 TUUT VOOR CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING

NOTA 402, d. d. 7 juli 1967

Interimrapport waterstandsanalyse in Apeldoorn en omgeving

ir. Ph. Th. Stol

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, 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 onderzoek nog niet is afgesloten.
Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking.

Errata nota 402

pag. 1, 7e regel v.o. staat: zou, lees: zouden

pag. 3, 6e regel v.b. staat: sterke fluctuaties ... enz. lees: sterke fluctuaties, praktisch het gehele jaar door kans op waterstanden ... enz.

pag. 5, 5e en 4e regel v.o. staat: W_1 en W_2, lees: w_1 en w_2

pag. 6, 9e regel v.o. staat: grote resultaat, lees: gehele resultaat

pag. 7, 14e regel v.b. staat: figuur 16, lees: 1b

pag. 8, 12e regel v.o. staat: zich uitend, lees: zich vooral uitend

pag. 10, 3e regel v.b. staat: bronnen, lees: peilbuizen

5e regel v.o. staat: ongeldig, lees: nog geldig

pag. 11, tussen 2e en 3e alinea een regel spatie

pag. 12, 11e regel v.b. staat: in de andere stambuizen, lees: in de stambuizen

pag. 14, 19e regel v.b. staat: van de volgende waarden van, lees: van de berekende waarden van

1e regel v.o. toevoegen: De waarden van A_{60}, A_{084} en A_{95} kunnen respectievelijk aan de figuren 11, 12 en 13 worden ontleend

pag. 16, 2e en 3e regel v.b. staat: plaatselijke veranderingen, lees: plaatselijke variaties

figuur 2, staat: stambuis 020, lees: peilbuis 020

Inhoud | Pag.

Inleiding

Bij de bouw van de spoorwegtunnel aan de Chr. Geurtsweg te Apeldoorn vindt bronbemaling plaats in het centrum van de stad voor het drooghouden van de bouwput. De invloed van de bemaling beperkt zich echter niet tot de naaste omgeving van het werk maar is tot in de omtrek merkbaar. Behalve aan deze kunstmatige invloed zijn de waterstanden onderhevig aan de natuurlijke invloeden van de neerslag en verdamping en de gevolgen van andere onttrekking- en aanvoersituaties.

Voor het verkrijgen van een juist inzicht in de afzonderlijke effecten van kunstmatige en natuurlijke invloeden dient allereerst nagegaan te worden hoe in de tijd dat nog geen onttrekking door bronbemaling plaatsvond de waterstanden onderling samenhingen. De mogelijkheid hiertoe ontstaat door middel van zogenaamde verre meetpunten waarmede de waterstanden onderling met elkaar vergeleken worden waarna met behulp van een numerieke bewerking de verschillende meetpunten met behulp van een getalsmaat met elkaar in verband kunnen worden gebracht. Een verantwoording van de hierbij te kiezen modellen en hun mathematisch-statistische achtergrond wordt beschreven door STOL (1965).

Keuze van basisgegevens

Voor het vastleggen van het grondwaterregime wordt gebruik gemaakt van een aantal basisreeksen met grondwaterstandswaarnemingen. Om vervolgens na het in werking stellen van de bronbemaling de peilen te reconstrueren zoals die zonder die bemaling geweest zou zijn, dient rekening gehouden te worden met de verschillende variatie-oorzaken die in een gegeven punt de waterstand beïnvloeden. Voorts zullen de basisreeksen die deze invloeden representeren afkomstig moeten zijn van peilbuizen die zo dicht mogelijk bij het gebied in studie staan opgesteld. Het is echter van belang deze afstand niet te klein te nemen volgens de wenselijkheid dat deze peilbuizen zo weinig mogelijk door

de te verwachten kunstmatige onttrekkingen zullen worden beïnvloed. Anderzijds is een grote afstand uit het centrum niet van voordeel daar de mogelijkheid zich gaat voordoen dat andere grondwater-regimes dan die van het gebied in studie een overwegende rol gaan spelen.*)

Tenslotte bevat de numerieke uitwerking de mogelijkheid de sluitfout in de bewerkingen als een niet door de gekozen basisgegevens verklaard systematisch verschil in uitkomsten te berekenen. Is deze sluitfout groot en bovendien geografisch interpreteerbaar, dan doet de mogelijkheid zich voor een volgende reeks gegevens in de bewerking op te nemen ten einde de nog niet in rekening gebrachte effecten mede te verklaren. Van belang is hierbij te weten dat door toevoeging van nieuwe basisreeksen het reeds verkregen resultaat nooit verslechterd kan worden

Voor het gebied in studie werden na verscheidene proefberekeningen als basisreeksen de gegevens uit de volgende peilbuizen benut (fig 1a):

Peilbuis 60 : Voor het representeren van de lage gedeelten van het gebied, met waterstanden hoog tegen het maaiveld en duidelijke klimatologische effecten.

