt ook weer snel bij geen of weinig neerslag.

Een grote μ werkt daarentegen dempend op de grondwaterbewegingen (fig. 5). De keuze van de waarde van A heeft een meer constante invloed op het verloop van de berekende grondwaterstand. Een te grote A heeft als gevolg een constante te hoge afvoer en een te kleine A een constante te lage afvoer. Hierdoor worden de grondwaterstanden te hoog respectievelijk te laag berekend (fig. 6).

Uit deze figuren blijkt dat de invloed van μ niet zo erg groot is op het eindresultaat, bovendien is de waarde van μ gebonden aan zekere grenzen, het is niet aannemelijk dat μ kleiner zal zijn dan 0,25 en groter dan 0,3.

*Dit programma is er één uit de reeks standaardprogramma's van de afdeling Wiskunde van het ICW.

De figuren 4, 5, 6 en 7 zijn ook door middel van één van die programma's tot stand gekomen

FIG. 5 INVLOED BERGINGS-COEFFICIENT MU OP BEREKENDE GRONDWATERSTAND

07-OCT-76

FILE ECHO02

VARIABELE
 MU = 0,2 ; A = 0,00004 GRWST IN CM + NAP O
 MU = 0,3 ; A = 0,00004 GRWST IN CM + NAP X

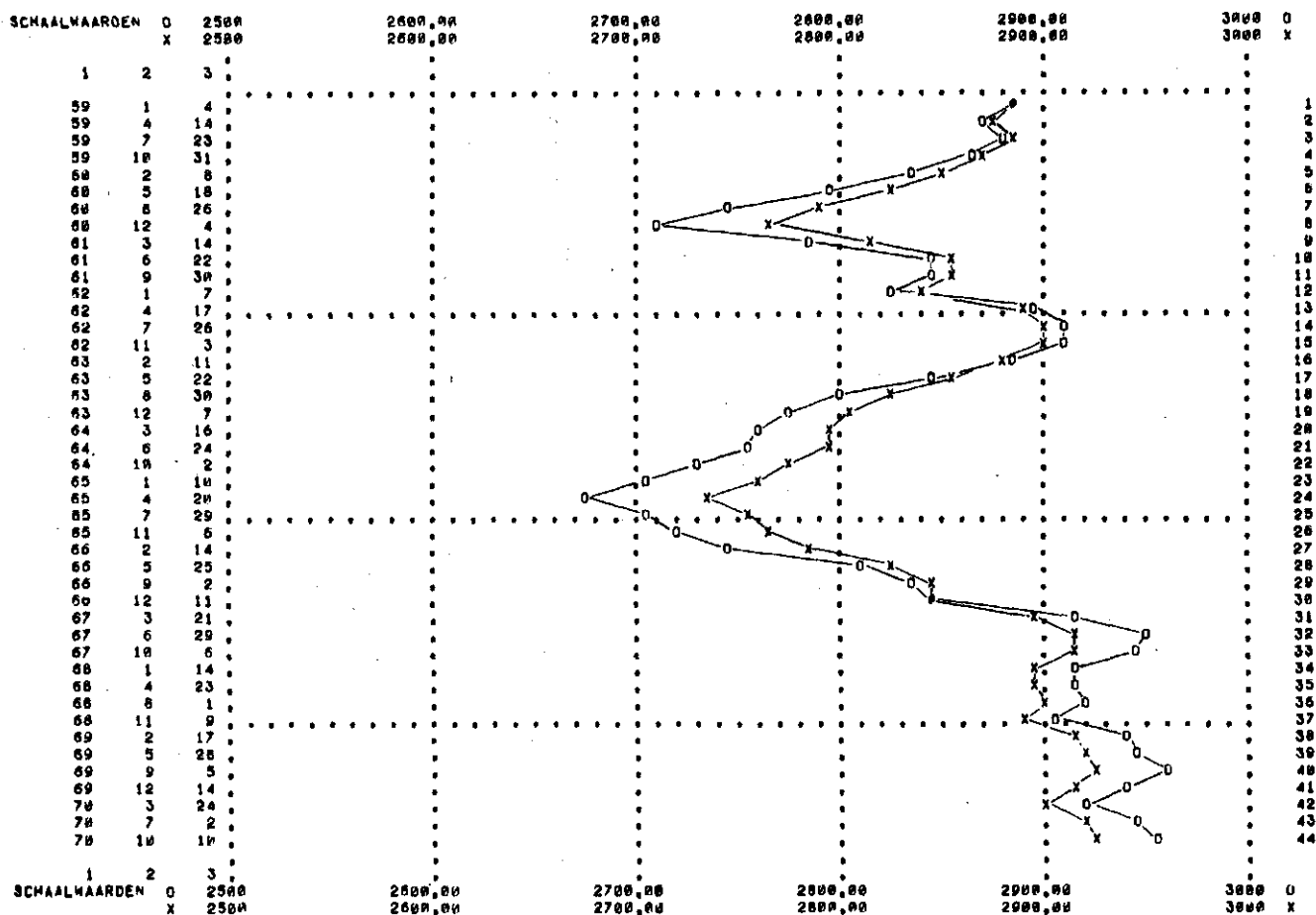


FIG. 6 INVLOED ONTWATERINGSINTENSITEIT A OP BEREKENDE GRONDWATERSTAND

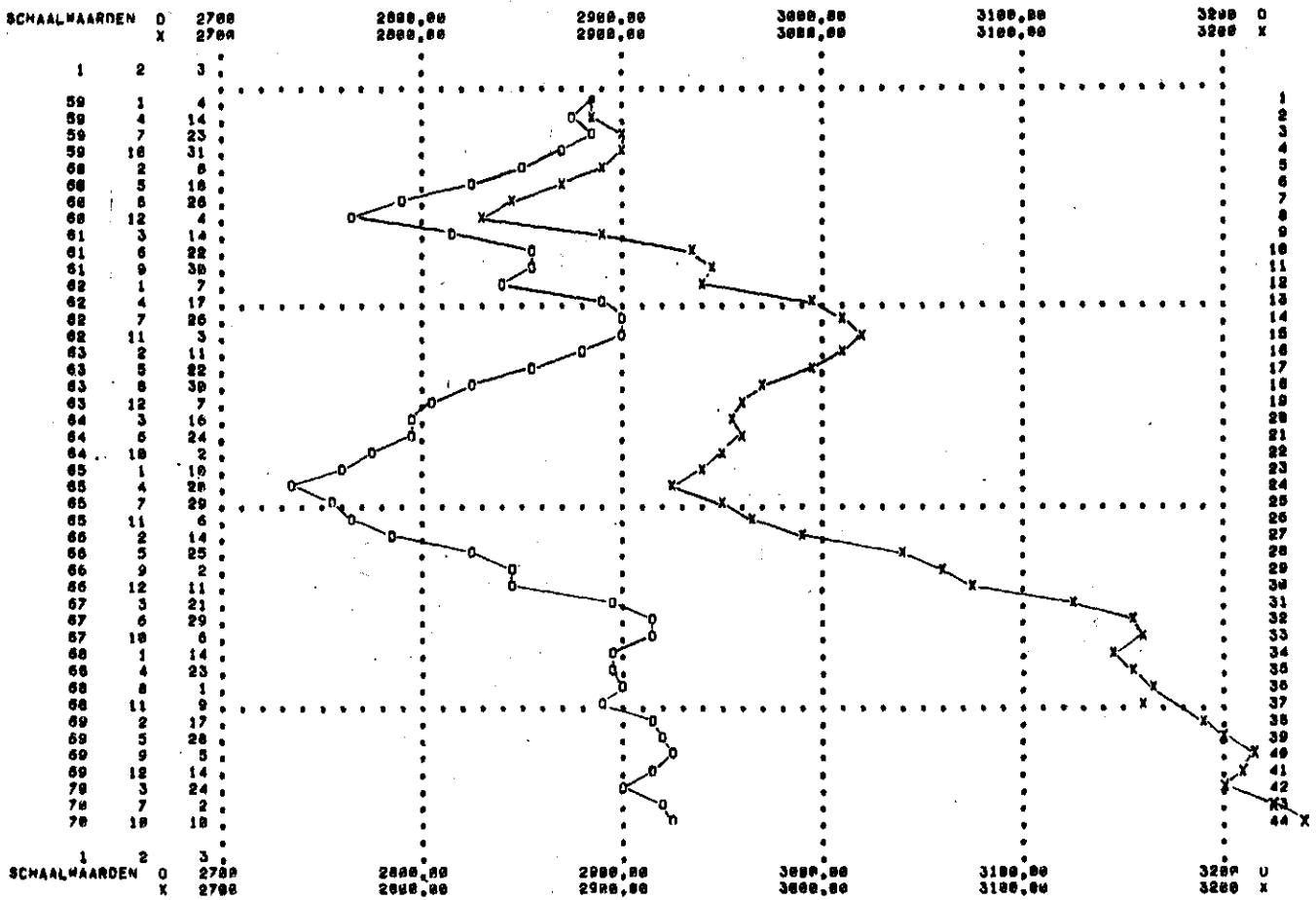
87-OCT-76

FILE ECH042

VARIABELE

SYMBOOL

A = 0,00004 , MU = 0,3 GRWST IN CM + NAP O
 A = 0,00005 , MU = 0,3 GRWST IN CM + NAP X



De waarde van A daarentegen geeft bij een kleine variatie al een duidelijke afwijking. A blijkt dus een zeer kritische parameter te zijn.