Peilbuis 084 : Voor het representeren van de hogere gedeelten van het gebied, met diepe grondwaterstanden en invloed van de hoogste gronden.

Peilbuis 95 : Voor het representeren van plaatselijke effecten als gevolg van wateronttrekking voor industriële doeleinden.

Deze peilbuizen zullen in het volgende als'stambuis' worden aangeduid.

*) Meestal is men door de opgelegde randvoorwaarden zodanig in zijn keuze beperkt dat slechts door het treffen van een compromis de analyse kan worden uitgevoerd. Aanvullend onderzoek is nodig om eventuele verstoringen op te heffen. Hierop zal niet nader ingegaan worden.

De verschillende typen van grondwaterstandsfluctuaties blijken duidelijk uit de tijdstijghoogtelijnen van fig 2, fig 3 en fig 4, waarin de curven van de stambuizen 60, 084 en 95 staan weergegeven voor de jaren 1962 t/m 1965

Een korte karakteristiek luidt:

Stambuis 60 : Sterke fluctuaties praktisch het gehele jaar door, kans op waterstanden dicht tegen het maaiveld, in wat drogere zomers een duidelijke verlaging door toenemende verdamping, en in het najaar een sterke stijging naar het winterniveau.

Stambuis 084 : Geringe fluctuaties op een gemiddeld niveau van 2.40 m onder maaiveld. De fluctuaties kunnen gesuperponeerd gedacht worden op de beweging van het grondwaterniveau op de Veluwe , doch vinden ongeveer 9 maanden eerder plaats dan daar. Ter vergelijking is in fig 3 de waterstand in de Echoput aan de Amersfoortseweg (peilbuis 020) ingetekend waarbij de periode van 14 okt. 1962 t/m 28 sept. 1965 teruggeschoven is naar de periode 14 jan. 1962 t/m 28 dec. 1965. Door deze superpositie werd ervan afgezien de Veluwe als afzonderlijke variatie-oorzaak in de berekening op te nemen daar stambuis 084 hetzelfde effect vertoont met bovendien de invloeden van de overgangsstrook tussen hoge-en lage gronden.

Stambuis 95 : Behalve de op deze diepte onder maaiveld gebruikelijke geringe fluctuaties vertoont deze bron een daling die het gemiddeld niveau van de waterstandsbeweging op een geheel andere waarde brengt. De oorzaak van dit verschijnsel is de sterkere wateronttrekking voor industriële doeleinden in de directe omgeving van dit meetpunt. Tengevolge van deze onttrekking kwam de buis droog te staan en moest later worden verdiept zodat eerst vanaf april 1965 weer een volgende reeks waarnemingen beschikbaar is. Het karakter van de waterstandsbeweging is in de gedeelten met constant gemiddeld niveau van geheel andere aard dan in de beide vorige basisbronnen.

Uit de berekeningen bleek dat met behulp van de reeksen gegevens uit deze stambuizen de waterstanden in de andere meetpunten in het gebied met vrij grote nauwkeurigheid kunnen worden berekend.

Keuze van de tijdvakken

Het doel van de uitgevoerde berekeningen is het vastleggen van de grondwaterstanden onder natuurlijke omstandigheden d.w.z. zonder de invloed van de bronmaling aan de Chr. Geurtsweg. Deze bemaling werd in werking gesteld in september 1966 zodat slechts de gegevens van vóór 15 september 1966 in de bewerking konden worden opgenomen. Daarnaast moet het beginpunt van de bewerking vrij laat gekozen worden ten einde de uitkomsten, met de laatst geplaatste peilfilters verkregen, op gelijk niveau te kunnen interpreteren als de meetpunten waarvan langere reeksen gegevens beschikbaar zijn.

Een verdere complicatie doet zich nog voor door de niveauverlaging in stambuis 95. Hierdoor is het niet mogelijk de gehele reeks van waarnemingen in één enkele serie te behandelen maar moet de bewerking in twee delen uiteenvallen. Het statistisch argument hiervoor is dat de gegevens uit deze peilbuis niet meer als een homogene reeks gegevens opgevat mogen worden; het geo-hydrologisch argument is dat met een verandering van randvoorwaarden rekening gehouden moet worden waardoor in het gebied een veranderde situatie is ontstaan met een eigen waterhuishouding.

Voor het gestelde doel zou in principe een berekening alleen met het laatste tijdvak voldoende zijn, doch de belangrijke mogelijkheid doet zich voor beide situaties onderling te vergelijken met onafhankelijke reeksen gegevens.