5. RESULTATEN

In fig. 7 zijn de resultaten weergegeven van berekende grondwaterstand in vergelijking met de gemeten grondwaterstand gedurende de jaren 1959 tot en met 1975.

De ontwateringsbasis is gesteld op NAP, $\mu = 0,3$ en $A = 4,6 \times 10^{-5} \text{ etm}^{-1}$. A is berekend over de jaren 1959 en 1960 met verg. (12). De grondwaterstand vertoont in die jaren een dalend verloop waardoor de kans op afwijkingen ten opzichte van de gemiddelde grondwaterstand minimaal is. Uit de figuur blijkt dat de berekende waarde van de grondwaterstand betrekkelijk goed overeenkomt met de gemeten waarde tot omstreeks 1967.

Na 1967 daalt de gemeten grondwaterstand constant tot een diepte van NAP + 27,50 omstreeks eind 1974 om dan onder invloed van de extreme neerslag van de herfst van 1974 weer te stijgen.

De berekende grondwaterstand blijft vrij hoog tussen NAP + 30,00 en + 32,00 m schommelen.

De correlatie tussen beide lijnen is tot en met 1967: 0,94 en na 1967: 0,80.

Van de gebruikte parameters A en μ mag van μ verwacht worden dat deze niet veranderd met de tijd, althans niet binnen een tijdsbestek van 15 jaar.

De oorzaak van de afwijking moet dus worden gezocht in de waarde van de ontwateringsintensiteit A. Met verg. (12) is A berekend voor elk afzonderlijk jaar (tabel 1).

Uit tabel 1 blijkt dat de waarde van A tot 1967 niet groter is dan $5 \times 10^{-5} \text{ etm}^{-1}$. Na 1967 is A altijd groter dan $5 \times 10^{-5} \text{ etm}^{-1}$ uitgezonderd 1972, dat wordt echter weer opgeheven door de grote waarde van A is 1973.