Ten einde geen niet-stationaire stromingsbeelden in de berekening op te nemen dient de gehele periode van niveau-verlaging buiten beschouwing te blijven en wordt een, over de jaren gerekend, zoveel mogelijk stationaire situatie beschouwd. Onderscheiden worden:

Tijdvak 1 : 1960 - 30 juni 1962 (ca 55 gegevens)
—"— 2 :1 april 1965- 14 sept.1966 (ca 31 gegevens)

De aantallen gebruikte gegevens verschillen van geval tot geval vnl. door het ontbreken van gegevens bij het in ongerede raken van het meetpunt, door vorstinvloeden e.d. en door een wat verschillend beginpunt van tijdvak 1.

Basisvergelijkingen en theoretische achtergrond

De grondgedachte van de bewerking is deze dat: indien op twee punten de grondwaterniveau's (P) van de tijd afhankelijk zijn, maar in fase kunnen verschillen en geen gelijk gemiddeld niveau bezitten terwijl de beweging van de een gedempt is ten opzichte van de ander, de de volgende relatie geldig is.

(1) $P_y(t)_i = AP_1(t + w)_i + B + e_i, \quad A \leq 1, \; i = 1, 2, \ldots, n$

De formule geeft aan, dat men de waterstand in buis P_y op de dag t moet vergelijken met de waterstand in buis P_1 op de dag t + w. Hiermee wordt een eventuele naijling verantwoord.

In deze betrekking komt een onzekerheidsterm e_i voor die als sluitfout fungeert en zorgt dat voor elke meting 1, 2,....,n de berekende waarde uit het rechter lid gelijk is aan de gemeten waarde $P_y(t)_i$ in het linker lid. De grootte van de sluitfout valt niet in elk afzonderlijk geval i te voorspellen, maar onder ruime voorwaarden volgen de waarden e_i de normale kansverdeling met gemiddelde $\bar{e} = o$ en standaardafwijking $s > o$ (STOL, 1965).

Blijkt nu dat de waarden van e nog een systematisch verloop met de tijd vertonen, dan kan het model (1) uitgebreid worden tot

(2) $P_y(t)_i = A_1P_1(t + w_1)_i + A_2P_2(t + w_2)_i + A_o + d_i$

Verdere uitbreidingen van dit model zijn mogelijk en kan vervolgd worden tot de sluitfout geen systematische afwijkingen meer vertoont.

Van belang is nu de gedaante van (2) waaruit blijkt dat hoewel de functies P_i zelf onbekend zijn - d.w.z. niet mathematisch in elementaire vormen zijn weer te geven - de relatie tussen de functiewaarden lineair is. Hierdoor is het mogelijk de theorie van de mathematische statistiek op dit type vergelijkingen toe te passen en gebruik te maken van elders ontwikkelde bewerkingstechnieken (FRASER, 1958).

De gegeven voorstelling van zaken is nog niet volledig. Weliswaar is (2) lineair in A_1, A_2 en A_o, de functie is dit zeker niet in W_1 en W_2. De techniek waarmee deze moeilijkheid kan worden overwonnen bestaat hierin dat de waarnemingsreeksen ten opzichte van elkaar worden verschoven zodanig dat de standaardafwijking van de sluitfout (s) zo klein mogelijk is resp. de multipele correlatie-coëfficient R die de

mate van samenhang kwalitatief weergeeft zo groot mogelijk. Na het aanbrengen van de juiste verschuivingen w_1 en w_2 kunnen de beste schattingen voor de regressie-coëfficiënten A_1 en A_2 en het intercept A_o berekend worden.

Deze regressie-coëfficiënten geven een kwantitatieve mate van samenhang weer en laten toetsing van de belangrijkheid van elk van de afzonderlijke invloeden toe (KENDALL and STUART, 1961).

Voor het gebied in kwestie kan (2) worden weergegeven als

$$(3) \quad P_y(t)_i = A_{60}S_{60}(t+w_{60})_i + A_{084}S_{084}(t+w_{084})_i + A_{95}S_{95}(t+w_{95})_i + A_o + d_i$$

i = 1,2,...,55 voor tijdvak 1: 1960 tot 31 - 6 - 1962
i = 1,2,...,31 " " 2: 1 - 4 - 1965 tot 14 - 9 - 1966

Toepassing in het gebied rond Apeldoorn

De hierboven schematisch uiteengezette theorie kan toegepast worden op de waterstandsmetingen in het gebied van Apeldoorn. In totaal werden in het onderzoek betrokken 27 peilbuizen (zie fig 1a) waarvan de 14-daagse waarnemingen werden gebruikt. De berekeningen werden uitgevoerd volgens een in samenwerking met de Afd. Bewerking Waarnemingsuitkomsten T.N.O. (Wageningen) ontwikkeld programma voor bewerking op de I.B.M. 1130-computer.

Het feit dat met 14-daagse waarnemingen moest worden gewerkt maakte het niet mogelijk verschuivingen korter dan dit tijdvak vast te stellen. Wel werd steeds nagegaan of onderlinge verschuiving van de basisreeksen een verbetering van het grote resultaat te zien gaf, ten einde die gevallen op te sporen waarin van grote fase-verschuivingen sprake is.

De uitkomsten van de berekeningen laten steeds een geografische interpretatie toe zodat de resultaten aan de hand van tijdstijghoogtelijnen en schetskaartjes zal worden besproken. Bij de kaartjes zal het linkergedeelte steeds betrekking hebben op tijdvak 1 (hoog niveau van stambuis 95) en het rechter gedeelte op tijdvak 2 (laag niveau van stambuis 95).

1 Het gemiddeld niveau

De uiteindelijke begin- en eindpunten van de tijdvakken 1 en 2 werden dusdanig gekozen dat ondanks de seizoenbeweging en de ongelijke lengte van beide een goede maat voor de gemiddelde waterstand kon worden verkregen. Deze gemiddelde standen staan weergegeven in fig. 5. Het niveau van het diepe grondwater helt in oostelijke richting en neemt in het gebied van interesse af van 25 m + NAP tot 10 m + NAP met grotendeels evenwijdige op onderling gelijke afstand gelegen aequipotentiaal lijnen. De fig. voor resp. tijdvak 1 en tijdvak 2 vertonen onderling veel overeenkomst wat betekent dat het gemiddeld niveau van het grondwater in beide tijdvakken praktisch hetzelfde is geweest met een belangrijke uitzondering in het zuidwestelijk gedeelte van het gebied waar een verschuiving van de 20- en de 25- meterlijn valt te constateren.

Dit laatste verschijnsel wordt nader toegelicht met figuur 16 waarin de verschillen in gemiddelde waarden zijn weergegeven. In een strook evenwijdig aan het kanaal blijken de verschillen tussen de gemiddelden niet meer dan een decimeter te bedragen in die zin dat er van een geringe stijging sprake is. Meer naar het centrum van de stad komen plaatselijk verschillen voor van iets meer dan 2 decimeter, in die zin dat in het laatste tijdvak het gemiddelde niveau lager geweest is dan daarvoor.

De grootste verlaging van het gemiddeld niveau werd berekend voor stambuis 95 waar een verschil van 1.38 m werd geconstateerd. De overgang van het hoge naar het lage niveau vond plaats in de jaren 1963 t/m 1964 zoals in figuur 4 staat weergegeven.

2 De onderlinge samenhang

Zoals uit figuur 15 blijkt planten afwijkende effecten van het waterhuishoudkundig regime zich voort in de omgeving om geleidelijk uit te dempen en te verminderen. Zo zal de gemeten stijghoogte in elk meetpunt het resultaat zijn van superpositie van in de omgeving voorkomende regionale en plaatselijke effecten. Door nu elk van deze effecten afzonderlijk in rekening te brengen kan aan een willekeurig meetpunt in het gebied van onderzoek vastgesteld worden in welke mate elk effect zich ter plaatse doet gelden. De maat hiervoor wordt weergegeven door de coëfficiënten A in (3) die gelijk aan 0 zijn als het effect zich niet voordoet en voorts des te meer van 0 zullen

afwijken naarmate het effect sterker bemerkbaar is. Na dieper gaande studie zijn deze coëfficiënten tot bodemconstanten te herleiden.

De numerieke maat die aangeeft of met het gebruikte model de belangrijkste effecten in rekening zijn gebracht is de multipele correlatie-coëfficiënt R die 1 is wanneer zich geen sluitfout meer voordoet en 0 wanneer zich geen enkele relatie tussen model en werkelijkheid voordoet.

De gevonden correlatie-coëfficiënten zijn weergegeven in fig. 6 waarin de waarden van R × 100 voor beide tijdvakken staan vermeld. Uiteraard wordt voor de stambuizen zelf een waarde 100 gevonden maar ook elders in het gebied is de aanpassing goed te noemen. In het eerste tijdvak is het opvallend, dat de met de stambuizen overeenkomende hydrologische situaties geleidelijk in elkaar overgaan zodat binnen de driehoek door deze meetpunten gevormd overal hoge coëfficiënten gevonden worden. Een uitzondering vormt het zuidwestelijk gebied in de omgeving van de Ordermolenweg, Laan van Orden, Jachtlaan en Europaweg (peilbuizen 36 en 51). De plaatselijke onttrekkingen ten behoeve van industriële doeleinden gerepresenteerd door het meetpunt 95 zijn niet in alle delen van dit gebied van dezelfde aard zodat de sluitfout in de berekeningen hier relatief het grootst is. Duidelijker nog doet dit verschijnsel zich voor in het tweede tijdvak na de niveaudaling in stambuis 95. De plaatselijke grondwaterstandsfluctuaties in het industrie gebied zijn nu grotendeels van elkaar onafhankelijk geworden, zich uitend in de lage waarde 52 van buis 36. Voor een verklaring van dit verschijnsel wordt naar par. 5a verwezen.