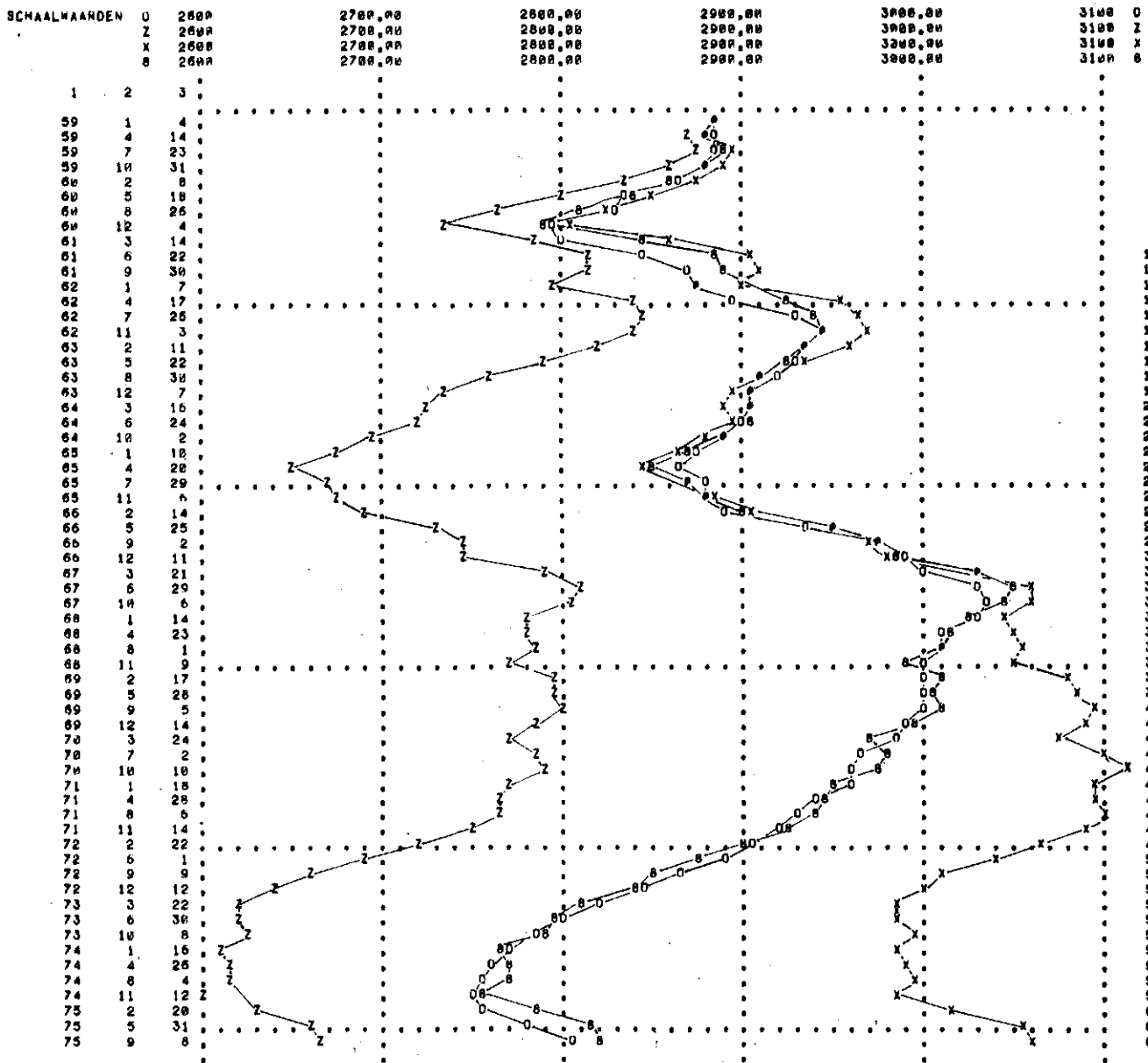
FIG. 7 GEMETEN EN BEREKENDE GRONDWATERSTAND ECHOPUT VAN 1959 TOT 1975

07-OCT-76

FILE ECHO82

VARIABELE SYMBOOL

GEMETEN GRONDWATERSTAND IN CM + NAP 0
 A = 0,0000548 (ZIE TEKST) , MU = 0,3 Z
 A = 0,0000446 (ZIE TEKST) , MU = 0,3 X
 A = WISSELEND (ZIE TABEL 1), MU = 0,3 8



Tabel 1. Neerslag, gemiddelde grondwaterstand en ontwateringsintensiteit per jaar

Jaar	Neerslag (m)	Grwst m. t.o.v. NAP	$A(x 10^{-5}).\text{etm}^{-1}$
1959	0,445	28,80	4,75
1960	0,213	28,33	4,47
1961	0,767	28,38	4,77
1962	0,665	29,14	4,53
1963	0,259	29,25	3,26
1964	0,386	28,96	4,53
1965	0,497	28,72	4,83
1966	0,780	29,45	4,10
1967	0,681	30,24	5,03
1968	0,546	30,09	5,74
1969	0,561	29,98	5,40
1970	0,537	29,72	5,84
1971	0,435	29,34	5,38
1972	0,249	28,80	4,37
1973	0,451	28,04	6,40
1974	0,450	27,59	5,15

Om te onderzoeken of de gebruikte waarde van A ($4,6 \times 10^{-5}$) wellicht te klein is gekozen gezien de afwijkingen na 1967, is de berekening ook uitgevoerd met de waarde van A gedurende de periode 1968 tot en met 1974 waardoor deze de waarde $5,48 \times 10^{-5}.\text{etm}^{-1}$ krijgt. Uit fig. 7 blijkt dat met deze waarde van A geen goed verloop van de grondwaterstand kan worden berekend.

Onder 4.1 is al opgemerkt dat de condities voor toepassing van de formule van De Zeeuw en Hellinga niet optimaal zijn. Om aan te tonen dat dit weliswaar enige afwijking veroorzaakt maar niet in die mate dat het ontstane verschil in grondwaterstand daardoor verklaard wordt is de berekening nogmaals uitgevoerd met als waarde voor A zoals deze is weergegeven in tabel 1. Dus een jaarlijks veranderende ontwateringsintensiteit.

Het resultaat van deze berekening is ook weergegeven in fig. 7. De correlatie tussen berekend en gemeten gedurende 1959 en 1967 in dit geval: 0,97 en gedurende 1968 tot en met 1975: 0,99. Hiermee is aangetoond dat de gebruikte rekentechniek redelijk goed toepasbaar is om grondwaterstanden op grote diepte te berekend.