De algemene conclusie is echter dat de gekozen stambuizen de mogelijkheid scheppen de waterstandsvariaties in het gebied van onderzoek op een enkele uitzondering na, te beschrijven en vast te leggen.

3 De betrouwbaarheid van de resultaten

Het voorspellen van een uitkomst kan slechts met een bepaalde mate van betrouwbaarheid plaats vinden. Hoe groot die betrouwbaarheid zal zijn valt uit de uitgevoerde berekeningen af te leiden. Grote verschillen tussen gemeten en berekende uitkomsten zullen met een kleine kans voorkomen als de totale aanpassing goed is. Omgekeerd zal met een vast gekozen overschrijdingskans (b.v. 5%) de bij die kans behorende kritieke waarde kleiner zijn naarmate het resultaat van de berekeningen

beter bij de werkelijkheid aansluit. Welke kritieke waarde nog acceptabel genoemd kan worden hangt geheel af van de eisen die aan de uitkomst gesteld worden. Aanvaard men het risico van 5% dan kan de kritieke waarde ook het maximaal te verwachten verschil genoemd worden.

Het is niet mogelijk de sluitfout willekeurig klein te maken. Ook na het opnemen van de belangrijkste invloeden die de waterstanden in een gebied bepalen zullen bodem-physische en geologische onregelmatigheden die slechts na zeer gedetailleerd profielonderzoek zijn vast te stellen, de uitkomsten storend blijven beïnvloeden.

In figuur 7 staat aangegeven welke verschillen tussen gemeten en berekende standen in 5% van de gevallen dat een voorspelling omtrent de werkelijke toestand gedaan wordt zullen worden overschreden. De voorwaarde hiertoe is dat in de perioden waarin een voorspelling wordt verlangd de stambuizen dezelfde hydrologische situatie representeren.

Het blijkt dat de maximaal te verwachten verschillen ongeveer 2 decimeter bedragen met dien verstande dat weer in de zuid-westelijke hoek wat hogere waarden worden gevonden. De beide tijdvakken onderling vertonen niet veel essentiële verschillen. De betrouwbaarheid van de uitkomsten is op hetzelfde niveau gebleven, met uitzondering weer van peilbuis 36 waarin het maximaal te verwachten verschil nu dubbel zo groot geworden is.

Vanuit elke stambuis uitgaande volgt een gebied met een lage kritieke waarde (in fig. 7 gearceerd weergegeven). Verder het gebied ingaande neemt deze waarde echter wat toe om in de invloedssfeer van de volgende stambuis weer te dalen tot beneden 15 cm.

Voor het gehele gebied zou een ~~gemiddelde~~ waarde van 35 cm aangehouden kunnen worden.

4 De afzonderlijke effecten kwalitatief beschouwd

In de volgende paragrafen zal in het kort op de effecten, door elk van de stambuizen afzonderlijk gerepresenteerd, worden ingegaan.

4 a De samenhang met het graslandgebied (fig. 8)

De waterstanden ten oosten van het kanaal vertonen onderling een sterke samenhang. Ook een smalle strook ten westen van het kanaal is hiermede nog sterk gecorreleerd, doch veel westelijker dan ongeveer een halve kilometer gaat deze invloed niet. Duidelijk blijkt uit de

figuur dat zulk een invloed niet constant is maar aan variatie onderhevig blijkt te zijn.

In het tweede tijdvak is de waterstandsbeweging in de bronnen ten westen van het kanaal iets sterker met die in stambuis 60 gecorreleerd dan tijdens het eerste tijdvak. Dit valt op te maken uit de verschuiving in westelijke richting van de niveaulijnen 85 en 60 voor de correlatiecoëfficiënt. Beide beelden vertonen overigens een grote mate van overeenkomst : de hydrologische situatie heeft gemiddeld genomen hetzelfde karakter behouden.

4b De samenhang met de hogere gronden (fig. 9)

Het beeld dat fig. 9 vertoont sluit in oostelijke richting gaande goed aan bij het vorige. De oostelijke niveaulijnen van de correlatiecoëfficiënt (zie vooral tijdvak 1) zijn als het ware van plaats verwisseld met die uit figuur 8. De betekenis hiervan is de volgende: De waterstanden in de omgeving van stambuis 084 vertonen onderling overeenkomstige variaties en zijn dus sterk gecorreleerd. Naarmate de afstand tot het centrale punt 084 toeneemt is een geringere samenhang te verwachten wat zich voornamelijk, in oostelijke richting gaande, manifesteert. Op het moment dat de invloed van de hogere gronden afneemt neemt die van het graslandgebied toe wat in fig 8 valt af te lezen. Dat beide stambuizen gezamenlijk de waterstand in dit deel van het gebied praktisch volledig beschrijven blijkt weer uit fig.6.