In de inleiding is opgemerkt dat tengevolge van de extreem natte jaren 1965 en 1966 er zeer hoge grondwaterstanden zijn opgetreden gedurende 1966 en 1967 op sommige delen van de Veluwe. Uit het verloop van de berekende grondwaterstanden mag worden afgeleid dat deze hoge grondwaterstanden tot 1971 gecontinueerd, zo niet gestegen zouden zijn.

Toch staan deze jaren niet bekend door grote neerslaghoeveelheden: integendeel, de neerslagtotaal van het KNMI-station De Bilt wijken in die jaren weinig af van het landelijk gemiddelde van 750 mm per jaar (tabel 2).

Tabel 2. Jaartotalen in mm van enkele KNMI-regenstations op de Veluwe en in de Bilt

	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
Epe	-	-	778	1000	822	938	564
Apeldoorn	1145	1128	528	939	802	912	602
Elspeet	1204	1228	880	1044	830	971	807
Kootwijk	1128	1219	818	993	759	928	652
De Bilt	1160	1143	856	863	568	909	562
Gem. Velwestations	1159	1225	826	994	803	937	656
Gem. Apeldoorn/Elspeet	1175	1228	854	992	816	942	705

Uit deze tabel blijkt ook dat in de jaren 1967-1971 de neerslag op de Veluwe belangrijk groter is geweest dan in De Bilt, in totaal 550 à 600 mm.

De grondwaterstanden op de Veluwe hadden dan ook na 1967 nog hoog moeten blijven zoals de berekende waterstand ook aangeeft.

Uit het voorgaande kan worden geconcludeerd dat het verschil tussen gemeten en berekende waterstand alleen ontstaan kan zijn door een verandering van de ontwateringsintensiteit op de Veluwe in de tijd. Deze verandering kan worden veroorzaakt door extra onttrekkingen aan het grondwater sinds 1967.

Gezien de locatie van de 'Echopot' - midden op de Veluwe - is dit niet bevreemdend omdat wateronttrekkingen aan het Veluwemassief geen onbekende activiteit is.

6. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Al zeer lang is bekend dat de grondwaterstanden op de Veluwe zich merkwaardig gedragen. Er is een enorme vertraging tussen variaties in de regenval en in de grondwaterstand. De bedoeling van deze nota is te trachten met de moderne modelmatige berekening van niet-stationaire onverzadigde stroming deze vertraging te verklaren en zo mogelijk kwantitatief vast te stellen.

Het is inderdaad mogelijk gebleken de grondwaterstanden van de 'Echopot', op ongeveer 60 m diepte, te berekenen uit de neerslaggegevens. De berekende curve volgt de gemeten tijdstijghoogtelijnen tussen 1959 en 1967 op de voet terwijl daarin belangrijke fluctuaties voorkomen. Na 1967 begint de gemeten grondwaterstand in steeds toenemende mate van de berekende af te wijken. De enige redelijke verklaring daarvoor is dat de waterafvoer uit de Veluwe sinds 1967 groter is dan in de jaren daarvoor.

De waterstand in de 'Echopot/Aardhuisput' was in 1975 2,5 m lager dan hij volgens de berekening behoorde te zijn; dat betekent dat in 8 jaar ongeveer 600 mm water uit het centrum van de Veluwe is verdwenen.

Als oorzaken zijn de mogelijk aan te wijzen toegenomen kunstmatige wateronttrekking en verlaging van de potentialen in aangrenzende IJsselmeerpolders.

7. LITERATUUR

- BOELS, D., 1973. Bepaling van het capillair geleidingsvermogen en een deel van de pF-curve in een proefopstelling van het RID
Nota ICW 742.
- 1974. Infiltratie vanuit een ondiepe drain in een grofzandig pakket met zeer diepe grondwaterstanden. Nota ICW 814.
- MAKKINK, G.F., 1959. De verdamping uit vegetaties in verband met de formule van Penman. Versl. Med. Comm. Hydrol. Onderz. TNO 4; 90-114.
- RIJTEMA, P.E., 1965. An analysis of actual evapotranspiration. Thesis Pudoc, Wageningen. Agr. Res. Rep. 659: 1-107.
- STOL, Ph.Th., 1968. Aspecten van het onderzoek naar de tijdelijke gevolgen van een bronbemaling te Apeldoorn op het grondwater-niveau. Nota ICW 464.
- ZEEUW, J.W. DE en F. HELLINGA, 1958. Neerslag en afvoer. Landbouwkundig Tijdschrift 70, 405-422.