Het gebied dat onderling sterk met de hogere gronden gecorreleerd is is ongeveer 2 km breed en heeft een noord-zuid gerichte ligging.

In het tweede tijdvak is de vorm van het gebied dat hydrologisch met stambuis 084 vergelijkbaar is in omvang afgenomen. De lang gerekte noord-zuid richting valt nu nog duidelijker op. De verschuiving in westelijke richting van de invloed van het lage gebied (fig. 8) vindt zijn pendant in een regressie van de invloed van de hogere gronden. De hierboven gegeven beschouwing omtrent het in elkaar overlopen van de invloeden blijft ook nu ongeldig.

Grotere verschillen treden op in het zuidwestelijk gedeelte van het gebied. De onderlinge samenhang met buis 084 is nu veel geringer dan in het eerste tijdvak. In dit gebied moet in de loop der jaren de waterhuishoudkundige situatie een verandering hebben ondergaan.

4 c De samenhang tussen de plaatselijke onttrekkingen (fig. 10)

Deze invloeden, beschreven door stambuis 95 vertonen onderling geringere correlaties dan die van de natuurlijke effecten uit de paragrafen 4a en 4b. De correlaties met de naast liggende meetpunten zijn in beide tijdvakken laag en bedragen over een afstand genomen van nauwelijks 1 km nog geen 80. Verband met de hydrologische situatie van de hoogste gronden valt niet te ontkennen, terwijl vooral in het eerste tijdvak in het centrum van Apeldoorn de waterstandsfluctuaties enige overeenkomst vertonen met die ven het zuidwestelijk gebied.

In het tweede tijdvak, bij het lagere niveau, neemt laatst genoemde samenhang nog verder af maar ontstaat er een geringe beïnvloeding in noordwestelijke richting.

De lage waarden van de correlatiecoëfficiënten duiden er op dat reconstructie van waterstanden in dit gebied minder nauwkeurig kan plaats vinden dan in het overige deel.

5 De afzonderlijke invloeden kwantitatief beschouwd

Naast de kwalitatieve interpretatie kan nagegaan worden in hoeverre de waterstanden in de stambuizen een praktisch belangrijke bijdrage leveren tot de variaties in waterstand in de overige meetpunten. De correlatie kan n.l. zeer hoog zijn, maar het uiteindelijke effect in cm waterstandsverschillen gering.

Uit (3) blijkt dat de regressiecoëfficiënten A_i dimensieloos zijn en weergeven welke verhouding tussen fluctuatie's van het type S_i met P_y bestaan. Bovendien kan getoetst worden of de waarde van A_i door toevallige of door systematische invloeden van 0 afwijkt. In het eerste geval is dit op de kaartjes weergegeven met 0, in het tweede geval is de werkelijke waarde vermeld.

5a De invloed van het grasland gebied (fig. 11)

Wordt nagegaan waar de meetpunten liggen die in belangrijke mate variaties in waterstand vertonen als die welke in stambuis 60 voorkomen, dan blijkt dat het ontstane beeld (fig. 11) geheel overeenkomt met dat van fig. 8.

De uitdemping in westelijke richting valt duidelijk waar te nemen. Ten oosten van het kanaal bedragen de fluctuaties nog 70 à 80 % van die

van buis 60 om ten westen van het kanaal terug te lopen tot 20 à 40 %. Daarna dempt de invloed zo sterk uit dat de waterstanden zoals die voorkomen in stambuis 60 geen wezenlijke bijdrage meer leveren tot het beschrijven van de waterstanden in het overige deel van het gebied.

Een belangrijke uitzondering op dit totaalbeeld vormt buis 36. Het blijkt echter dat de stijghoogten in dit meetpunt wel tot augustus '65 sterk met de andere bronnen is gecorreleerd doch in 1966 niet weer op het oorspronkelijke gemiddelde niveau terugkeert (fig. 14). Dit was de verlaging die ook reeds in fig. 1b geconstateerd werd. Deze sterke systematische daling van gemiddeld niveau welke zich niet in de andere stambuizen voordoet geeft aanleiding tot een negatieve regressiecoëfficiënt en indiceert een tegengesteld verlopende beweging. Vergelijking met het nabijgelegen meetpunt 31 toont het verschil in uitkomst goed aan (fig. 14). De verklaring van het verschijnsel is de uitvoering van civiel-technische werken met o.a. een drainagevijver in de directe omgeving van dit meetpunt.

In wat mindere mate doet hetzelfde verschijnsel zich voor in het centrum van de stad, waardoor ook hier een gebiedje met negatieve waarden voor de regressiecoëfficiënt verschijnt.

5b De invloed van de hogere gronden (fig. 12)

Aansluitend aan de strook langs het kanaal ligt naar het westen de zône van de hogere gronden die zich duidelijk onderscheidt van het overige gebied.

In een ruim 1 km brede strook blijkt de waterstandsbeweging zoals deze zich in de gekozen stambuis 084 voordoet, onderling zeer sterk samen te hangen. In verschillende delen van deze strook zijn de fluctuaties sterker dan in 084 voorkomt zich uitend in coëfficiënten die groter zijn dan 1.

In oostelijke richting neemt de invloed van de hogere gronden sterk af om in die van het graslandgebied over te gaan. In westelijke richting neemt de invloed trager af en blijft de waterstandsbeweging van het type van stambuis 084 een niet te verwaarlozen component vormen.

5c De invloed van plaatselijke onttrekkingen (fig. 13)

Uiteraard is de invloed van deze effecten slechts plaatselijk doch hetzelfde type waterstandsvariaties kan zich op meer plaatsen voordoen.

Het patroon dat nu verkregen wordt is minder strak dan dat van de beide vorige figuren. Waterstandsbewegingen van het type als door stambuis 95 wordt weergegeven komen in het zuid-westelijk industriegebied met een veel geringere amplitude voor (demping tot 30 à 40 %) waarbij weer opvalt dat in het tweede tijdvak een beïnvloeding in noord-oostelijke richting valt waar te nemen.

5d Samenvatting en conclusie

De waterstandsbeweging in het gebied kan in drie typen worden onderscheiden die in zône's evenwijdig aan het kanaal en de bosrand zijn gesitueerd. De onderlinge samenhang in hydrologische eigenschappen doet zich hoofdzakelijk in de richting noord-zuid voor. Loodrecht hierop vindt een sterke demping van effecten plaats.

6 Fase verschuivingen

De aanpassing aan het mathematische model (3) werd getoetst voor verschillende waardencombinaties van w_{60}, w_{084} en w_{95}. Er werden aanwijzingen verkregen dat bij het diepere niveau van stambuis 95 (2e tijdvak) grotere vertragingen in de grondwaterstandsbeweging zijn ontstaan - vergeleken met stambuis 60 voor het grasland - dan in het 1ste tijdvak het geval was. De naijling bedraagt 1 à 2 verschuivingen van de waarnemingsreeksen overeenkomend met 14 dagen tot 4 weken. De gebieden waarin dergelijke verschuivingen voorkomen blijven tot het zuid-westelijk deel beperkt.

Bij de uitgevoerde berekeningen werd de noodzaak tot onderlinge verschuiving van de reeksen steeds onderzocht en werden deze waar nodig toegepast. Hierop zal in dit rapport niet verder worden ingegaan.

7 Het reconstrueren van waterstanden

Uit de hoge waarden van de multipele correlatie-coëfficiënt (zie fig. 6) blijkt dat over het gehele gebied met de gekozen

stambuizen de waterstandsbeweging in de overige peilbuizen goed beschreven kunnen worden.

Wat dit in de praktijk betekent kan worden toegelicht met behulp van fig. 15. Voor een drietal peilbuizen verspreid over het gebied van onderzoek gelegen staan in deze figuur de gemeten en berekende stijghoogten tegen elkaar uitgezet. Er zijn steeds 2 jaren ingetekend en wel 2 uit het eerste tijdvak en twee die het tweede tijdvak bevatten. Het blijkt dat verschillende typen grondwaterstandsfluctuaties gereconstrueerd kunnen worden met de gegevens uit de drie stambuizen.

Tevens blijkt uit deze figuur wat men zich ten aanzien van de nauwkeurigheid voor moet stellen bij de verschillende waarden van de correlatie-coëfficiënt.

Naarmate de waarde hiervan lager is komen er meer afwijkingen tussen berekende en gemeten waarde voor. Het betreft echter voornamelijk de fluctuaties die op de algemene trend gesuperponeerd zijn. De trend zelf wordt steeds goed gevolgd.

De berekende stijghoogten werden verkregen door gebruik te maken van de volgende waarden van de regressie-coëfficiënten(zie(3)).

Waarden van coëfficiënten te substitueren in (3) voor het berekenen van peilbuisstanden uit stambuis gegevens.
(waterstanden in m + N.A.P.)

	Tijdvak 1			Tijdvak 2		
Peilbuis:	32	93	111	32	93	111
A_{60}	-0.21	-0.13	0.54	0.09	0.15	0.59
A_{084}	0.79	1.38	-0.13	0.51	1.08	-0.11
A_{95}	0.41	-0.10	0.03	0.14	0.28	-0.01
A_0	6.31	0.35	6.82	13.76	-5.41	6.88

alle $w_i=0$
De parameter A_0 verantwoordt het verschil in gemiddeld niveau tussen alle meetpunten die in één vergelijking voorkomen.

Wanneer nu op een bepaald tijdstip waterstanden gemeten zijn in de stambuizen, kunnen de te verwachten waterstanden in de peilbuizen door de boven omschreven berekeningen vastgesteld worden. Ook indien kunstmatige veranderingen in de hydrologische situatie worden aangebracht kan dit het middel zijn om het werkelijke effect van de verandering op een gevraagd tijdstip te leren kennen aangezien de situatie zoals deze op datzelfde tijdstip zonder deze ingreep zou zijn geweest kan worden berekend.

Een dergelijke berekening werd uitgevoerd voor de datum 12 juni 1967. Nadat de waterstanden in de stambuizen op neveneffecten waren gecorrigeerd, werd met behulp van de constanten voor tijdvak 2 de verwachte waterstand in alle peilbuizen uitgerekend. Het resultaat wordt gegeven in fig. 16, die de waterstanden die op 12 juni 1967 zouden zijn opgetreden weergeeft in het geval dat alleen de invloeden die vóór september 1966 aanwezig waren zouden optreden. In grote lijnen volgen de aequipotentiaal lijnen hetzelfde patroon als dat van de gemiddelden over de onderscheiden tijdvakken (fig. 5). Hoewel het thans een momentopname betreft verleent de overeenkomst met de gemiddelden aan de procedure een grote mate van betrouwbaarheid.

8 De invloed van de bemaling aan de Chr. Geurtsweg

Op dezelfde datum waarvoor de reconstructie van waterstanden plaatsvond werden de stijghoogten in de overige peilbuizen waargenomen. Het is nu mogelijk de verlaging van het grondwaterniveau vast te stellen ten opzichte van het niveau dat op natuurlijke wijze op dezelfde datum zou zijn ontstaan.

Deze verlaging is in fig. 17 in kaart gebracht, waarin de niveaulijnen van 500 en 100 cm verlaging zijn ingetekend. De onzekerheid die aan elke voorspelling eigen is en die in par. 3 ter sprake is gekomen werkt door in deze figuur. Zoals reeds is uiteengezet biedt de gevolgde methode het voordeel dat behalve de wetenschap dat zich, zoals bij elke methode van voorspelling, onzekerheden in het eindresultaat zullen voordoen, deze ook berekend en in een getalsmaat uitgedrukt kunnen worden. Deze getalsmaat bevat dan alle variaties in hydrologische, geografische en fysische gesteldheid van het gebied van onderzoek die door hun toevallig karakter of gedetailleerdheid niet meer in een berekeningsmodel kunnen worden opgenomen. Verschillen in stijghoogten

van minder dan 35 cm vallen daarom binnen de onzekerheid van de gehele bewerking en zijn volledig met toevallige plaatselijke veranderingen verklaard.Deze 35 cm grens is in de figuur mede als niveaulijn weergegeven.

Zoals uit de analyse van de waterstanden reeds werd geconcludeerd (par. 5d en fig. 9 en vooral fig. 12) treden gelijke hydrologische toestanden voornamelijk in noord-zuid gerichte zones evenwijdig aan het kanaal op.

In de oost-west richting treden in de voorwaarden die de grondwaterstand beheersen op korte afstand grote wijzigingen op. Zoals uit fig. 17 blijkt bezit ook de afmalingstrechter geen symmetrische maar een in de noord-zuid richting uitgerekte vorm. Volgens de situatie op 12 juni 1967 valt de invloed van de afmaling te constateren tussen de bosrand als westelijke en het kanaal als oostelijke begrenzing, beide liggen thans ongeveer ter plaatse van de 35 cm verlagingslijn. Deze beide gerichte effecten behoeven niet een gelijke oorzaak te hebben. Wel wijst fig. 17 uit, dat in de ondergrond van het oostelijk gebied een hydrologische inhomogeniteit aanwezig moet zijn, die zich in fig. 16 niet opvallend zal kunnen manifesteren..

De grote verlaging in het gebied ten noorden van de spoorlijn en ten oosten van het kanaal zijn het gevolg van werkzaamheden ter plaatse waarop in par. 5a en in fig. 14 reeds gewezen werd.

Verwijzingen

FRASER, D.A.S.,1958. Statistics, an introduction. Wiley,New York.

KENDALL, M.G. and A. STUART, 1961. The advanced Theory of Statistics. Vol II. Inference and relationship. Griffin, London.

STOL, Ph. Th., 1965. Een analyse van grondwaterstanden die beïnvloed worden door de getijdebeweging .Statistica Neerlandica 19, nr. 4: 335-343 (I.C.W. Med.84)